



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

**EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN  
EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO**

**Gilmar Adalberto Orozco López**

**Asesorado por el: Ing. Julio Roberto Luna Aroche**

**Guatemala, agosto de 2006**



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



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
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
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de abril de 2005.



Gilmar Adalberto Orozco López

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



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

Guatemala 20, de Marzo de 2006  
CESEM 485-2006

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador de Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Quiñónez:

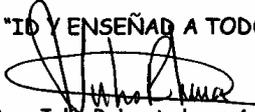
Atentamente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante **GILMAR ADALBERTO OROZCO LOPEZ**, Titulado "EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO".

Después de haber revisado y corregido dicho trabajo considero que llena los requisitos para su aprobación final

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Julio Roberto Luna Aroche  
Asesor de Tesis



Investigador del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 4 de mayo de 2006

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar Álvarez.

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO**, elaborado por el estudiante universitario **Gilmar Adalberto Orozco López**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Julio Roberto Luna Aroche.

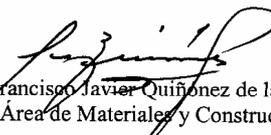
Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Orozco López**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



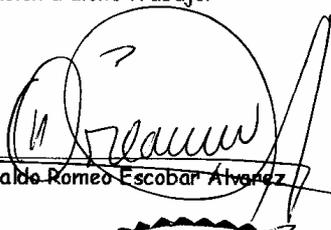
  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Roberto Luna Aroche y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Gilmar Adalberto Orozco López, titulado EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
~~Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez~~



Guatemala, agosto 2006.

/bbdeb.

*"TODO POR TI CAROLINGIA MIA"*  
Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 centenario de su nacimiento

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

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 273-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EXÁMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL MUNICIPIO DE GUASTATOYA EL PROGRESO**, presentado por el estudiante universitario **Gilmar Adalberto Orozco López**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, agosto 8 de 2,006



/gdech

*Fidel por ti, Centenario Mío*  
Dr. Carlos Martínez Durán  
2006: Centenario de su Nacimiento

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mi madre**

Por su ayuda tanto económica como moral

### **Mi familia**

Por su ayuda incondicional

### **Personal CESEM**

En especial al Ingeniero Julio Luna por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo de graduación.

### **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.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción general de la norma ASTM C-33.....	1
1.1.1 Agregado fino.....	1
1.1.1.1 Granulometría.....	1
1.1.1.2 Absorción.....	2
1.1.1.3 Peso específico.....	3
1.1.1.4 Peso unitario aparente y volumétrico.....	4
1.1.1.5 Contenido de materia orgánica.....	4
1.1.2 Agregado grueso.....	5
1.1.2.1 Granulometría.....	5
1.1.2.2 Absorción.....	6
1.1.2.3 Peso específico.....	6
1.1.2.4 Peso unitario aparente y volumétrico.....	7
1.1.2.5 Sustancias nocivas en agregado grueso....	7
1.2 Descripción general de la norma ASTM C-295.....	8
1.2.1 Alcance.....	8
1.2.2 Significación y uso.....	9
1.2.3 Aparatos y suministros.....	9
1.2.4 Toma de muestras.....	10

1.2.5	Selección de muestras para examen.....	11
1.2.6	Examen de grava natural.....	12
1.2.7	Examen de arena natural.....	12
1.2.8	Examen de núcleo de perforación.....	13
1.2.9	Examen de roca expuesta.....	14
1.2.10	Examen de roca triturada.....	14
1.2.11	Examen de arena manufacturada.....	14
1.2.12	Cálculos y reportes.....	14
1.3	Descripción general de la norma ASTM C-289.....	16
1.3.1	Alcance.....	16
1.3.2	Aplicación y uso.....	17
1.3.3	Selección y preparación de la muestra.....	17
1.3.4	Procedimiento de la reacción.....	17
1.3.5	Sílice disuelto por el método gravimétrico.....	18
1.3.6	Sílice disuelto por el método fotométrico.....	18
1.3.7	Determinación del sílice disuelto.....	19
1.3.8	Cálculos.....	19
1.3.9	Reducción en alcalinita.....	20
1.4	Descripción general de la norma ASTM C-535.....	20
1.4.1	Alcance.....	20
1.4.2	Aplicación y uso.....	20
1.4.3	Aparatos empleados.....	20
1.4.4	Muestreo.....	21
1.4.5	Ensayo de la muestra.....	21
1.4.6	Procedimiento.....	22
1.4.7	Cálculos.....	22
<b>2.</b>	<b>LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS EN ESTUDIO..</b>	<b>23</b>
2.1	Generalidades.....	23

2.2	Ubicación y localización de los bancos de materiales.....	25
2.2.1	Banco de agregado fino.....	25
2.2.2	Banco de agregado grueso.....	25
2.3	Descripción geológica de los bancos.....	25
2.3.1	Banco de agregado fino.....	25
2.3.2	Banco de agregado grueso.....	26
2.4	Aspectos ambientales a considerar en explotación de los bancos de los bancos de materiales.....	26
<b>3.</b>	<b>ENSAYOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>33</b>
3.1	Ensayos y resultados de la norma ASTM C-33, propiedades físicas.....	33
3.1.1	Ensayo de muestra de agregado fino.....	34
3.1.1.1	Resultado porcentaje de absorción.....	34
3.1.1.2	Resultado de Granulometría.....	34
3.1.1.3	Resultado de contenido de materia orgánica.....	34
3.1.1.4	Resultado de peso específico.....	35
3.1.1.5	Resultado de peso unitario.....	35
3.2	Ensayo y resultados de la norma ASTM C-295, propiedades químicas y mineralógicas.....	35
3.2.1	Ensayo de la muestra de agregado fino.....	35
3.2.1.1	Resultado de componentes líticos.....	35
3.2.1.2	Resultado de contenido mineral proveniente de la granulometría.....	36
3.2.2	Ensayo y resultado de la muestra de agregado grueso.....	37
3.2.2.1	Resultado de composición química.....	38

3.2.2.2	Resultado del ensayo petrografico macroscópico.....	38
3.2.2.3	Resultado del ensayo de composición mineralógica.....	39
3.3	Ensayo y resultados de la norma ASTM C-289, reactividad potencial.....	39
3.4	Ensayo y resultados de la norma ASTM C-535, resistencia a degradación.....	39
3.4.1	Resultado de abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.....	39
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1	Generalidades.....	41
4.2	Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C- 33.....	41
4.2.1	Agregado fino.....	41
4.2.2	Agregado grueso.....	42
4.3	Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C- 295.....	42
4.3.1	Agregado fino.....	43
4.3.2	Agregado grueso.....	43
4.4	Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C- 289.....	43
4.4.1	Agregado fino.....	43
4.4.2	Agregado grueso.....	44
4.5	Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C- 131.....	44
<b>5.</b>	<b>NORMAS PRINCIPALES RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN.....</b>	<b>45</b>

5.1	Descripción de las principales normas relacionadas.....	45
5.2	Relación con las cuatro normas aplicadas.....	45
5.2.1	Bondad del agregado por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, ASTM C-88.....	45
5.2.2	Método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial de los álcalis en combinaciones cemento-agregados, ASTM C-227.....	46
5.2.3	Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas ASTM C-586.....	47
5.2.4	Cambio potencial de volumen en combinación de cemento-agregados, ASTM C-342.....	47
5.3	Factibilidad de aplicación.....	48
5.3.1	Bondad del agregado por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, ASTM C-88.....	48
5.3.2	Método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial de los álcalis en combinaciones cemento-agregados, ASTM C-227.....	48
5.3.3	Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas ASTM C-586.....	49
5.3.4	Cambio potencial de volumen en combinación de cemento-agregados, ASTM C-342.....	49
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>57</b>



## ÍNDICE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Mapa de localización del municipio de Guastatoya respecto a Guatemala..	24
2. Mapa del municipio de Guastatoya.....	28
3. Fotografía 1 que describe la recolección del agregado fino.....	29
4. Fotografía 2 describe la recolección del agregado fino.....	29
5. Fotografía 3 de donde se extrajo el agregado grueso.....	30
6. Fotografía 4 el proceso para la obtención del agregado grueso.....	30
7. Fotografía 5 el proceso para la obtención del agregado grueso.....	31
8. Fotografía 6 el producto final del agregado grueso.....	31
9. Resultado de la norma ASTM C-33 para agregado fino.....	52
10. Resultado de la norma ASTM C-33 para agregado grueso.....	53
11. Resultado de la norma ASTM C-131.....	54
12. Resultado de la norma ASTM C-289.....	55
13. Resultado gráfico de la norma ASTM C-289 para la arena y el pedrín.....	56
14. Resultado de la clasificación del óxido de calcio y óxido de magnesio.....	57
15. Resultado del análisis de óxidos el agregado grueso .....	58
16. Resultado del análisis de óxidos el agregado grueso.....	59

## TABLAS

I. Límites de graduación para el agregado fino .....	2
II. Clasificación de la arena por su módulo de finura.....	2
III. Límites de sustancias deletéreas en agregados finos.....	4
IV. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico.....	11
V. Tipos de ensayo del agregado grueso .....	22
VI. Porcentaje que pasa en cada tamiz.....	33
VII. Contenido mineral proveniente de la granulometría.....	35
VIII. Porcentaje de partículas por tamiz.....	35
IX. Granulometría del agregado grueso.....	36
X. Características físicas del agregado grueso.....	36
XI. Porcentaje de óxidos.....	37

## GLOSARIO

### **Álcali**

Sustancia que produce iones hidróxido, OH<sup>-</sup>, al disolverse en agua

### **Lapilli**

Piroclasto de tamaño pequeño con un diámetro que varía entre los 2-4 mm y los 25-64 mm, según la clasificación granulométrica adoptada.

### **Cuarzo**

El mineral más común, compuesto por dióxido de silicio, o sílice, SiO<sub>2</sub>. Distribuido por todo el mundo como componente de rocas o en forma de depósitos puros, es un constituyente esencial de las rocas ígneas, como el granito, la riolita y la pegmatita, que contienen un exceso de sílice.

### **Diaclasa**

Fractura de las rocas que se caracteriza porque el movimiento relativo de los bloques es una separación, pero no hay desplazamiento de un bloque respecto a otro a lo largo del plano de rotura.

### **Hornblenda**

Grupo de silicatos minerales entre translúcidos y opacos, con fórmula característica general Ca<sub>2</sub>Na

$(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe,Ti})_3\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{O,OH})_2$ , encontrados en rocas metamórficas, ígneas y volcánicas.

### **Lignito**

Variedad de carbón, de calidad intermedia entre el carbón de turba y el bituminoso. Desde el punto de vista geológico, el lignito es de origen reciente pues se encuentra en los estratos del cretácico y del terciario. Suele tener color negro pardo y estructura fibrosa o leñosa.

### **Mortero**

(Construcción), mezcla de cal o cemento con arena y agua que se utiliza para unir ladrillos o piedras y para enlucir paredes.

### **Riolita**

Roca volcánica clara de grano fino, encontrada sobre todo en la lava volcánica.

### **Andesita**

Roca volcánica constituida por el feldespato plagioclasa y por minerales máficos. Es característica de los volcanes que surgen en los bordes continentales.

### **Yacimiento**

Sitio donde se halla naturalmente una roca, un mineral o un fósil.

**Feldespato**

Nombre común de diversas especies minerales, de color blanco, amarillento o rojizo, brillo resinoso o nacarado y gran dureza, que forman parte de rocas ígneas, como el granito. Químicamente son silicatos complejos de aluminio con sodio, potasio o calcio, y cantidades pequeñas de óxidos de magnesio y hierro.

**Antimonita**

Mineral de color gris plomo y brillo metálico, con textura fibrosa o granular. Es un sulfuro de antimonio y constituye la principal mena de este metal.

**Esteatita**

Mineral de color blanco y verdoso, suave, y tan blando que se raya con la uña. Es un silicato de magnesia, que se emplea como sustancia lubricativa, y, con el nombre de jabón de sastre, sirve para hacer señales en las telas.



## RESUMEN

En este trabajo de graduación se analiza la calidad de agregados para concreto de dos bancos: uno de agregado fino y otro de agregado grueso en el municipio de Guastatoya el Progreso. Para éste fin se tomaron dos muestras, luego fueron llevadas a los laboratorios donde se trabajaron los ensayos concernientes para establecer su propiedad física, mecánica y química y mineralógica.

Para analizar las propiedades físicas del agregado se utilizó la norma ASTM C-33, que brinda los requisitos generales que deben llenar un agregado. La propiedad mecánica se determinan con la norma ASTM C-131 denominado ensayo de desgaste por abrasión, la cual se aplica sólo al agregado grueso, y por ultimo 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 determino la calidad de los agregados que son utilizados para elaborar concreto en el municipio de Guastatoya.



## **OBJETIVOS**

### **General**

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

### **Específicos**

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



## INTRODUCCIÓN

Un factor importante en el desarrollo de la industria de la construcción es la información que se tenga sobre la calidad de los materiales para construir.

En Guatemala la producción de agregados pétreos se ha incrementado debido a una mayor demanda dentro del sector de la construcción. Los agregados pétreos uno de los elementos naturales, son utilizados por el hombre en la construcción de cientos de metros cúbicos para concreto, relleno, etc. Estos deben de cumplir con ciertas características para garantizar su uso. Por tal razón, se presenta la necesidad de conocer la calidad del agregado grueso y fino producido en Guatemala, y la interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio.

Para efectuar este análisis de calidad de agregados para concreto se aplicaron las normas **ASTM C-33, C-131, C-289, C-295**, las cuales cubre los ensayos para determinar la buena calidad de agregados en lo que a propiedades físicas, mecánicas y químicas se refiere.



# **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 de la ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).

## **1.1 Descripción general de la norma ASTM C-33**

Esta norma define los requerimientos 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 Agregado Fino**

Los agregados finos consisten en arenas naturales, arenas manufacturadas o combinación de ambas.

#### **1.1.1.1 Granulometría**

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites muestra en la tabla I.

**Tabla I. Límites de graduación para el agregado fino**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
3/8" (9.5 mm)	100
Nro. 4 (4.75 mm)	95 a 100
Nro. 8 (2.36mm)	80 a100
Nro. 16 (1.18mm)	50 a85
Nro. 30 (600 μm)	25 a 60
Nro.50 (300 μm)	10 a 30
Nro.100 (150 μm)	2 a 10

El agregado fin 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**

<b>Tipo de arena</b>	<b>Modulo de finura</b>
Gruesa	2.9 - 3.2 gramos
Media	2.2 - 2.9 gramos
Fina	1.5 - 2.9 gramos
Muy fina	1.5 gramos

El modulo de finura no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 y si varia 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

#### **1.1.1.2 Absorción**

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/plg<sup>2</sup> , es por este motivo que los ensayos de contenido de humedad y

absorción deben hacerse. Los agregados pueden estar en alguno de los cuatro estar siguiente:

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

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

### **1.1.1.3 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 norma 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.

#### 1.1.1.4 Peso unitario aparente y volumétrico

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.

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 con distintos grados de humedad, asentado o suelto según indicación de la norma ASTM C-29.

#### 1.1.1.5 Contenido de materia orgánica

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

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

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

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

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 presentan una resistencia a la compresión no menor del 95% a los 7 días, calculada según la norma **C-97**.

### **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 establece esta norma **C-33**.

#### **1.1.2.1 Granulometría**

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.

### **1.1.2.2 Absorción**

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/plg<sup>2</sup> , 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:

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

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

### **1.1.2.3 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 norma 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.

#### **1.1.2.4 Peso unitario aparente y volumétrico**

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.

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 con distintos grados de humedad, asentado o suelto según indicación de la norma ASTM C-29.

#### **1.1.2.5 Sustancias nocivas en agregado grueso**

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 presenta 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.

## **1.2 Descripción general de la norma ASTM C-295**

En los siguientes incisos se describe la norma antes mencionada

### **1.2.1 Alcance**

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados dependen del uso que se le quiera dar a dicho agregado. En ocasiones la petrografía 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 si permite efectuar muchas conclusiones importantes a nivel práctico. Lo mas 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.

### **1.2.2 Significación y uso**

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones dañinas con sustancias alcalinas ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) 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 hidratado generan un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50%. Este cambio de volumen produce fisuras en los agregados y la matriz de cemento, provocando mal desempeño en la función estructural del concreto y en casos severos puede darse incluso explosiones internas.

Cuando se trata de roca 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.

### **1.2.3 Aparatos y suministros**

El agregado fino se analizó con un microscopio estereoscópico y el grueso con un estudio macroscópico y un análisis químico de óxidos.

#### **1.2.4 Toma de Muestras**

La toma de muestra 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 dónde 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 material complejo deberá 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 están disponibles, las muestras no deben ser menos de 2 kilogramos de cada estrato las piezas que no pesen menos de 0.5 kilogramos o por núcleo perforados descrito anteriormente.

Los depósitos de arena 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 materiales en la tabla VI, seleccionado, tanto como sea posible, la representatividad de los depósitos.

**Tabla IV. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico**

Abertura del 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

### **1.2.5 Selección de muestras para examen**

Las muestras se tamizan en seco para obtener muestras de cada tamaño de tamiz. En caso de arenas, se tiene 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.

### **1.2.6 Examen de grava natural**

Las gravas se examinan para establecer si presentan revestimiento externo, si existe, se determinará si contienen materiales potencialmente dañinos para el concreto y qué tan firme es el revestimiento. Si cada fracción tamizada puede clasificarse fácilmente, dentro del tipo de roca, mediante un examen visual, rayado y prueba de ácido, las demás identificaciones pueden omitirse. Las rocas de grano fino que no se pueden identificar microscópicamente y que pueden contener componentes dañinos para el concreto, serán examinadas mediante microscopia 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

### **1.2.7 Examen de 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 o 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.

### **1.2.8 Examen de núcleo de perforación**

Se debe hacer un registro de cada núcleo, con los siguientes datos: Longitud, recuperación, 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 cree 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 estereoscopio. Algunas consideraciones y procedimientos son más aplicables a algunas rocas particulares que a otras.

### **1.2.9 Examen de 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 dá para la roca triturada.

### **1.2.10 Examen de 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.

### **1.2.11 Examen de arena manufacturada**

El procedimiento debe ser igual al de la arena natural, con énfasis sobre la cantidad y extensión de fracturación y la cantidad natural 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.

### **1.2.12 Cálculos y reportes**

Se calcula la composición de cada fracción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderada 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 (porcentaje 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 de 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 las cantidades de componentes menores de 5% de la fracción tamizada o de la muestra completa como residuos. Como una convención, total de cada fracción tamizada y el total de la muestra completa, será cada uno el 100%, no incluyendo los residuos.

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 usados como agregados para concreto.

Cuando en una muestra han sido encontradas propiedades o constituyentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, estas propiedades o constituyentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, éstas propiedades o constituyentes deben ser descritas cuantitativamente 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 Descripción general de la norma ASTM C-289**

A continuación se describe la norma.

#### **1.3.1 Alcance**

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

Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente, y aunque no son completamente fiable 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 morteros y análisis petrográfico, respectivamente).

### **1.3.2 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 №. 100.

### **1.3.3 Selección y preparación de la muestra**

Este ensayo es aplicable tanto a agregado fino como grueso; 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 300  $\mu\text{m}$  (№. 50 ), de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4.75 mm (№. 4 ). Tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150  $\mu\text{m}$ . Descartar el material que pase por el tamiz de 150  $\mu\text{m}$ . Reducir el material retenido en el tamiz de 300  $\mu\text{m}$ . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de fino que pasan el tamiz №. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$  como muestra para el ensayo.

### **1.3.4 Procedimiento de la reacción**

Pesar tres porciones representativas de  $25.00 \pm 0.05$  gr. de la muestra seca comprendida entre tamices № 50 y № 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25  $\text{cm}^3$  de la misma

solución blanca. Sellar los cuatro envases después de agitarlos suavemente para liberar el aire atrapado.

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

### **1.3.5 Sílice disuelto por el método gravimétrico**

Se trasfiere por un tubo de 100 mL de la solución diluída a un plato evaporado, preferiblemente de platino para mejorar la velocidad en evaporación agregar de 5 a 10 mL de HCl y evaporar en un baño de vapor sin calefacción el residuo extra, probarlo con 5 a 10 mL de HCl y después una cantidad igual de agua, o de una vez echarle de 10 a 20 mL de HCl (1+1) sobre el residuo. Cubrir el plato y dejar absorberlo por 10 minutos en el baño a vapor en un plato caliente.

Diluir la solución con un volumen igual de agua caliente inmediatamente filtrarse en un grado cuantitativo, filtro de papel de poca ceniza y lavar la sílice separada ( $\text{SiO}_2$ ) con agua caliente y conservar el residuo.

### **1.3.6 Sílice disuelto por el método fotométrico**

Este método es aplicable para la determinación cristales de la sílice en todas las soluciones líquidas. Excepto aquel excesivo color pero ésta no determinará la sílice total. El método es particularmente aplicable para un control rápido de análisis diluidle bajo 10 ppm.

### **1.3.7 Determinación del sílice disuelto**

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

### **1.3.8 Cálculos**

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 el anexo. (Resultado g pagina 55) si cualquiera de los tres puntos R<sub>c</sub>, S<sub>c</sub> quedan situados en el lado dañino de la curva del anexo, esto indicará un grado potencial dañino de reactividad alcalina. Sin embargo, un agregado potencialmente dañino, 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 del resultado de laboratorio, 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 carbonados 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.

### **1.3.9 Reducción en alcalinidad**

Transferir por un tubo de 20mL de la solución diluida a un frasco de 125 mL Erlenmeyer agregar de 2 a 3 gotas de solución fenolftaleína y triturar con 0.05 N HCl a la solución fenolftaleína y terminar.

## **1.4 Descripción general de la norma ASTM C-535**

A continuación se describe la norma.

### **1.4.1 Alcance**

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

### **1.4.2 Aplicación y uso**

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 pavimento y aceras.

### **1.4.3 Aparatos empleados**

Se usó 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 se colocará una placa o paleta de acero removible, proyectada radialmente hacia el centro del cilindro 3 ½ pulgadas y extendida a todo lo largo del mismo.

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

#### **1.4.4 Muestreo**

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 será aquella que represente más adecuadamente el agregado suministrado como muestra.

#### **1.4.5 Ensayo de la muestra**

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 período 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 de 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse simple y

cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

#### 1.4.6 Procedimiento

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

**Tabla V. Tipos de ensayos del agregado grueso**

TIPO	TAMICES	PESO RETENIDO (gr.)	Nro DE ESFERAS	REV.	TIMPO (min.)
<b>A</b>	1", 3/4", 1/2",y 3/8"	1250 ± 10	12	500	17
<b>B</b>	1/2" y 3/8"	2500 ± 10	11	500	17
<b>C</b>	1/4" y No.4	2500 ± 10	8	500	17
<b>D</b>	No. 8	500	6	500	17

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el ensayo de materiales

#### 1.4.7 Cálculos

En relación a los agregados, la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión) son las propiedades mecánicas que interesa determinar.

## **2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS EN ESTUDIO**

### **2.1 Generalidades**

La minería y actividades extractivas en el municipio de Guastatoya el Progreso en su mayoría son desarrolladas en canteras ubicadas a inmediaciones de la ruta al Atlántico (CA1-Norte), especialmente en extracción de agregado para concreto y materiales de construcción.

Esta actividad económica proporciona empleo a 524 personas aproximadamente, realizándose sin especialización técnica ni conocimientos avanzados por lo que se produce socabamiento de tierra lo que puede provocar accidentes laborales con pérdidas humanas y materiales.

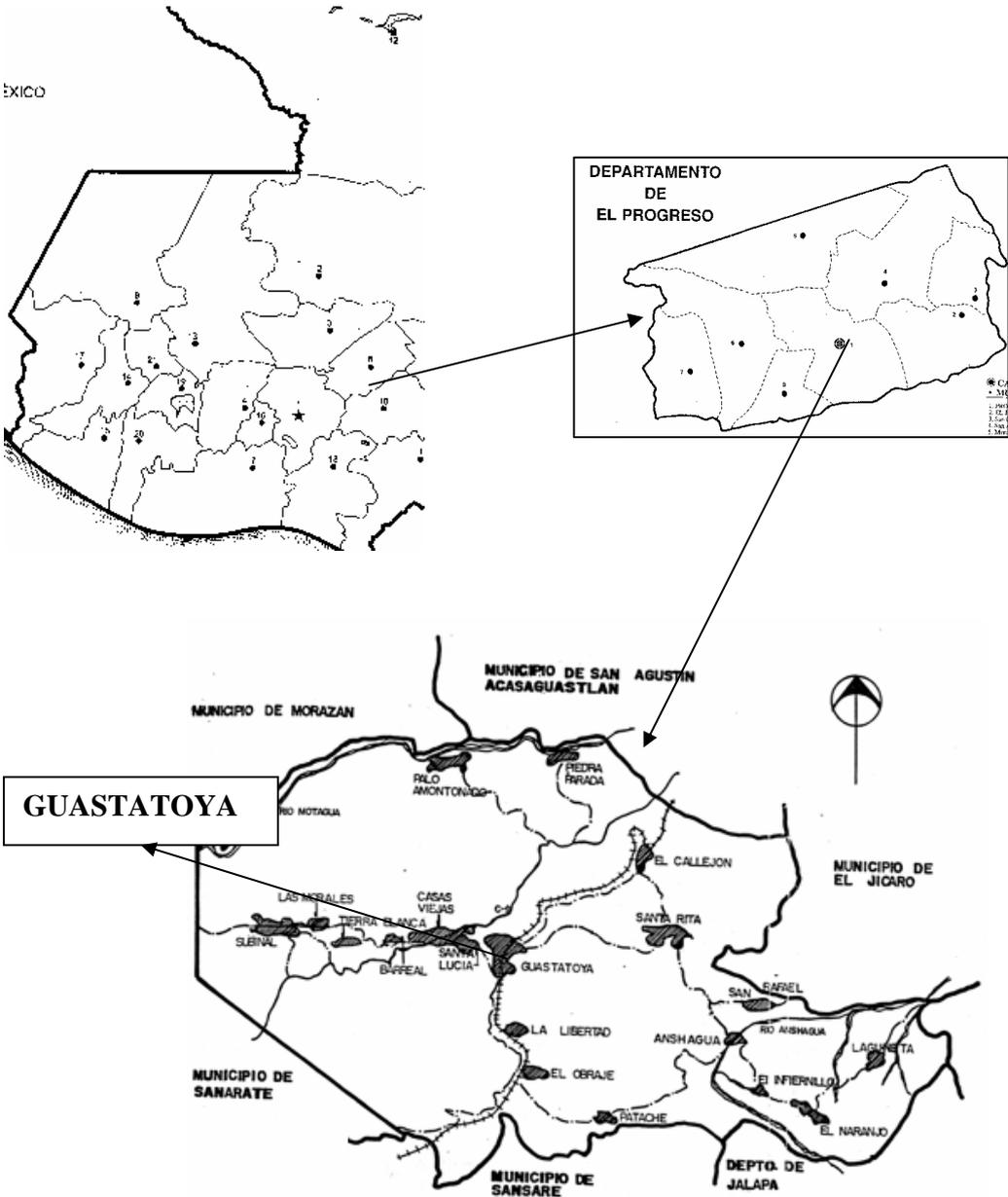
Según información de la cooperativa minera Los Diamantes RL, los Yacimientos que se localizan en el municipio de Guastatoya son:

- Caliza (El Pinal, La Rosita y Femquinsa) ubicado en ruta al atlántico.
- Barita (Cantera Santander) ubicado en ruta al Atlántico.

La ubicación de Guastatoya, cabecera municipal es latitud Norte de 14°51'14" y longitud Oeste de 90°04'07", punto de referencia frente a la Iglesia Católica frente al parque central y posee una extensión territorial de 262 kilómetros cuadrados.

La distancia de la cabecera departamental de Guastatoya hacia la ciudad de Guatemala (capital) es de 75 kilómetros. La línea férrea es un ramal en desuso que atraviesa el municipio de Occidente a Oriente, en su recorrido desde la ciudad capital hacia Puerto Barrios.

Figura 1. Localización del municipio de Guastatoya respecto a Guatemala



El municipio de Guastatoya se distribuye políticamente en: una ciudad que es la cabecera departamental, está integrada por: 5 barrios, 5 colonias y 3 lotificaciones.

El área rural, está integrada por 15 aldeas y 19 caseríos.

## **2.2 Ubicación y localización de los bancos de materiales**

Los bancos están descritos de manera gráfica en mapas, fotografía y a continuación se mencionan cada uno de los bancos

### **2.2.1 Banco de agregado fino**

El agregado fino es tomado del río Guastatoya que cruza el municipio de sur a norte, pasa a la orilla de la ciudad.

### **2.2.2 Banco de agregado grueso**

El agregado grueso elaborado en una pedrinera en la entrada del municipio de Guastatoya el progreso carretera al atlántico.

## **2.3 Descripción geológica de los bancos**

En los siguientes incisos se da una descripción general de la geología de los bancos de agregado grueso y agregado fino

### **2.3.1 Banco de agregado fino**

Por el hecho de que el banco de agregado fino se encuentra en un río la geología es muy diversa por las condiciones que están expuesto y existe diversidad de material orgánico.

### **2.3.2 Banco de agregado grueso**

El banco de material grueso se encuentra roca caliza desarrollado sobre material volcánico y sobre material sedimentario y metamórfico.

El material se ha constituido con los restos de muchísimos esqueletos de animales marinos ricos en carbonato de calcio que se acumularon y posteriormente dieron lugar a la formación de rocas calizas. La acción del agua sobre este tipo de roca origina el relieve denominado Kárstico. El agua se infiltra y escurre a través de las fisuras del terreno modelando la capa caliza y dando lugar ríos subterráneos, cenotes, aguadas y cavernas con estalactitas y estalagmitas. Sedimentario. Se presenta en nódulos, filamentos o canteras. Sedimentarias, que se forman por la acumulación y sedimento. Son de origen secundario, es resultado de la precipitación de restos orgánicos. Muchos de los organismos que habitan en el mar utilizan el carbonato cálcico del agua para producir caparazones protectores duros. Cuando estos organismos mueren las partes calcáreas se acumulan en el fondo del mar, consolidándose formando capas de rocas calizas..

### **2.4 Aspectos ambientales a considerar en explotación de los bancos de materiales**

En la explotación de material de un banco se produce daños ambientales por lo que se debe mitigarlos por lo cual se deberá programar actividades para proveer de vegetación a las áreas afectadas dependiendo la morfología del terreno al finalizar la misma, preparando el terreno y seleccionando especies vegetales adecuadas. Debe evitarse la excesiva exposición de los suelos o de las pendientes pronunciadas, para evitar la

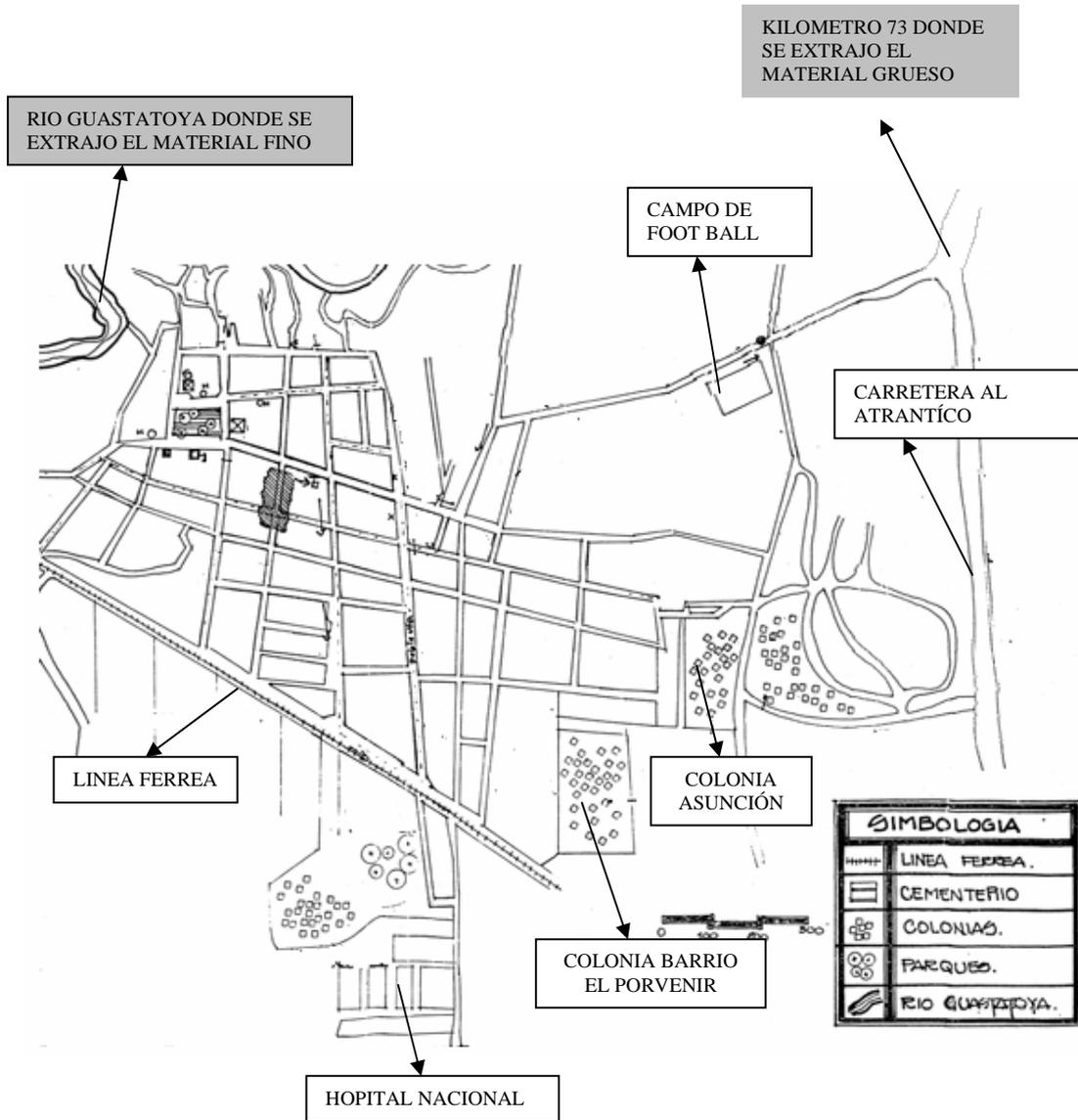
generación de polvo, así mismo se debe evitar cavar o despejar con demasiada anticipación.

Se deberán programar jornadas constantes de riego de agua en los caminos, evitando la generación de polvo, crear una superficie de infiltración que concentre la escorrentía superficial de agua de lluvia, evitando así el volumen de sedimentación en menor medida, además se deberán planificar operaciones formales para recuperar las áreas minadas.

Generalmente, el proceso de evaluación de impactos ambientales, incluye los siguientes aspectos.

- Descripción de la acción propuesta, así como sus alternativas.
- Identificación de los aspectos humanos importantes.
- Obtención de una lista de los indicadores del impacto.
- Determinación de los valores de cada uno de los indicadores de impacto y el valor del impacto total.

**Figura 2. Mapa del municipio de Guastatoya**



**FOTOGRAFÍAS DEL RIO GUASTATOYA DONDE SE EXTRAJO EL  
AGREGADO FINO**

**Figura 3. Ilustra el lugar de recolección del agregado fino**



**Figura 4. Ilustra el lugar de recolección del agregado fino**



**Figura 5. Banco de donde se extrajo el agregado grueso**



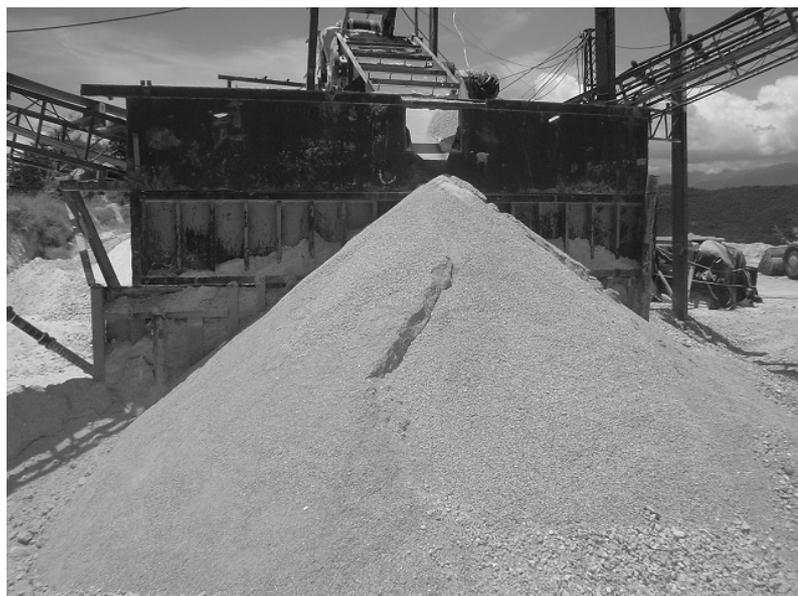
**Figura 6. Proceso para obtener el agregado grueso**



**Figura 6. Proceso para obtener el agregado grueso**



**Figura 7. Producto final del agregado grueso.**





### **3. ENSAYOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO**

Se obtuvo una cantidad de 50 libras de material tanto de agregado fino como grueso directamente del lugar. Estas muestras fueron llevadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería dónde 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.

Los ensayos y resultados que comprenden la determinación de las propiedades físicas que se realizó 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 centro de investigaciones de ingeniería

Debido a que tanto el agregado fino como el grueso pertenecen a diferentes bancos de materiales reaccionan de diferente manera.

#### **3.1 Ensayos y resultados de la norma ASTM C-33, propiedades físicas**

A continuación se describe los ensayos y resultados.

### **3.1.1 Ensayo de muestra de agregado fino**

Se procedió a realizar los ensayos básicos de calidad y requerimiento en el Centro de Investigaciones de Ingeniería conforme lo indica la especificación ASTM C-33, la información obtenida se muestra y analiza en los siguientes subtítulos.

El informe original Centro de Investigaciones se encuentra en el anexo (Resultado d pagina 52).

#### **3.1.1.1 Resultado de porcentaje de absorción**

El porcentaje de absorción que se encontró es de 2.00.

#### **3.1.1.2 Resultado de Granulometría**

**Tabla VI. Porcentaje que pasa en cada tamiz**

<b>TAMIZ Nro.</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
<b>9.4</b>	<b>99.17</b>
<b>4.76</b>	<b>90.47</b>
<b>2.38</b>	<b>67.84</b>
<b>1.19</b>	<b>40.63</b>
<b>0.59</b>	<b>13.74</b>
<b>0.29</b>	<b>3.81</b>
<b>0.15</b>	<b>0.5</b>

#### **3.1.1.3 Resultado de Contenido de materia orgánica**

El contenido de materia orgánica es de 0.

#### **3.1.1.4 Resultado de peso específico**

El peso específico es de 2.6.

#### **3.1.1.5 Resultado de peso unitario**

El peso unitario es de 1623.40 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.2 Ensayo de la norma ASTM C-295, propiedades químicas y mineralógicas.**

A continuación tendremos propiedades químicas y mineralógicas según lo especifica la norma.

#### **3.2.1 Ensayo de la muestra de agregado fino**

El análisis petrográfico se realizó en dos partes, la primera fue el análisis con 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.

##### **3.2.1.1 Resultado de componentes líticos**

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 clasifican en cinco tipos, estos son: feldespato, esquistos clorítico, cuarzo, vidrio translucido, esquistos micáceo.

### 3.2.1.2 Resultado de Contenido mineral proveniente de la granulometría

A continuación se presenta en las siguientes tablas el número y porcentaje de cada mineral.

**Tabla. VII Contenido mineral proveniente de la granulometría**

TIPO	Número de partículas por tamiz					
	Nro. 4	Nro. 8	Nro.16	Nro.30	Nro.50	Nro.100
CUARZO	23	17	47	59	55	50
ESQUISTO CLORITICO	75	43	49	54	48	28
FELDESPATO	14	21	22	10	15	14
ESQUISTO MICACEO	38	69	32	19	14	28
VIDRIO TRASLUCIDO	-	-	-	8	18	30

**Tabla. VIII Porcentaje de partículas por tamiz**

TIPO	Porcentaje de partículas por tamiz					
	Nro. 4	Nro. 8	Nro.16	Nro.30	Nro.50	Nro.100
CUARZO	15.333	11.333	31.333	39.333	36.666	33.333
ESQUISTO CLORITICO	50	28.666	32.666	36	32	18.666
FELDESPATO	9.333	14	14.666	6.666	10	9.333
ESQUISTO MICACEO	25.333	46	21.333	12.666	9.333	18.666
VIDRIO TRASLUCIDO	-	-	-	5.333	12	20
<b>TOTOL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Como puede observarse, en los resultados mostrados en las tablas VII y VIII se encuentran la cantidad y el porcentaje de minerales en una muestra de 150 partículas clasificadas.

### 3.2.2 Ensayo de la muestra de agregado grueso

Como primer paso del análisis del agregado grueso, se caracterizó la roca por su granulometría y sus características físicas 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.

**Tabla IX. Granulometría del agregado grueso**

TAMIZ Nro.	PORCENTAJE QUE PASA
1 1/2	100
1	99.5
3/4	69.02
1/2	31.6
3/8	16.58
Nro.8	2.85
Nro.4	1.97

**Tabla X. Características físicas del agregado grueso**

Peso específico	2.65
Peso unitario Kg/m <sup>3</sup>	1542.43
Peso unitario suelto Kg/m	1380
Porcentaje de vacios	41.8
Porcentaje de absorción	1.53

### 3.2.2.1 Resultado de la Composición química

En el análisis de óxido de magnesio **MgO** y óxido de calcio **CaO** que se le realizó los resultados se encuentran en la tabla 11.

**Tabla XI Porcentaje de óxidos**

<b>OXIDO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Óxido de calcio CaO	47.81
Óxido de magnesio MgO	3.49

Se constató que es más a una caliza que a una dolomía por la diferencia del porcentaje que existe en MgO y CaO según bibliografía consultada PETROLOGIA Walter T. Huang. Ph. D. Prof. Asociación de geología.

Las tablas de evaluación del óxido de calcio y óxido de magnesio se encuentran en el anexo. (Resultado h Pág. 57). Y su clasificación según la composición química de las dolomitas y de las calizas representativas se encuentra en el anexo Pág. 58,59

### 3.2.2.2 Resultado del ensayo petrografico macroscópico

En el ensayo petrografico que se le realizo al agregado grueso se obtuvo el siguiente resultado.

- **Color** Gris
- **Textura** Fina (no clástica)
- **Estructura** No presenta
- **Subtipo** No clástica (Química)
- **Nombre** Caliza
- **Observaciones** Efervece con acido clorhídrico diluído al 10%

### **3.2.2.3 Resultado del ensayo de composición mineralógica**

El ensayo de reactividad potencial la roca está compuesta principalmente por granos de mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) ; Carbonato de calcio.

### **3.3 Ensayo y resultado de la norma ASTM C-289, reactividad potencial.**

El ensayo de reactividad potencial se le aplicó a ambas muestras de agregado fino y grueso y debido a que las muestras de estos bancos uno es manufacturado y el otro de una activada natural de los ríos, contienen diferentes propiedades químicas. (Resultado g Pág. 55, 56)

### **3.4 Ensayo y resultado de la norma ASTM C-131, resistencia a degradación**

Esta norma nos indica la dureza y tenacidad para el agregado grueso para concreto por medio de la máquina de los Ángeles.

#### **3.4.1 Resultado de abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles**

Se tamizó una cantidad representativa del material y según los porcentajes retenidos en cada tamiz se clasificaron el tipo de desgaste como "B". Los resultados del ensayo se encuentran en el anexo (Resultado f Pág. 54)



## **4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

El análisis y la interpretación se basan en los resultados de laboratorio.

### **4.1 Generalidades**

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

### **4.2 Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C-33**

Se realiza el análisis de resultados obtenidos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

#### **4.2.1 Agregado fino**

El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue de 0, por lo tanto cumple con el límite que es 3.

El módulo de finura es 3.83, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. No cumple.

Como puede observarse en el anexo (Resultado d pagina 52) la granulometría no cumple en ninguno de los tamices. Por lo tanto la granulometría en general no está dentro de la especificación.

#### **4.2.2 Agregado grueso**

Según los límites que establece la especificación ASTM C-33 se puede observar en la gráfica que se encuentra en el anexo (Resultado e pagina 53) que la granulometría a lo largo de su gráfica se encuentra dentro de los límites para agregado de tamaño máximo de 25 mm.

El resto de propiedades físicas proporcionada en el Centro de Investigaciones son propias de cada material y son consideradas a la hora de realizar la mezcla de concreto, en éste caso se puede ver que se trata de un material que no es poroso y absorbente por lo que posee alta resistencia a la degradación mecánica como se indica en la norma C-131. (Resultado f pagina 54)

### **4.3 Análisis e interpretación de 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 analizan a continuación iniciando con el agregado fino luego el agregado grueso.

#### **4.3.1 Agregado fino**

Como puede observarse, los resultados mostrados en las tablas VII y VIII que la muestra está compuesta principalmente de esquisto cloritico, roca con alto contenido de sílice que es considerado reactiva. Le sigue el cuarzo y

esquisto micáceo por último un contenido relativamente pequeño de vidrio traslucido y por lo cual la muestra contiene vidrio volcánico, también dañino para el concreto.

#### **4.3.2 Agregado grueso**

Al igual que la caracterización macroscópica, la composición química de la muestra caracteriza a la roca como una caliza, según bibliografía consultada (Igneous and Metamorphic Petrology, apéndice D). Esta roca se encuentra no 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.

#### **4.4 Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C-289**

El resultado del ensayo de reactividad potencial en ambas muestras fue inocuo, lo cual indica que los minerales silíceos que poseen estas muestras no producen una reactividad dañina con los álcalis del cemento Pórtland. (Resultado g Pág. 55, 56)

##### **4.4.1 Agregado fino**

El resultado del ensayo fue inocuo lo; cual indica que los minerales silíceos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland.

#### **4.4.2 Agregado grueso**

El resultado del ensayo fue inocuo lo; cual indica que los minerales silícicos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland.

#### **4.5 Análisis e interpretación de resultados de la norma ASTM C-131**

Al realizar el ensayo utilizando la máquina de Los Ángeles se obtuvo un desgaste del 25.5 por ciento, la norma establece que no debe ser más del 50 por ciento, por lo tanto se cumple e indica que se tiene un agregado grueso con dureza y tenacidad apto para concreto estructural. (Resultado f Pág. 54)

## **5. NORMAS PRINCIPALES RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN**

### **5.1 Descripción de las principales normas relacionadas**

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 de tipo de material que se estudia), las normas que se describen y analizan a continuación.

### **5.2 Relación con las cuatro normas aplicadas**

A continuación se describe cada una de ellas y su relación con las cuatro normas.

#### **5.2.1 Bondad del agregado 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 y otras aplicaciones. Este 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 éste 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.

### **5.2.2 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 análisis 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-silice.

### **5.2.3 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 en nivel general de reactividad de la roca, Este método está concebido como provisional más que como una especificación que deba cumplirse y solamente busca suplir información de registros de servicio de agregados, de exámenes petrográficos y otras pruebas.

### **5.2.4 Cambio potencial de volumen en combinación 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.

### **5.3 Factibilidad de aplicación**

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

Esta prueba brinda resultados rápidos y la norma indica que solamente son preliminares, por los que deben ser comparados con la especificación ASTM C-33, ya que la ASTM C88 no es por si misma lo suficientemente fiable como para calificar determinado agregado, además debe tenerse cuidado para fijar los limites 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

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

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 mucho años, ya que su realización toma largo tiempo, desde un mínimo de un año para tener suficiente 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.

### **5.3.3 Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas ASTM C-586**

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.

### **5.3.4 Cambio potencial de volumen en combinación de cemento-agregados, ASTM C-342**

Tal y como lo dice esta norma, muchas veces agregados aparentemente inocuos sufren cambios de volumen que no tiene que ver necesariamente con las propiedades químicas, si no más 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 Se analizaron ambas muestras de agregados en la cual el agregado fino no cumple con la norma ASTM C-33, por lo tanto el agregado fino no debe ser usado para la fabricación de concretos.
- 2 El agregado grueso cumple con el límite de resistencia a la abrasión e impacto proporcionado por la norma ASTM C-131, por lo cual puede ser usado para la fabricación de concretos.
- 3 Conforme al análisis petrográfico del agregado fino y el análisis de óxidos del agregado grueso, se encontró que el agregado fino están formados principalmente de esquisto clorítico, cuarzo ambos dañinos para el concreto por su contenido de sílice y el agregado grueso es caliza.
- 4 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.
- 5 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 dictámen 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 que se tomó la muestra son reactivos.
- 3 Buscar fuentes alternas de agregados o realizar los exámenes de calidad correspondientes antes de que inicie la explotación, en este respecto podría contarse con la ayuda de estudiantes de Ingeniería Civil que realizan EPS o trabajos de graduación.
- 4 Profundizar en el estudio de estos agregados en la ciudad de Guastatoya, ya que son utilizados por muchas personas, y esto se debe a que son la alternativa de menor precio.



## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Girón Salguero Raul. 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
- 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 Martens Kuck, Uwe. Aplicaciones de la petrografía en el estudio de agregados y concretos. Guatemala, Centro Universitario de Norte CUNOR-, 20003.23 pp
- 4 Beltranena, Emilio. agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1952. 255 pp
- 5 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

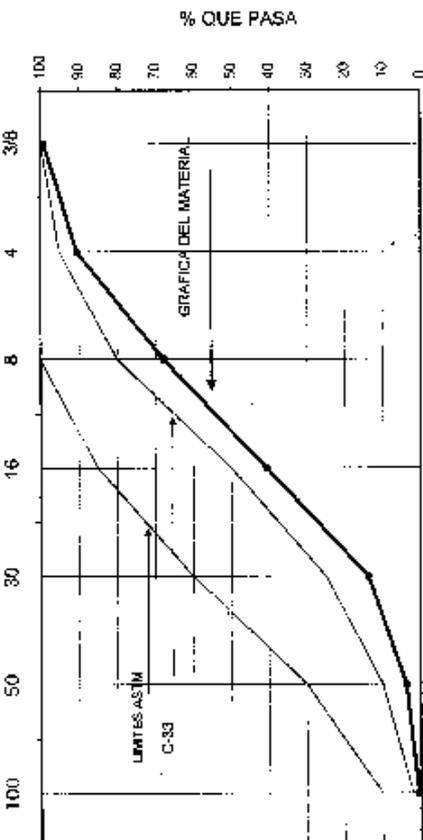
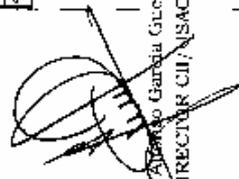
- 6 Román Avila, Luis Rolando. Examen petrográfico y análisis mineralógico de los bancos de materiales de la Ciudad de Chimaltenango, Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 63 pp

## 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 Evaluación de óxido de calcio y óxido de magnesio.

- Resultado d. De la Norma ASTM C-33 para agregado fino (Página 52).
- Resultado e. De la norma ASTM C-33 para agregado grueso. (Página 53).
- Resultado f. De la norma ASTM C-131. (Página 54).
- Resultado g. De la norma ASTM C-289. (Página 55).
- Resultado g. De la norma ASTM C-289 para la arena y el piedrin (Página 56).
- Resultado h De la clasificación del óxido de calcio y óxido de magnesio (Página 57).
- Composición química de las dolomitas (Pagina 58)
- Composición química de calizas representativas (Pagina 59)

Resultado d. De la Norma ASTM C-33 para agregado fino.

 <p><b>AGREGADO FINO PARA CONCRETO</b></p>	 <p><b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b></p>	<p>INFORME No. S.C. -309      PROYECTO: Informe de Graduación</p> <p>Muestra: Agregado Fino      Fecha: 05/06/2005      O.T. No. 19169      Lab. Concretos</p>																						
<p><b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: right;">2.60</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</td><td style="text-align: right;">1623.40</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td><td style="text-align: right;">1550.83</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td style="text-align: right;">37.46</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: right;">2.00</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Organica</td><td style="text-align: right;">0</td></tr> <tr><td>% Retenido en Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">-</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">0.66</td></tr> <tr><td>% de Material Liviano</td><td style="text-align: right;">-----</td></tr> <tr><td>½ Desgaste por Sulfato de Sodio</td><td style="text-align: right;">-----</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">3.83</td></tr> </table>			Peso Especifico	2.60	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1623.40	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1550.83	Porcentaje de Vacios	37.46	Porcentaje de Absorción	2.00	Contenido de Materia Organica	0	% Retenido en Tamiz 6.35	-	% que pasa Tamiz 200	0.66	% de Material Liviano	-----	½ Desgaste por Sulfato de Sodio	-----	Modulo de Finura	3.83
Peso Especifico	2.60																							
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1623.40																							
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1550.83																							
Porcentaje de Vacios	37.46																							
Porcentaje de Absorción	2.00																							
Contenido de Materia Organica	0																							
% Retenido en Tamiz 6.35	-																							
% que pasa Tamiz 200	0.66																							
% de Material Liviano	-----																							
½ Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																							
Modulo de Finura	3.83																							
																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No</td> <td style="text-align: right;">9.40</td> <td style="text-align: right;">4.75</td> <td style="text-align: right;">2.38</td> <td style="text-align: right;">1.18</td> <td style="text-align: right;">0.59</td> <td style="text-align: right;">0.29</td> <td style="text-align: right;">0.15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td style="text-align: right;">99.11</td> <td style="text-align: right;">90.47</td> <td style="text-align: right;">67.84</td> <td style="text-align: right;">40.63</td> <td style="text-align: right;">13.74</td> <td style="text-align: right;">3.81</td> <td style="text-align: right;">0.50</td> </tr> </table>			Tamiz No	9.40	4.75	2.38	1.18	0.59	0.29	0.15	% Que pasa	99.11	90.47	67.84	40.63	13.74	3.81	0.50						
Tamiz No	9.40	4.75	2.38	1.18	0.59	0.29	0.15																	
% Que pasa	99.11	90.47	67.84	40.63	13.74	3.81	0.50																	
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p> <p>a) Muestra proporcionada por el interesado.</p> <p>b) Contenido de materia organica máximo permisible No. 3.</p>																								
 Ing. Cesar Alberto Garcia Guerra DIRECTOR CII/NSAC		 Ing. Francisco Javier Escart Bantes Jefe Sección de Concreto																						

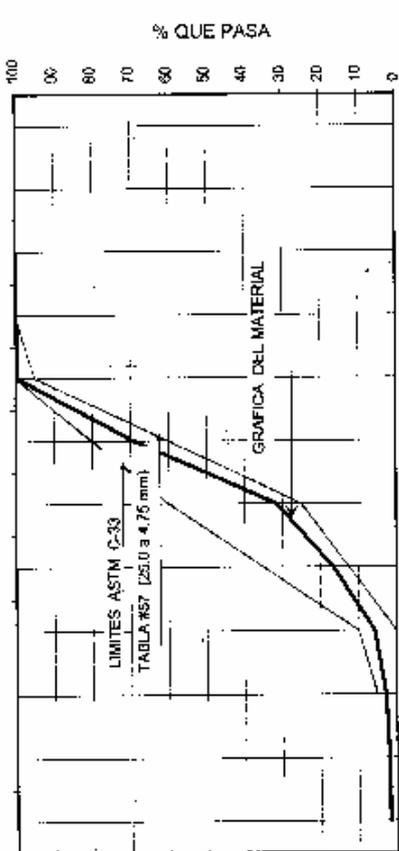
Resultado e. De la norma ASTM C-33 para agregado grueso.

<b>AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</b>	 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>	INFORME No. <b>S.C.-311</b> Proyecto: <b>Informe de Graduación</b>	 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>
INTERESADO: Gilmar Adalberto Orozco López	Muestra: Agregado Grueso	Fecha: 05/09/2005	O.T. No. 19169
		Lab. Concretos	

No. 50	No. 16	No. 8	No. 4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
LIMITE ASTM C-33 TABLA #57 (25.0 a 4.75 mm)											



GRAFICA DEL MATERIAL

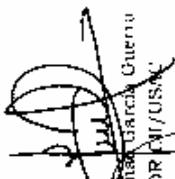
  

Tamaño No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8
% Que pasa	100.00	96.50	69.02	31.80	16.58	2.85	1.97

CARACTERISTICAS FISICAS: Peso Específico: 2.65 Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> ): 1542.43 Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> ): 1380.00 Porcentaje de Vacíos: 41.80 Porcentaje de Absorción: 1.53 % Desgaste por Sulfato de Sodio: ----- % Desgaste por Abrasión: ----- % Partículas Planas y alargadas: ----- % Partículas Lavianas: -----	OBSERVACIONES: * Muestra proporcionada por el interesado.
--	--

Vo. Bo.    
 Ing. Cesar Antonio García Guerra  
 DIRECTOR IN/USAC

  
 Ing. Francisco Javier Escuté Bantes  
 Jefe Sección Concretos

Resultado f. De la norma ASTM C-131



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



INFORME No. S.C. 312 O.T. No. 19169

INTERESADO: Gilmar Adalberto Orozco López  
 ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASIÓN EN MAQUINA DE LOS ANGELES  
 PROYECTO: Informe de Graduación  
 PROCEDENCIA: Guatemala, El Progreso  
 FECHA: Guatemala, 12 de septiembre de 2005

	REFERENCIAS	MUESTRAS		
		1	2	3
1.	Norma de Ensayo ASTM C-131	*****	*****	*****
2.	Graduación "B"	*****	*****	*****
3.	% Desgaste 25.5	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE

ING. FRANCISCO JAVIER ECUTÉ BANTES  
JEFE SECCION CONCRETOS

Ve.Bo.

Ing. César Alfonso García Herrera  
DIRECTOR CI/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 13  
Teléfono directo 2476-3992. Platan 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

## Resultado g. De la norma ASTM C-289



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



O.T. No. 19288

No. Informe Lab. 60 - 05

Interesado: Filmar Adalberto Crozo López

Muestra: 2 muestras de agregado. Un agregado grueso y un agregado fino

Fecha: Guatemala, 11 de Noviembre de 2005.

Determinación de la reactividad potencial de agregados en base a la norma ASTM C-289.

Muestra*	Reducción Acidimétrica (mmol/l)	Silica disuelta (mmol/l)	Resultado
Agregado fino	448.076 +/- 34.90	58.275	INOCUO
Agregado grueso	396.243 +/- 45.62	34.97	INOCUO

\*muestra proporcionada por el interesado.

Ing. Telma Maricela Cano Morales  
Jefe  
Sección Química Industrial - CI-



Vo. Bo. Ing. César Alfonso García Guerra  
DIRECTOR  
Centro de Investigaciones de Ingeniería - CI-



Resultado g. De la norma ASTM C-289 para la arena y el pedrin



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

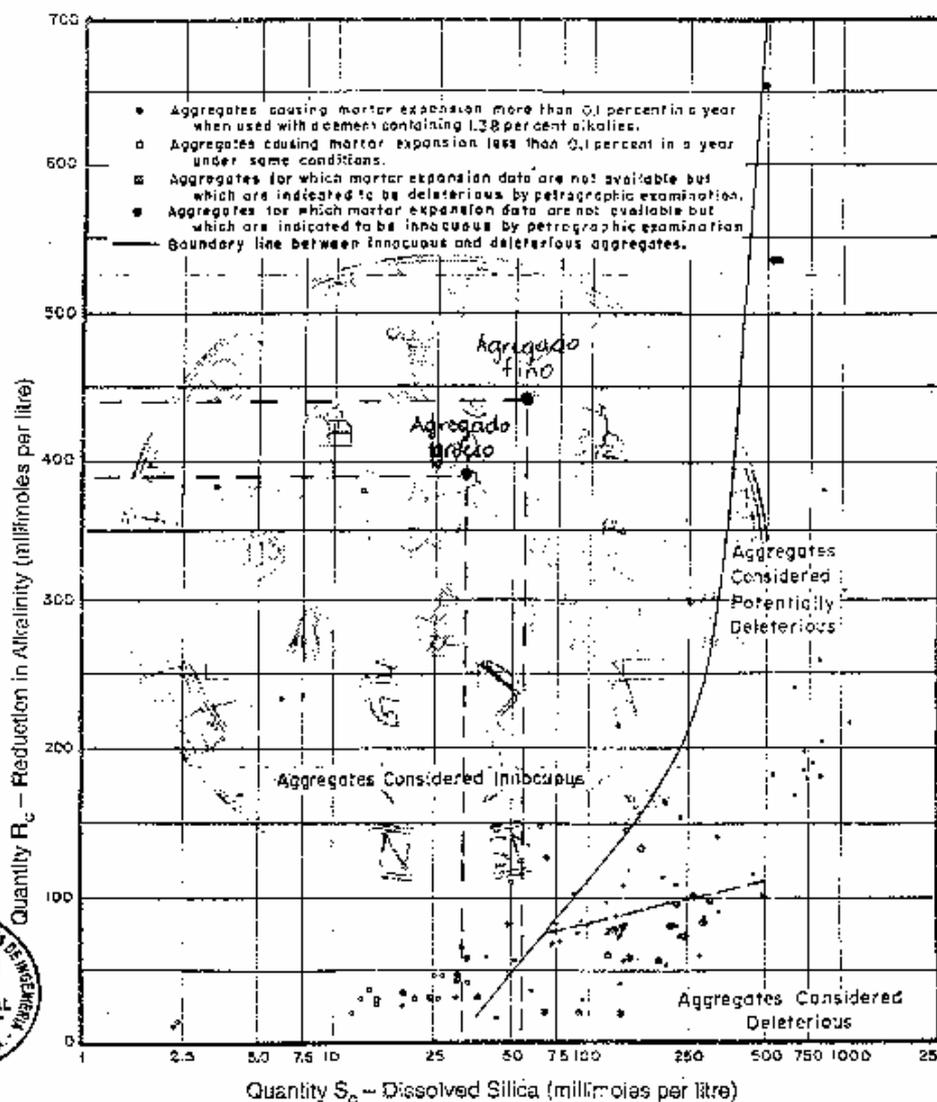


FIG. X1.1 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test.



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 13  
Teléfono directo 2476-3992, Pluma 2441-9500 Ext. 1502, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

## Resultado H. De la Clasificación del óxido de calcio y óxido de magnesio



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



O.T. No. 19373

No. Informe Lab. 58-05

Interesado: Gilmar Orozco López  
Muestra: Una muestra de agregado grueso  
Fecha: 21 de octubre de 2005.

Evaluación de óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO).

PARAMÉTRICO	RESULTADO (%)
Óxido de calcio (CaO)	47.81
Óxido de magnesio (MgO)	5.49

\*Muestra proporcionada por el interesado.

Ing. Tereza Marcela Cano Morales  
Jefe  
Sección Química Industrial - CII-



Vo. Bo. Ing. César Alfonso García Ochoa  
DIRECTOR  
Centro de Investigaciones de Ingeniería - CII-



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 13  
Teléfono directo 2476-3992, Píñata 2443-0500 EXT. 1502, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ciio.usac.edu.gt/>

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DOLOMITAS

Tabla para la calcificación de las dolomitas según los porcentajes de óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO)

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DOLOMITAS

COMPONENTE	(1) <sup>a</sup>	(2) <sup>b</sup>	(3) <sup>c</sup>	(4) <sup>d</sup>	(5) <sup>e</sup>	(6) <sup>f</sup>
SiO <sub>2</sub>	-	2.55	7.96	3.24	24.92	0.73
TiO <sub>2</sub>	-	0.02	0.12	-	0.18	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.23	1.97	0.17	1.82	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.02	0.14	0.17	0.66	-
FeO	-	0.18	0.56	0.06	0.4	1.03
MnO	-	0.04	0.07	-	0.11	-
MgO	21.9	7.07	19.46	20.84	14.7	20.48
CaO	30.4	45.65	26.72	29.58	22.32	30.97
Na <sub>2</sub> O	-	0.01	0.42	-	0.03	-
K <sub>2</sub> O	-	0.03	0.12	-	0.04	-
H <sub>2</sub> O+	-	0.05	0.33	0.3	0.42	-
H <sub>2</sub> O-	-	0.18	0.3	-	0.36	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.04	0.91	-	0.01	0.05
CO <sub>2</sub>	47.7	43.6	41.13	45.54	33.82	47.51
SO <sub>3</sub>	-	0.03	-	-	0.01	-
S	-	0.3	0.19	-	0.16	-
BaO	-	0.01	nada	-	nada	-
SrO	-	0.01	nada	-	nada	-
Orgánicos.....	-	0.04	-	-	0.08	-
Total.....	100	100.06	100.4	99.9	100.04	100.97

### Diferentes dolomitas según los porcentajes de componentes

a. Composición teórica de la dolomita pura b. Caliza dolomítica c. Dolomita niagarana d. Dolomita Knox e. Dolomita pedernalosa f. Dolomita Randville

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CALIZAS REPRESENTATIVAS

Tabla para clasificación de calizas representativas según los porcentajes de óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO)

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CALIZAS REPRESENTATIVAS

COMPONENTE	(1) <sup>a</sup>	(2) <sup>b</sup>	(3) <sup>c</sup>	(4) <sup>d</sup>	(5) <sup>e</sup>	(6) <sup>f</sup>
SiO <sub>2</sub>	0.07	7.41	2.55	1.15	13.8	2.38
TiO <sub>2</sub>	-	0.14	0.02	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.68	1.55	0.23	0.45	7	1.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.7	0.02	-	4.55	0.56
FeO	-	1.2	0.18	0.26	-	-
MnO	-	0.15	0.04	-	0.29	-
MgO	0.59	2.7	7.07	0.56	1.32	0.59
CaO	54.54	45.44	45.65	53.8	38.35	52.48
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.15	0.01	0.07	2.61	-
K <sub>2</sub> O	-	0.25	0.03	0.07	0.86	-
H <sub>2</sub> O+	-	0.38	0.05	0.69	-	-
H <sub>2</sub> O-	-	0.3	0.18	0.23	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.16	0.04	-	0.25	-
CO <sub>2</sub>	42.9	39.27	43.6	42.69	31.31	41.85
SO <sub>3</sub>	0.06	0.02	0.03	-	-	-
S	0.25	0.25	0.3	-	-	-
Orgánicos.....	-	0.09	0.04	-	-	-
Total.....	99.33	100.16	100.02	99.97	100.34	99.43

#### Diferentes tipos de calizas según los porcentajes de componentes

a. Caliza indiana b. Caliza crinoidal c. Caliza dolomítica d. caliza litográfica e. Caliza arcillosa f. creta