

Estudios de calidad de agregados para concreto (en Guatemala), aplicando las normas ASTM C-33, C-131, C-295 y C-289

J.R. Luna-Aroche⁽¹⁾ y R.A. Salguero-Girón⁽²⁾

(1) Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

(2) International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tsukuba, Japón.

RESUMEN

En este trabajo se analiza la calidad de los agregados que utilizan para la fabricación de concreto, utilizando normas de la ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales). Para determinar las propiedades físicas se aplica la norma ASTM C-33, que indica los requisitos generales que debe llenar un agregado para fabricar concreto. Las propiedades mecánicas se determinaron con la norma ASTM C-131, denominada ensayo de desgaste por abrasión (la cual se aplicó sólo a agregados gruesos). Un tercer ensayo realizado es el de reactividad potencial (ASTM C-289) y por último para conocer las características químicas y mineralógicas se utilizó el examen petrográfico según la norma ASTM C-295. Con los datos proporcionados por los ensayos de laboratorio se determinó que los agregados de varios bancos no cumplen con los límites y requisitos que establecen las normas antes mencionadas, por lo cual no es recomendable su utilización.

Palabras clave: áridos, concreto, Guatemala, normativa

Aggregate quality studies for concrete (in Guatemala). Applying ASTM C-33, C-131, C-295 and C-289

ABSTRACT

In this work, quality of aggregates used in the making of concrete is analyzed, following ASTM norms (American Society for Material Testing/Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales). In order to determine physical properties, ASTM C-33 norm is applied. This indicates general requisites an aggregate must fulfill to be able to make concrete. Mechanical properties are fixed by norm ASTM C-131, known as the abrasion wear test (this is only used on thick aggregates). A third test applied is that of reactive potential (ASTM C-289). Finally, in order to discover chemical and mineralogical characteristics, the petrographic test, following norm ASTM C-295, was employed. With the data yielded by the laboratory tests, it was found that the aggregates from various banks did not meet with the limits and the requisites established by the aforementioned norms, hence their use is not to be recommended.

Key words: aggregates, concrete, Guatemala, normative

Introducción

La mayoría de construcciones civiles en Guatemala utilizan el concreto como parte fundamental de las mismas. Para producir un buen concreto estructural es necesario un control de calidad de los agregados con que se fabrica.

Usualmente se aplican las normas relacionadas con análisis físicos y mecánicos (ASTM C-33 y C-131), eventualmente se aplica la ASTM C-289 (reactividad potencial) y en muy pocas ocasiones se realizan exámenes petrográficos (ASTM C-295).

Entre los objetivos, del presente estudio, está el de

evidenciar la importancia de la aplicación de la normativa completa para agregados, ya que por desconocimiento o falta de normativa estatal se están utilizando agregados inadecuados que ponen en riesgo la resistencia o durabilidad de las construcciones.

Para el presente estudio, los ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas ASTM C-33 y C-131 se realizaron en el Área de Concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería y los análisis de la norma ASTM C-289 en el Área de Química Industrial de mismo Centro. En el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas se realizaron los análisis petrográficos correspondientes a la norma ASTM C-295.

Marco teórico

En este apartado se presenta la teoría y los procedimientos sobre los cuales se sustenta el análisis de calidad de agregados, con base en las normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM, 1990).

Análisis de las propiedades físicas de los agregados

Los agregados para concreto deben estar formados por partículas duras y compactas (peso específico elevado) de textura y forma adecuada con una buena distribución de tamaños (buena granulometría).

Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material ligero o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas restan calidad y resistencia al concreto y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia.

Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33 (ASTM, 1990).

Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados

En relación a los agregados, la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión) son las propiedades mecánicas que interesa determinar, sobre todo cuando el agregado se usa en pavimentos o aceras.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados, se emplea el ensayo de Los Ángeles, de acuerdo con la norma ASTM C-131 (ASTM, 1990).

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 del 50 % en peso.

Análisis de las propiedades químicas, mineralógicas y petrográficas de los agregados

Los agregados con alto contenido en sílice pueden producir reacciones negativas, en el concreto, al interactuar con sustancias alcalinas (Na_2O y K_2O). Estas reacciones pueden ser lentas o tardías y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando éstos entran en contacto con el agua,

posteriormente al combinarse con sílice hidratada generan un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50 %. Este cambio de volumen produce fisuras entre los agregados y la matriz de cemento, provocando mal desempeño en la función estructural del concreto y en casos severos pueden darse incluso explosiones internas.

Cuando se trata de rocas carbonáticas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca microfisuras, generando 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 (ASTM C-295) y como complemento la norma ASTM C-289.

Exámen petrográfico de agregados (ASTM C-295)

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados depende del uso que se le quiera dar a dicho agregado. En ocasiones la petrografía no basta para hacer el estudio y es necesario completarlo con otros métodos como la difracción de rayos X, este permite clasificaciones más seguras de minerales poco comunes y arcillas.

La determinación de componentes no es el fin último del análisis petrográfico, pero sí permite efectuar muchas conclusiones importantes a nivel práctico.

Lo más importante es determinar si hay componentes que puedan afectar al comportamiento de un agregado en una aplicación específica, como por ejemplo, determinar y cuantificar los componentes reactivos potenciales de álcali-sílice y álcali-carbonato y recomendar ensayos que confirmen o no la reacción (ASTM, 1990).

Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados (ASTM C-289)

Este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con los 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 tamizado de forma que pase por un tamiz # 50 y quede retenido en un tamiz # 100 (ASTM, 1990).

Los resultados se presentan generalmente de forma gráfica, en la cual se indica si el agregado es potencialmente reactivo o inocuo. La Fig. 1 presenta la gráfica que relaciona reducción por alcalinidad vs. sílice disuelto y ubica la muestra indicando la reactividad potencial.

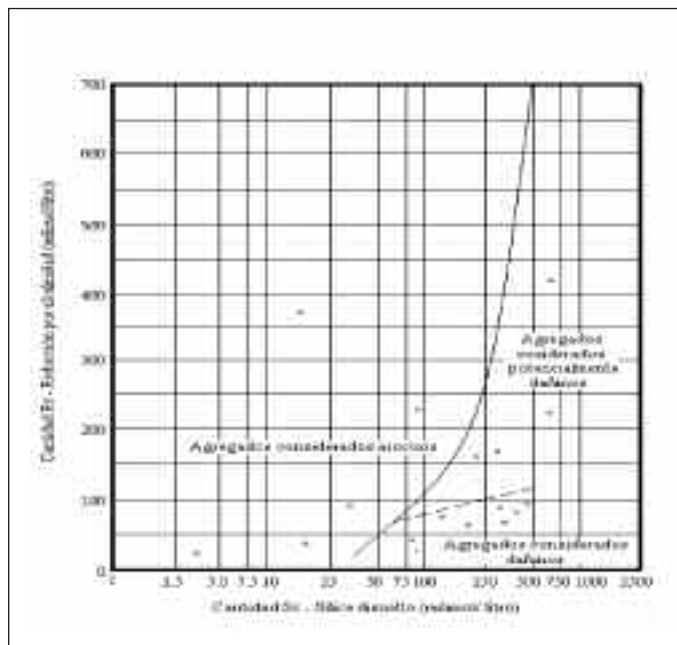


Fig. 1.- Gráfica de reactividad potencial (ASTM C-289)
Fig. 1.- Graphic of potential reactivity (ASTM C-289)

Caso de estudio

Para ejemplificar la aplicación de las normas de calidad, se escogió a la ciudad de Quetzaltenango, a la cual se le considera la segunda ciudad en importancia económica del país (Salguero-Girón, 2004). Es de hacer mención que este tipo de trabajo se ha realizado en varias ciudades importantes.

En la Fig. 2 se presenta un mapa de la República de Guatemala, en el cual se ubica el Departamento de Quetzaltenango (en el SO del país). La ciudad de Quetzaltenango es la cabecera del departamento del mismo nombre.



Fig. 2.- Ubicación del Departamento de Quetzaltenango
Fig. 2.- Location of Department of Quetzaltenango

Los yacimientos de los materiales que propician el desarrollo de obras civiles en Quetzaltenango, se encuentran dentro de una zona conocida comúnmente como Área de Piedrineras, en el denominado como Llano del Pinal y Xecaracoj.

Debido a las condiciones geológicas del lugar, la extracción del material es relativamente fácil, las personas que habitan esta área se dedican principalmente a actividades extractivas, los cuales son extraídos en los propios patios de las viviendas y luego son llevados a una trituradora industrial o triturados artesanalmente.

Se tomaron dos muestra de material manufacturado, una de agregado fino y otra de grueso directamente del lugar de trituración.

En la Fig. 3, se muestra la ubicación específica de los bancos (B), el lugar de trituración (T) y su relación con la ciudad de Quetzaltenango.

Descripción geológica de los bancos

En esta zona se encuentran formaciones volcánicas muy numerosas en forma de pequeños cerros, las cuales están compuestas de material suelto y fracturado. Estas formaciones son restos de antiguas avalanchas de escombros volcánicos (por este motivo el material es poco consolidado haciendo que su extracción sea bastante fácil). El material que se extrae



Fig. 3.- Ubicación de áreas y población
Fig. 3.- Location of areas and population

incluye bloques y bombas volcánicas de considerable tamaño, así también ceniza volcánica muy fina.

La mayor parte del material que compone estos bancos son rocas volcánicas con moderado y alto contenido de sílice, como andesitas, riolitas y pumitas.

Toma de muestras

Las muestras que se tomaron son de agregados manufacturados, la roca es extraída de la fuente y apilada, luego es transportada por camión hasta la trituradora que se encuentra a unos 600 m de la fuente aproximadamente. Allí se tritura y se apila separadamente el agregado fino y el agregado grueso, para posteriormente ser llevados y distribuidos en la ciudad de Quetzaltenango.

Resultados

Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados (ASTM C-33)

- Analisis del agregado fino (ASTM C-33)

De acuerdo a los límites que establece la norma ASTM C-33, respecto al agregado fino, se puede decir que:

- El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue 5. No cumple con el límite que es 3.
- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 16.06. El límite cuando se trata de arena manufacturada como en este caso es hasta 7%. No cumple con la especificación.
- El módulo de finura es 1,79, la especificación indica que debe estar entre 2,3 y 3,1. No cumple con la especificación.

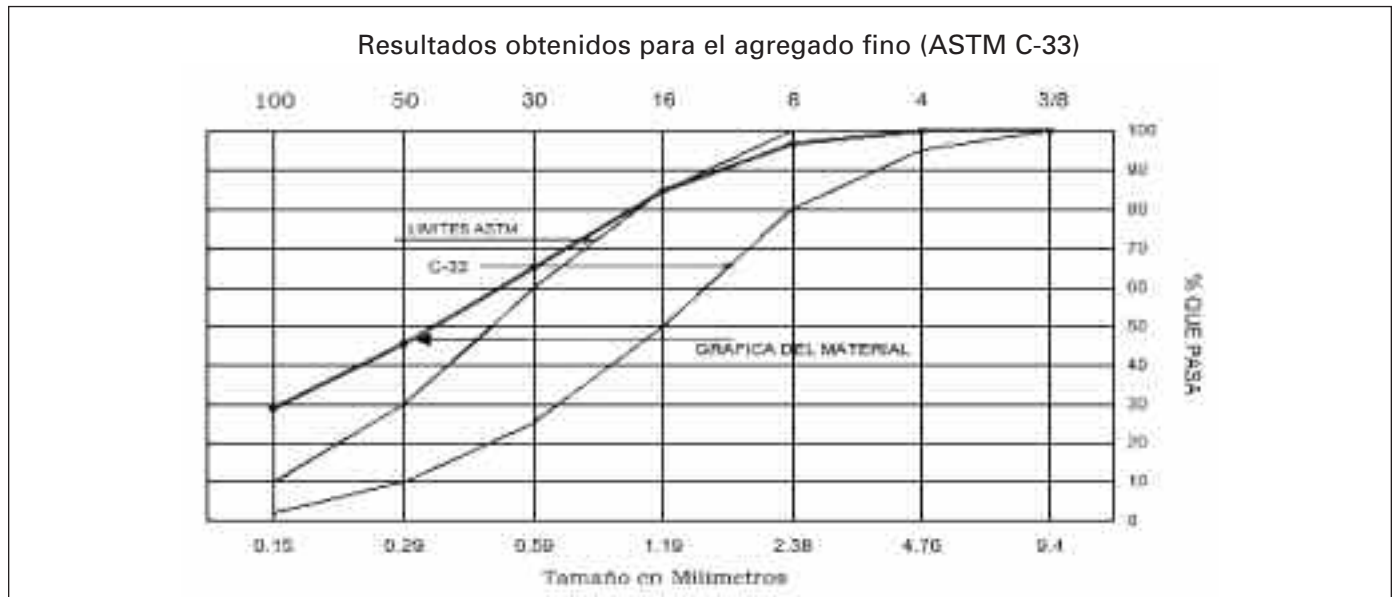


Fig. 4.- Curva granulométrica del agregado fino (ASTM C-33)
Fig. 4.- Granulometric curve of the fine aggregate (ASTM C-33)

Peso específico	2,60
Peso unitario (kg/m³)	1649,13
Peso unitario suelto (kg/m³)	1464,24
Porcentaje de vacíos	35,82
Porcentaje de absorción	0,75
Contenido de materia orgánica	5,00
Porcentaje que pasa el tamiz 200	16,01
Módulo de finura	1,79

Tabla 1. Características físicas del agregado fino (ASTM C-33)
 Table 1. Physical characteristics of the fine aggregate (ASTM C-33)

- La granulometría se cumple en cuatro tamices ($\frac{3}{8}$, No. 4, No. 8 y No.16) y no se cumple en los restantes (No. 30, No. 50 y No. 100). Por lo tanto la granulometría en general No cumple con la especificación.

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

- *Resultados obtenidos para el agregado grueso (ASTM C-33)*

Según los límites que establece la especificación

Peso específico	2,39
Peso unitario (kg/m³)	1277,00
Peso unitario suelto (kg/m³)	1173,14
Porcentaje de vacíos	46,53
Porcentaje de absorción	4,38

Tabla 2. Características físicas del agregado grueso (ASTM C-33)
 Table 2. Physical characteristics of the thick aggregate (ASTM C-33)

ASTM C-33, se puede observar en la Fig. 4 y 5, que la granulometría está dentro de los límites en 4 tamices (2", 1 1/2", 1/2" y 3/8") pero está fuera en 2 (1" y 3/4"), por lo tanto No cumple.

El resto de propiedades físicas proporcionadas en el informe del Centro de Investigaciones de Ingeniería son propias de cada material y éstas son consideradas al realizar la mezcla de concreto. En este caso se puede observar también que se trata de un material muy poroso y absorbente.

- Norma ASTM C-131

Al realizar el ensayo de Los Ángeles se obtuvo un desgaste del 65%, la norma establece que no debe ser más del 50%, por lo tanto No cumple e indica que se tiene un agregado grueso, con poca dureza y tenacidad, no apto para concreto estructural.

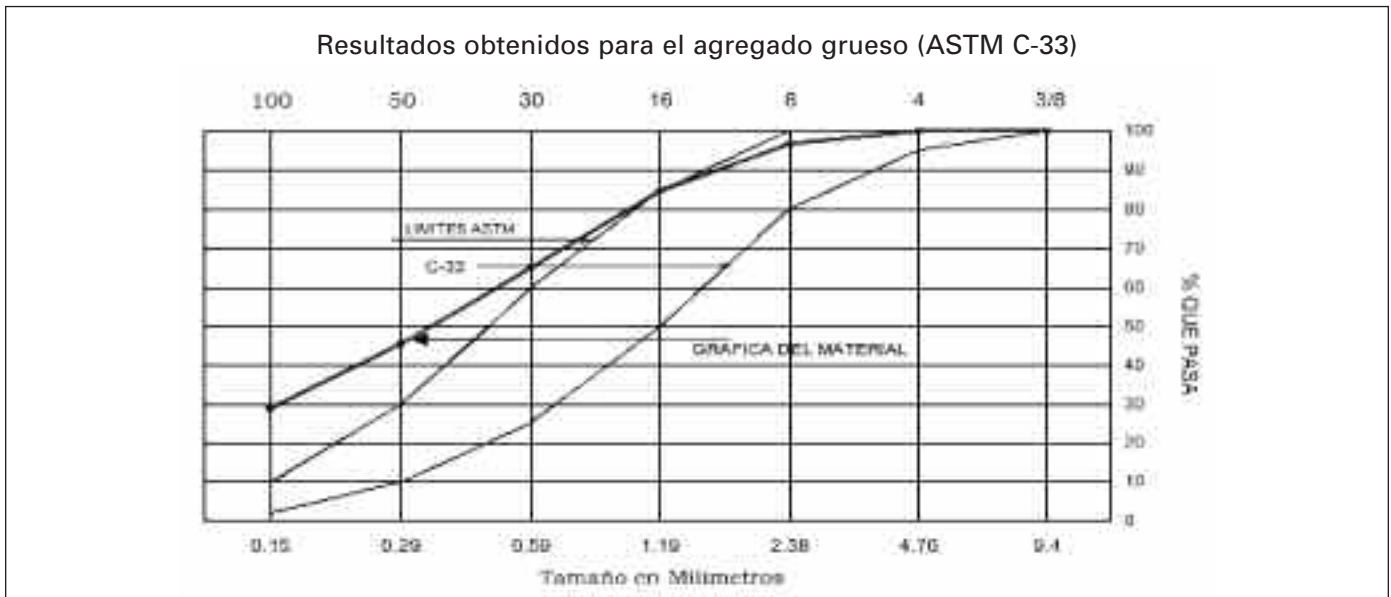


Fig. 5.- Curva granulométrica del agregado grueso (ASTM C-33)
 Fig. 5.- Granulometric curve of the thick aggregate (ASTM C-33)

- Norma ASTM C-289

El ensayo de reactividad potencial se le aplicó a ambas muestras (agregado fino y grueso), y debido a que los agregados de estos bancos son manufacturados, tanto el agregado fino como el grueso están hechos de la misma roca con las mismas propiedades químicas.

Por lo que el ensayo doble sirvió para corroborar los datos de ambas pruebas, las cuales tenían que ser prácticamente iguales. El resultado del ensayo de reactividad potencial en ambas muestras fue INOCUO, lo cual indica que los minerales silícicos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland. Sin embargo, esta norma aclara que la información obtenida con este ensayo debe complementarse con otros métodos (ASTM C-295 y/o ASTM C-227).

- 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 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.

- *Análisis del agregado fino (ASTM C-295)*

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 que contenía cada muestra utilizando un microscopio estereoscópico, las partículas se clasificaron en cinco

tipos: riolitas, andesitas, pómez, vidrio volcánico y hornblenda.

A continuación se muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz y los resultados de la caracterización de partículas.

Los resultados muestran que el material está compuesto, principalmente por riolita, roca con alto contenido de sílice. Además, la muestra contiene un 30% de vidrio volcánico, que también puede ser negativo para el concreto; le sigue andesita y por último un contenido, relativamente pequeño, de pómez y de hornblenda.

Para una mejor visualización de los resultados obtenidos, se han elaborado gráficas que muestran la distribución de los diferentes tipos de partículas por número de tamiz.

- *Análisis del agregado grueso (ASTM C-295)*

Se caracterizó la roca macroscópicamente, de esta forma se contó con una guía al realizar el análisis químico, con el cual se determinó el tipo de roca y así se pudo conocer la composición mineralógica. Las características macroscópicas son las siguientes:

- Tipo: roca ígnea
- Subtipo: extrusiva
- Color: café claro-gris claro
- Textura: porfirítica
- Estructura: vesicular (microscópica)
- Nombre: riolita vítrea

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Química Industrial (CaO, MgO, Al₂O₃ y Fe₂O₃) del CII y en el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas (SiO₂). Siendo los resultados los expuestos en la tabla 4.

Al igual que la caracterización macroscópica, la composición química de la muestra caracteriza a una riolita (Best, 1989).

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz					
	Nº. 4	Nº. 8	Nº. 16	Nº. 30	Nº. 50	Nº. 100
Riolita	50,00	68,00	63,33	47,02	42,26	42,06
Andesita	50,00	32,00	24,00	16,66	12,37	7,72
Vidrio	0,00	0,00	4,00	24,40	36,60	44,63
Hornblenda	0,00	0,00	3,33	6,54	5,15	3,86
Pómez	0,00	0,00	5,33	5,35	3,60	1,71
Totales	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 3. Distribución de partículas por tamiz (ASTM C-295)

Table 3.- Distribution of particles by sieve (ASTM C-295)

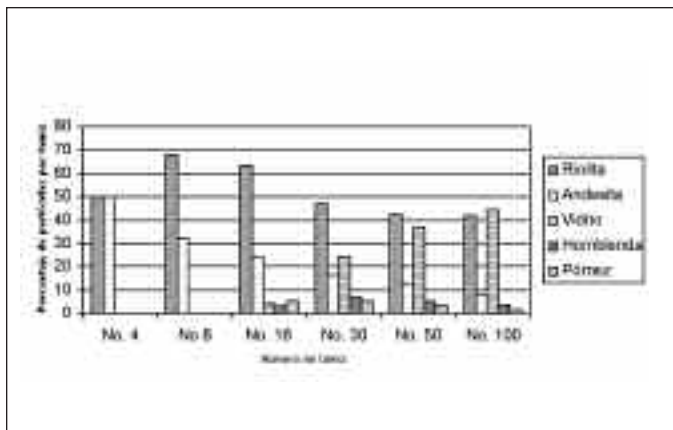


Fig. 6.- Gráfica de distribución de los tipos de partículas (ASTM C-295)

Fig. 6.- Distribution graphic of the particles types (ASTM C-295)

Observaciones respecto al material analizado en el presente caso

El material utilizado como agregado para concreto en la ciudad de Quetzaltenango (proveniente de los afloramientos analizados) no reúne las características para la fabricación de concreto de buena calidad.

Es conveniente explorar otros yacimientos de materiales, cercanos a la población, y analizarlos antes de ser utilizados como agregados para concreto. Se recomienda la aplicación de normas ASTM, u otras recomendadas, de acuerdo al tipo de depósito que se esté analizando.

Conclusiones y recomendaciones generales

Para determinar la calidad de un agregado que va a ser utilizado para la fabricación de concreto deberán aplicarse normas que evalúen las características

Componente químico	Porcentaje
CaO	1,64
MgO	0,59
Al ₂ O ₃	12,28
Fe ₂ O ₃	7,45
SiO ₂	70,18

Tabla 4. Composición química del agregado grueso (ASTM C-295)
Table 4. Chemical composition of the thick aggregate (ASTM C-295)

Físicas, Químicas, Mecánicas, Mineralógicas y Petrográficas.

Por la diversidad geológica de la República de Guatemala es necesario evaluar cada banco que suministra agregados a las diferentes ciudades, ya que para una misma ciudad se podrían estar utilizando diferentes tipos de materiales.

Se recomienda establecer un sistema de control de calidad en las unidades técnicas municipales de Guatemala, que son las encargadas del establecimiento de normas de construcción y ejecución de planes de desarrollo de los municipios.

Referencias

- ASTM. 1990. *Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, 04.02, 804 pp.
- Best, M. 1989. *Igneous and metamorphic petrology*. Ed. W.H. Freeman and Company, New York, 372 pp.
- Salguero-Girón, R. A. 2004. *Exámen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango*. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 68 pp. San Carlos, Guatemala.

Recibido: Septiembre 2005

Aceptado: Julio 2006