



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

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLA DE CONCRETO,  
ELABORADAS CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTREO  
(CANTO RODADO Y TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA**

**Ricardo Enrique Soto Solares**

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, mayo de 2008



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLA DE CONCRETO, ELABORADAS  
CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTREO (CANTO RODADO Y  
TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**RICARDO ENRIQUE SOTO SOLARES**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2008



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



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	
VOCAL V	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Ing. Mónica Noemy Mazariegos Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLA DE CONCRETO, ELABORADAS  
CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTREO (CANTO RODADO Y  
TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil el día 13 de febrero de 2008.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ricardo Soto Solares', with a stylized flourish underneath.

**Ricardo Enrique Soto Solares**





Ingeniero Sergio V. Castañeda L.  
Colegiado 5319

Guatemala 07 de marzo de 2008

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos


Ing. Quiñonez de la Cruz:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de Graduación titulado "Evaluación y análisis de mezclas de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería", desarrollado por el estudiante universitario Ricardo Enrique Soto Solares quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo elaborado por el estudiante Soto Solares, satisface los requisitos exigidos en la Facultad, por lo que recomiendo su aprobación,

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus  
Asesor Facultad de Graduación  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 5319

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental  
Tel. Oficina: 22328650  
Tel. Celular 52212491



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala 9 de abril de 2008

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Fernando Amílcar Boiton Velásquez  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

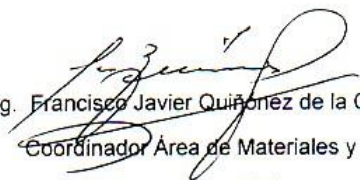
Señor Director:

Tengo el agrado de informar a usted que he realizado la revisión del trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO, ELABORADAS CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTRICO (CANTO RODADO Y TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA", realizado por el estudiante universitario Ricardo Enrique Soto Solares, quien contó con la asesoría del ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Soto Solares cumple con el propósito para el cual fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

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



c.c. Archivo



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. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Ricardo Enrique Soto Solares, titulado EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO, ELABORADAS CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTREO (CANTO RODADO Y TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez



Guatemala, mayo 2008.

/bbdeb.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.161.08

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: **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLA DE CONCRETO, ELABORADAS CON AGREGADOS DE ORIGEN PÉTREO (CANTO RODADO Y TRITURACIÓN) Y ESCORIA DE ACERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Enrique Soto Solares**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, mayo de 2008



/cc





## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mis padres**

Felipe Enrique Soto Urbina, por darme la oportunidad de estudiar y llegar a ser un profesional en el campo de la Ingeniería por segunda vez.

María Elena Solares de Soto, por apoyarme tanto en las buenas como en las malas en las diferentes facetas de mi vida.

### **Mi hermana**

Por ayudarme y apoyarme en las múltiples situaciones a las que me enfrente y a las que me enfrentaré en un futuro

### **Mis tíos**

Sé que cuento con su apoyo incondicionalmente, a pesar que por alguna u otra razón, no todos están presentes en este momento tan importante en mi vida.

### **Mis primos**

Cuento con ellos en los buenos y malos momentos de mi vida. Y aunque hay uno que ya no se encuentra con nosotros, siempre lo recordaremos con cariño.



### **Mis amigos**

Por estar a mi lado en las buenas y ayudarnos en la malas situaciones. Especialmente al Ingeniero Mario Roldán y el Licenciado Etán Godínez, por ser tan buenos amigos y excelentes colegas.

### **Mi casa de estudio**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por darme la oportunidad de ser profesional por segunda vez y poderme desempeñar en ambas carreras afines a mí conocimiento.

### **Mi asesor**

Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus, por sus conocimientos, orientación y asesoría en el presente trabajo de graduación

### **Colaboradores**

A los ingenieros civiles Ery Rodríguez, Julio Luna y Francisco Ecuté.

A Los estudiantes de ingeniería civil Eduardo Machuca, Carlos Boch, Luis Ecuté y Edie Gálvez, por su participación en la elaboración del presente documento.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>
<b>1. AGREGADOS</b>	<b>1</b>
1.1. Definición	
1.2. Tipos	1
1.2.1. Piedras para ornamentación	1
1.2.2. Misceláneas	1
1.2.3. Rocas fragmentadas	2
1.3. Clasificación	2
1.3.1. Según su origen	2
1.3.1.1. Agregados naturales	2
1.3.1.2. Agregados artificiales	2
1.3.2. Por su tamaño	2
1.3.2.1. Agregados finos (arena)	2
1.3.2.2. Agregados gruesos (grava)	2
1.3.3. Por su densidad	2
1.3.3.1. Agregados ligeros	2

1.3.3.2.	Agregados normales	3
1.3.3.3.	Agregados pesados	3
1.3.4.	Por su forma	3
1.3.4.1.	Canto rodado	3
1.3.4.2.	Triturado	3
1.3.4.3.	Canto rodado y triturado (mixto)	3
1.4.	Características	3
1.5.	Efectos de los agregados en el concreto	4
1.5.1.	Manejabilidad	4
1.5.2.	Segregación	5
1.5.3.	Exudación	5
1.5.4.	Temperatura	5
1.5.5.	Resistencia mecánica	6
1.5.6.	Permeabilidad	6
1.5.7.	Durabilidad	7
1.5.8.	Apariencia	7
1.5.9.	Reacciones químicas de los agregados	7
1.5.9.1.	Reacción álcali-sílice	7
1.5.9.2.	Reacción álcali-carbonato	8
1.6.	Normativa aplicable	8
<b>2.</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>13</b>
2.1.	Definición	13
2.2.	Tipos	13
2.2.1.	Tamaño máximo del agregado	13
2.2.2.	Consistencia	13
2.2.3.	Tiempos de fraguado	13
2.2.4.	Resistencia a la compresión	14
2.2.5.	Durabilidad	14
2.2.6.	Peso unitario	14

2.2.7.	Apariencia	14
2.2.8.	Especialidad	14
2.3.	Composición	15
2.3.1.	Cemento	15
2.3.2.	Agua	15
2.3.3.	Agregados	15
2.3.4.	Aire	16
2.3.5.	Aditivos	16
2.4.	Características se pueden mejorar con ayuda de aditivos	16
2.4.1.	Estado fresco	16
2.4.2.	Estado endurecido	16
2.5.	Diseño de mezclas de concreto	16
2.6.	Normativa aplicable	18
2.6.1.	Europa	18
2.6.2.	<i>American Society for Testing and Materials (ASTM)</i>	18
2.7.	Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)	20
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	21
3.1.	Definición muestra de agregados	21
3.1.1.	Antecedentes	22
3.1.2.	Tipos	22
3.1.2.1.	Agregado fino	22
3.1.2.2.	Agregado grueso	22
3.1.2.2.1.	Muestra No. 1 (proceso de trituración)	22
3.1.2.2.2.	Muestra No. 2 (depósito natural)	23

3.1.2.2.3.	Muestra No. 3 (escoria de acería)	23
3.2.	Muestreo de los agregados	29
3.3.	Caracterización de materiales	29
3.3.1.	Cemento	29
3.3.2.	Agregados	30
3.3.2.1.	Agregado fino	31
3.3.2.2.	Agregado grueso	32
3.4.	Concretos	36
3.4.1.	Diseño	36
3.4.1.1.	Proporción	36
3.4.1.2.	Trabajabilidad	36
3.4.1.3.	Relación agua-cemento	36
3.4.2.	Elaboración y evaluación	37
3.4.2.1.	Estado fresco	37
3.4.2.2.	Estado endurecido	41
3.4.2.2.1.	Resistencia a compresión	41
3.4.2.2.2.	Resistencia flexión	43
3.4.2.2.3.	Adherencia	45
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	47
4.1.	Cemento	47
4.2.	Agregados	47
4.2.1.	Agregado fino	47
4.2.2.	Agregado grueso	47
4.2.2.1.	Forma	47



4.2.2.2. Textura	48
4.2.2.3. Composición mineralógica	48
4.2.2.4. Composición química	48
4.2.2.5. Peso específico	49
4.2.2.6. Peso unitario	49
4.2.2.7. Porcentaje de vacíos	49
4.2.2.8. Porcentaje de absorción	50
4.2.2.9. Porcentaje material que pasa el tamiz No. 200	50
4.2.2.10. Granulometría	50
4.2.2.11. Desgaste máquina de los Ángeles	50
4.2.2.12. Reacción álcali-sílice	51
4.3. Concretos	51
4.3.1. Diseño y elaboración	51
4.3.2. Concreto estado fresco	51
4.3.2.1. Temperatura mezcla	52
4.3.2.2. Asentamiento	52
4.3.2.3. Contenido de aire	52
4.3.2.4. Masa unitaria	52
4.3.2.5. Tiempo de fraguado	53
4.3.3. Estado endurecido	53

4.3.3.1. Resistencia a compresión	53
4.3.3.2. Resistencia a flexión	53
4.3.3.3. Adherencia	54
<b>CONCLUSIONES</b>	55
<b>RECOMENDACIONES</b>	59
<b>REFERENCIAS</b>	61
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	63
<b>APÉNDICES</b>	65

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Agregado grueso triturado, cantera AGREGUA	24
2. Agregado grueso de canto rodado, Municipio de Chinautla	25
3. Textura, escoria de acería (vista en microscopio)	25
4. Escoria de acería, Planta SIDEGUA	26
5. Escoria de acería, Planta SIDEGUA	26
6. Escoria de acería, proceso de limpieza, Planta SIDEGUA	27
7. Escoria de acería, clasificación por tamaño, Planta SIDEGUA	27
8. Equipo ensayo contenido de materia orgánica, agregado fino	30
9. Resultados peso específico, agregado grueso	33
10. Resultados masa unitaria, agregado grueso	33
11. Resultados porcentaje de vacíos, agregado grueso	34
12. Resultados porcentaje absorción, agregado grueso	34
13. Resultados porcentaje material pasa tamiz No. 200, agregado grueso	35
14. Resultados porcentaje desgaste máquina de los ángeles, agregado grueso	35
15. Resultados trabajabilidad, concretos evaluados	39
16. Resultados contenido de aire, concretos evaluados	39

17. Resultados masa unitaria, concretos evaluados	40
18. Equipo ensayo para tiempo de fraguado, (ASTM C-403)	40
19. Resultados resistencia a compresión, concretos evaluados	42
20. Máquina universal, ensayos mecánicos concretos	42
21. Resultados resistencia a flexión, concretos	43
22. Resultados resistencia a flexión 28 días, concretos evaluados	44
23. Molde normalizado, ensayo a flexión	44
24. Resultados adherencia 28 días, concretos evaluados	45
25. Resultados adherencia 56 días, concretos evaluados	46

## TABLAS

I. Normas y ensayos para caracterizar agregados, para mezclas de concreto.	9
II. Sustancias dañinas en los agregados pétreos	10
III. Límites para sustancias deletéreas perjudiciales en el agregado fino para concreto (ASTM C-33)	10
IV. Límites para sustancias deletéreas perjudiciales en los agregados gruesos para concreto (ASTM C-33)	11
V. Composición mineralógica escoria de horno de arco eléctrico	28

VI.	Resultados caracterización agregado fino	31
VII.	Resultados caracterización agregados grueso	32
VIII.	Datos concretos evaluados	37
IX.	Resultados caracterización concretos estado fresco	38
X.	Resultados resistencia a compresión	41
XI.	Resultados resistencia a flexión	43
XII.	Resultados adherencia	45



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>a-c</b>	Relación agua cemento
<b>CCR</b>	Concreto canto rodado
<b>CEA</b>	Concreto escoria de acería
<b>CT</b>	Concreto trituración
<b>ACR</b>	Agregado canto rodado
<b>AEA</b>	Agregado escoria de acería
<b>AT</b>	Agregado trituración
<b>g</b>	Gramos
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>PE</b>	Peso específico
<b>PUS</b>	Peso unitario suelto
<b>PU</b>	Peso unitario compactado
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramos por centímetro cuadrado
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada





## GLOSARIO

<b>Agregado</b>	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico o mortero.
<b>ASTM</b>	Siglas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>COGUANOR</b>	Siglas Comisión Guatemalteca de Normas
<b>Concreto</b>	Es una mezcla dosificada de agregados inertes (arena y grava), cemento, agua y aditivos. Los aditivos mejoran o modifican ciertas propiedades del concreto.
<b>Consistencia</b>	Se define a grandes rasgos como la capacidad de colocación de la mezcla de concreto, en la que se involucran propiedades de cohesión y viscosidad, forma parte de la trabajabilidad.

<b>Control de calidad</b>	Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.
<b>Curado</b>	Mantenimiento de condiciones favorables de humedad y temperatura del concreto a tempranas edades, para que desarrolle resistencia y otras propiedades.
<b>Durabilidad del concreto</b>	Capacidad para resistir las acciones del medio, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso que pueda causar deterioro.
<b>f<sub>c</sub></b>	Resistencia a compresión del concreto.
<b>Fraguado</b>	Condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o concreto, cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario, definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación.

<b>Índice colorimétrico</b>	Un indicador de la calidad de impurezas orgánicas que contiene un agregado fino.
<b>Material friable</b>	Material que puede reducir su tamaño durante el proceso de tamizado.
<b>Muestra</b>	Grupo de unidades o porción de material, tomados de una cantidad mayor de unidades o de material. Sirve para aportar información para tomar decisiones sobre el conjunto mayor de unidades, sobre un material o sobre un proceso de producción.
<b>Porosidad</b>	Está dada por su estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista.
<b>Tenacidad</b>	Se entiende en rocas, como la resistencia a fracturarse bajo el impacto.
<b>Sanidad</b>	Resistencia de los agregados a la meteorización física y química.
<b>Segregación del concreto</b>	Una concentración diferencial de sus componentes que da como resultado proporciones no uniformes en la masa (estado opuesto a la homogeneidad).

- Chert** Término inglés empleado por los canteros para designar las formas arriñonadas y masivas silíceas en el seno de roca.
- Pétreos** Son aquellos materiales inorgánicos, naturales o procesados por el hombre que derivan de la roca o poseen una calidad similar a la de ésta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción.

## RESUMEN

Se estima que globalmente se consumen muchas toneladas de arena, grava y roca triturada, aparte que el agua requerida para elaborar concreto es del orden de  $10^9$  m<sup>3</sup>, situación que obliga a la industria de la construcción a buscar alternativas que mitiguen en parte el impacto ambiental causado por sus actividades. Además el uso de hornos de arco eléctrico en la industria siderúrgica va en aumento a nivel mundial, teniéndose que en Europa es el 38%, EEUU 45%, Japón 34%, Filipinas 71%, Indonesia, Malasia, Tailandia y Vietnam es del 100%.

En el presente trabajo se caracterizaron concretos elaborados con tres tipos de agregados gruesos utilizando la misma proporción, trabajabilidad y agregado fino, con el objetivo de evaluar la incidencia que tienen en el concreto, los agregados eran de diferente origen, composición y características físicas y mecánicas. Dos de origen pétreo (triturado y canto rodado) y el otro escoria de acería de horno de arco eléctrico, originada en los procesos de producción de la empresa Siderúrgica de Guatemala SIDEGUA, material que en otros países se utiliza en esta y otras aplicaciones, la empresa MULTISERV en Guatemala se encarga de procesarla en tamaños de interés para los usuarios.

El desarrollo experimental se realizó en base a procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables, caracterizando materiales y concretos en estado fresco y endurecido, para lo cual se contó con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar concretos elaborados con tres tipos de agregado grueso, por medio de procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.

### **Específicos**

1. Caracterizar los tres tipos de agregado grueso y agregado fino utilizados, con base a procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.
2. Elaborar concretos utilizando agregados pétreos de canto rodado y trituración, y escoria de acería, con trabajabilidad y proporciones iguales.
3. Evaluar los concretos en estado fresco y endurecido por medio de procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.
4. Brindar información a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con ayuda del presente trabajo de graduación.





## INTRODUCCIÓN

En Guatemala el consumo y demanda del concreto va en aumento, generando también la necesidad de contar con materiales que tengan un adecuado desempeño dentro de las mezclas, por esta razón, la producción y uso de agregados provenientes de procesos de trituración también viene creciendo, así como la búsqueda de nuevas alternativas en materiales que aprovechen los subproductos generados en la industria y que actualmente no tienen un uso adecuado.

El presente estudio evaluó concretos con trabajabilidad, proporciones y agregado fino en estados semejantes, elaborados con tres tipos de agregados gruesos con origen, composición, y propiedades diferentes, ya que generalmente en los diseños de mezclas no se incluyen estas características que pueden tener una gran incidencia en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, para esto se siguieron procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.

El capítulo uno incluye aspectos teóricos sobre los agregados, como definición, tipos, clasificación, ensayos de laboratorio y otros, en el capítulo dos se presentan conceptos sobre mezclas de concretos, componentes y normativa aplicable.

El desarrollo experimental se incluye en el capítulo tres, donde se explica la metodología utilizada y se presentan los resultados, tablas y gráficas realizados. El capítulo cuatro contiene el análisis de los resultados y principales hallazgos obtenidos, por último, se incluyen las conclusiones y recomendaciones producto del estudio.



# 1. AGREGADOS

## 1.1. Definición

Agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, son aquellos materiales pétreos resultantes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de rocas, con forma, y distribución de tamaños apropiados. (1)

## 1.2. Tipos

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y durables, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o material fino que pueden influenciar en la vida útil de la estructura. Las rocas según el origen y naturaleza de su formación se dividen en tres grupos:

- rocas ígneas o magmáticas
- rocas sedimentarias
- rocas metamórficas

Las principales rocas utilizadas como materiales de construcción, se clasifican de la siguiente forma.

### 1.2.1.1. Piedra para ornamentación

Este tipo de rocas se emplea para realzar el aspecto arquitectónico en obras civiles, y ocasionalmente bajo formas específicas y dimensiones precisas.

### 1.2.1.2. Misceláneas

Este tipo agrupa a todas las rocas utilizadas en la construcción ornamental, este grupo de rocas lo comprenden bloques rodados de forma caprichosa.

### 1.2.1.3. Rocas fragmentadas

Es el tipo de roca fragmentada o desintegrada en forma artificial. Se usan principalmente como agregado pétreo para concreto y pavimentos, bases, terraplenes, terrazas, patios, obras de protección en mares, corrector de suelo, cubiertas granulares, y como elemento termo-acústico, o simplemente como material de relleno.

## 1.3 Clasificación

### 1.3.1 Según su origen

#### 1.3.1.1 Agregados naturales

Son los que se encuentran en la corteza terrestre, y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. A través de estos procesos se obtienen los agregados tradicionales como arena y grava.

#### 1.3.1.2 Agregados artificiales

Son productos del aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización.

### 1.3.2 Por su tamaño

#### 1.3.2.1 Agregados finos (arena)

Son aquellos con el 95% de sus partículas menores de 4.75 mm. (tamiz núm. 4).

#### 1.3.2.2 Agregados gruesos (grava).

Son aquellos con el 95% de sus partículas mayores de 4.75 mm. (tamiz núm. 4).

### 1.3.3 Por su densidad

#### 1.3.3.1 Agregados ligeros

Son aquellos cuya densidad está entre 500-1000 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en concreto de relleno o en la fabricación de bloques para mampostería estructural.

### 1.3.3.2 Agregados normales

Son aquellos cuya densidad está entre 1300-1600 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en concretos normales. (Fuente 1)

### 1.3.3.3 Agregados pesados

Aquellos cuya densidad está entre 3000-7000 kg/m<sup>3</sup> (son aquellos que poseen en su composición química; barita, magnetita, hematita o una mezcla entre ellas) se utilizan en hormigones pesados, como centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, entre otros. (Fuente 1)

### 1.3.4 Por su forma

#### 1.3.4.1 Canto rodado

Proveniente de cauces de ríos, su forma es redondeada.

#### 1.3.4.2 Triturado

Proveniente de piedra de cantera, su forma es angular.

#### 1.3.4.3 Canto rodado y triturado (mixto)

Proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural, su forma es redondeada con caras fracturadas. (Fuente 1)

## 1.4 Características

Las propiedades físicas de los agregados influyen en:

Tipo de obra que se va a construir

- resistencia
- durabilidad
- economía

Tipo de concreto a fabricar

- dureza
- resistencia
- graduación

- durabilidad
- limpieza
- tenacidad

## 1.5 Efectos de los agregados en el concreto

### 1.5.1 Manejabilidad

Es aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente, para ser terminado sin segregación dañina alguna.

- La distribución granulométrica de los agregados es un factor que incide en la manejabilidad de un concreto, debido a que uno con una mala graduación presenta exceso de vacíos, que deben ser rellenados con pasta de cemento en el caso del agregado fino y con mortero en el caso del grueso, para que la mezcla sea trabajable y no quede porosa. Debe evitarse el uso de arenas muy finas o muy gruesas, ya que con la primera el requerimiento de agua es muy alto y fácilmente se segregan, con las segundas se obtienen mezclas muy ásperas y poco cohesivas. Se recomienda un valor del módulo de finura entre 2.2-3.0. Fuente(2)

- La forma y textura también influyen en la manejabilidad, es obvio que los agregados gruesos con partículas alargadas, aplanadas o de forma cúbica y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, comparados con los agregados de canto rodado y de textura lisa, debido a la fricción generada por la trabazón que existe entre las partículas.

- En la medida que la relación pasta-agregados tenga un valor alto, los agregados se podrán mover libremente dentro de la masa, caso contrario se producirá una mezcla granulosa y áspera.

- La relación arena-agregados es importante para la manejabilidad del concreto, una mezcla que tenga un bajo contenido de arena es difícil de manejar, colocar y terminar, con el inconveniente adicional de tendencia a la segregación y exudación por ser una mezcla poco cohesiva, con un exceso de agregado grueso.

Por el contrario si el contenido de la arena es elevado, hay necesidad de añadir más agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable, presentándose también tendencia a la segregación y exudación. Fuente(2)

#### 1.5.2 Segregación

Se define como la separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea (como el concreto), de manera que su distribución deja de ser uniforme por falta de cohesión. Puede ser ocasionada por la diferencia de tamaño de las partículas y la granulometría de los agregados. Se puede presentar de modo tal que las partículas gruesas tienden a separarse por desplazamiento sobre los taludes de la mezcla amontonada o porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad; generalmente ocurre en mezclas secas y poco cohesivas.

#### 1.5.3 Exudación

Consiste en que parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado. El agua queda atrapada bajo las partículas más gruesas de agregado o del acero de refuerzo, lo cual genera zonas de baja adherencia, adicionalmente al subir deja pequeños caminos capilares que aumentan la permeabilidad del concreto.

#### 1.5.4 Temperatura

La temperatura del concreto fresco afecta todas sus propiedades en estado plástico, especialmente el asentamiento y contenido de aire. Se genera por el aporte calorífico de cada uno de sus componentes, ya que la influencia de cada material depende de su calor específico, masa y temperatura. El valor aproximado del calor específico de los ingredientes (cemento y agregados) secos, es de 0.2 kcal/kg/°C. Fuente (2)

### 1.5.5 Resistencia mecánica

Hasta el momento no se ha encontrado una regla general válida que permita describir el comportamiento del concreto bajo todos los estados de esfuerzos, a que es sometido en una estructura. Las propiedades de los agregados que más influyen en la resistencia del concreto son las siguientes:

- Una granulometría continua permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco y por lo tanto, la máxima densidad en estado endurecido, con la consecuente máxima resistencia. Fuente (1)
- La forma y textura de los agregados también influyen, debido a que los de forma cúbica y rugosa permiten una mejor adherencia de la interface matriz-agregado, aumentando la resistencia respecto a los agregados de canto rodado y lisos para una misma relación agua-cemento. Fuente (1)
- La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de uno de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y muy denso.
- El tamaño máximo del agregado también tiene una incidencia en la resistencia del concreto, debido a que la cantidad de cemento requerida para producir una resistencia a la compresión máxima, a una edad determinada con un agregado particular, varía según sea el tamaño máximo del agregado grueso utilizado. Fuente(1)

### 1.5.6 Permeabilidad

Es la propiedad que permite que pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material. Depende de la porosidad de la pasta y de la porosidad de los agregados. Fuente (2)



### 1.5.7 Durabilidad

La mayoría de las rocas tienen poros más grandes que la de la pasta de cemento endurecida (con cualquier relación agua-cemento), se encontró que estas expelen agua durante la congelación, en este caso el daño se debe a la presión hidráulica que se genera en los poros debido al movimiento del agua. Fuente (2)

### 1.5.8 Apariencia

El acabado con los agregados a la vista se está volviendo una práctica común, debido a la diversidad de tipos y tamaños, durabilidad y belleza arquitectónica del concreto, es estos casos el agregado grueso se deja expuesto, bien retirando el mortero de la superficie o colocando cuidadosamente el agregado en la superficie. Fuente (1)

### 1.5.9 Reacciones químicas de los agregados

Son estudios que se realizan a los agregados para ver si éstos no tienen ni tendrán un efecto nocivo con los demás elementos que forman parte del concreto. Fuente (1)

#### 1.5.9.1 Reacción álcali-sílice

Es una de las causas por las cuales se deterioran las estructuras de concreto, se le conoce como reacción álcali-agregado, necesita de la presencia de humedad para que se dé, ocurre entre los hidróxidos de álcali producidos por el cemento al hidratarse y ciertas rocas y minerales silicios, presentes en los agregados utilizados para fabricar concreto, lo que causa presiones de expansión e hidráulicas suficientes para fracturarlo. Si esta continúa puede dejar al concreto vulnerable a la corrosión del acero de refuerzo o al ataque de los sulfatos, se presenta entre los 5 y 15 años después de colocado el concreto, los factores que contribuyen a su origen son:

- Agregados reactivos.
- Cementos con alto contenido de álcalis.
- Fuentes de álcalis externas.

- Medios marinos.
- Condiciones climáticas (hielo/deshielo, ciclos de humedecimiento/secado
- Agentes causantes de corrosión como sales de deshielo y cloruros.
- Cargas de tráfico.

Como mecanismos de prevención de la reacción álcalis sílice, se pueden mencionar los siguientes:

- Empleo de agregados no reactivos.
- Reducción de la cantidad de cemento alcalino.
- Puzolanas y aditivos minerales.
- Aplicar tecnología del litio. Fuente (1)

#### 1.5.9.2 Reacción álcali-carbonato

Es una reacción de carácter expansivo, se produce por medio de un proceso de dolomitización que lleva a la formación de brucita y a la regeneración del álcali, generalmente ocurre con los agregados calizos, particularmente los dolomíticos. Fuente (1)

### 1.6 Normativa aplicable

Se debe de considerar la diferente naturaleza de los agregados gruesos actualmente utilizados, que requieren en algunos casos de normativa particular para evaluar algunas de sus características como es el caso de la escoria.

**Tabla I Normas y ensayos para caracterizar agregados, para mezclas de concreto.**

Ensayo	Significado e importancia	Normas Aplicables
Muestreo de agregados	Mostrar de manera efectiva la naturaleza y las condición de los materiales que lo representan	ASTM D-75
Reducción de muestra	Reducción de muestra para prueba	ASTM D-702
Peso específico y absorción	<p>Cálculo de volumen ocupado por el agregado en mezclas que contienen agregados. PEA, densidad de las partículas que no incluyen espacios de poros.</p> <p>La absorción es el cambio en el peso de un agregado debido al agua absorbida por los poros de las partículas</p>	ASTM C-127, C-128
Peso unitario y vacíos	Determina valores de peso unitario necesarios para valores de selección para mezclas de concreto, y computar el porcentaje de vacíos entre partículas de agregados	ASTM C-29
Impurezas orgánicas	Suministra advertencia de impurezas orgánicas presentes en los agregados finos	ASTM C-40
Cantidad de material fino que pasa el tamiz núm. 200	Cantidad de material más fino, que no se puede calcular por la prueba C-136	ASTM C-117
Estabilidad en agregados	Determina la resistencia de los agregados en solución de sulfato de sodio. Simula la expansión de agua en la congelación. Juzga la firmeza o solidez de los agregados sujetos a la acción del clima	ASTM C-88
Terrones de arena y partículas friables	Índice de terrones de arcilla y partículas friables	ASTM C-142
Gradación	Determina la distribución de las partículas en agregados gruesos y finos por medio de tamiz	ASTM C-136
Abrasión en agregados gruesos	Índice de calidad de los agregados de la fuente de agregados. Mide la degradación y el porcentaje de pérdida	ASTM C-131
Partículas planas y alargadas	Determina las características de la forma del agregado	ASTM D-4791
Caras fracturadas	Determina la característica de caras fracturadas del agregado grueso	INV E-227

Fuente (1)

**Tabla II. Sustancias dañinas en los agregados pétreos**

Sustancias dañinas	Efecto sobre el concreto	Norma ASTM
Impurezas orgánicas	Afectan en el colado y en el endurecimiento y pueden ocasionar deterioro	C-40
Materiales más finos que el tamiz núm. 200	Afectan la adhesión y aumentan los requerimientos de agua	C-117
Carbón, lignito u otros materiales ligeros	Afectan la durabilidad y pueden ocasionar manchas y abultamientos	C-123
Partículas planas y alargadas	Afectan nocivamente al concreto de aceros, pisos y pavimentos	C-4791
Partículas suaves	Afectan la durabilidad y resistencia	C235
Partículas friables	Afectan la operabilidad y durabilidad y pueden ocasionar reventones	C142

Fuente (1)

**Tabla III. Límites para sustancias deletéreas perjudiciales en el agregado fino para concreto (ASTM C-33)**

Concepto	Porcentaje máximo en peso de la muestra total
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3.0
Material fino que pasa el tamiz núm. 200 (75 µm):	
• Concreto expuesto a abrasión	3.0*
• Todos los demás concretos	5.0*
Carbón y lignito	
• Donde el concreto superficial es importante	0.5
• Todos los demás concretos	1.0

\* en caso de la arena fabricada, si el material más fino que el tamiz núm. 200 consta de polvo de la fractura, que no contiene arcilla o esquistosa, se pueden aumentar estos límites hasta un 5 y 7%, respectivamente.

Fuente (1)

**Tabla IV. Límites para sustancias deletéreas perjudiciales en los agregados gruesos para concreto (ASTM C-33)**

Concepto	Porcentaje máximo en peso de la muestra total
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	5.0
Partículas suaves*	5.0
Chert como impureza† que se desintegra en cinco ciclos de la prueba de solidez, o bien en 50 ciclos de la congelación y deshielo (0 a 40 °F)‡ o bien que tenga una gravedad específica, saturado-seco en la superficie, de menos de 2.35	
• Exposición severa	1.0
• Exposición moderada	5.0
Material fino que pasa el tamiz núm. 200 carbón mineral y lignito	1.0
• En donde la apariencia superficial tiene importancia	0.5
• Todos los demás concretos	1.0

\* Esta limitación sólo se aplica cuando la blandura de las partículas individuales de agregado grueso es crítica para el desarrollo del concreto, por ejemplo, en piso de tráfico pesado u otras exposiciones en donde la dureza superficial tiene especial importancia.

† Estas limitaciones sólo se aplican a los agregados en los que la chert aparece como una impureza. No sólo aplicable a las gravas constituidas en forma predominante por chert. Las limitaciones sobre la solidez se deben basar en los registros de servicio, en el medio ambiente en el que se usan.

‡ La desintegración se considera como una división o ruptura real, según se determina mediante un examen visual.

En el caso de los agregados triturados, si el material más fino que el tamiz No. 200 consta de polvo de fractura, que en esencia no contiene arcilla o arcilla esquistosa, el porcentaje se puede aumentar hasta 1.5.

Fuente (1)



## 2. CONCRETO

### 2.1. Definición

El concreto u hormigón se define como la mezcla de un material aglutinante (cemento hidráulico), un material de relleno (agregado fino y grueso), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (2)

El concreto (hormigón) es una mezcla de pasta de cemento (cemento, agua y espacios vacíos), agregados y ocasionalmente productos adicionales (aditivos). (1)

### 2.2. Tipos

El concreto se puede clasificar de acuerdo a las propiedades y características de los ingredientes utilizados, las especificaciones que se apliquen, condiciones de servicio del concreto y las condiciones particulares de manejo del mismo.

#### 2.2.1. Tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo para el concreto dependerá del uso para el que se requiera, pudiendo variar según el diseño ingenieril.

#### 2.2.2. Consistencia

- muy seca
- seca
- semi seca
- media húmeda
- muy húmeda

#### 2.2.3. Tiempos de fraguado

- aditivo retardante

- aditivo reductor de agua
- aditivo acelerante

#### 2.2.4. Resistencia a la compresión

Es la resistencia que soportará el concreto una vez que se haya llevado por completo la fase de fraguado, la resistencia dependerá de los elementos que se hayan utilizado para hacer la mezcla de concreto.

#### 2.2.5. Durabilidad

- permeabilidad normal
- concretos impermeables
- concretos resistentes al congelamiento y deshielo

#### 2.2.6. Peso unitario

- ligero
- normal
- pesado

#### 2.2.7. Apariencia

- coloreados
- agregado expuesto
- estampados
- resaltados

#### 2.2.8. Especialidad

- agregado precolocado
- lanzado
- pavimentos
- bombeo
- vaciado por tubo embudo
- fluido



- ligero
- aireado
- reforzado con fibras
- alta resistencia
- compactado con rodillo

## 2.3. Composición

### 2.3.1. Cemento

Tiene propiedades adhesivas y cohesivas, que le dan la capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Sus propiedades dependen de la composición química, grado de hidratación, finura, tiempos de fraguado, calor de hidratación y la resistencia mecánica que desarrolla.

### 2.3.2. Agua

Por ser cementos hidráulicos estos tiene la capacidad de fraguar y endurecer con el agua, por lo que el agua dentro del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen propiedades aglutinantes.

### 2.3.3. Agregados

Son todos aquellos materiales que poseen una resistencia propia (resistencia del grano), no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, pueden ser naturales o artificiales.

### 2.3.4. Aire

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado es normal que quede aire atrapado dentro de la masa, el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado.

### 2.3.5. Aditivos

Son aquellos materiales distintos al agua, los agregados o el cemento que se utilizan como ingredientes en concretos y morteros, se añaden a la mezcla antes o durante su mezclado. Con ayuda de los aditivos podemos compensar ciertas características del concreto, como lo son:

## 2.4. Características que se pueden mejorar con ayuda de aditivos

### 2.4.1. Estado fresco

- Manejabilidad
- Consistencia
- Plasticidad
- Velocidad de endurecimiento
- Segregación
- Exudación

### 2.4.2. Estado endurecido

- Resistencia a compresión
- Resistencia a flexión
- Resistencia a tensión
- Durabilidad
- Permeabilidad
- Humedecimiento-secado
- Congelamiento y deshielo

Fuente (7)

## 2.5. Diseño de mezclas de concreto

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado. La cantidad de materiales que intervienen

en una mezcla de concreto y la manera en que la variación de sus características influye en las propiedades de la misma, hace necesario el contar con uno o más métodos de dosificación. Fuente (2)

El principal componente del concreto es el cemento (7 al 15 % del volumen de la mezcla), los agregados (60 al 70 %), el agua (14 al 18 %), aire atrapado (1 al 3 %), aire incluido intencionalmente (1 al 7 %) y aditivos. El proporcionamiento puede ser:

- Empírico (proporciones arbitrarias) basado en observación y cierta experiencia.
- Teórico (método de proporcionamiento basado en relaciones vacíos-cemento o vacíos morteros).

Los métodos actuales de diseño de mezclas, contemplan valores límites respecto de un rango de propiedades que deben cumplirse, estas son:

- relación agua-cemento
- contenido mínimo de cemento
- resistencia a la compresión mínima
- tamaño máximo del agregado
- trabajabilidad mínima
- módulo de finura de la arena
- granulometría de los agregados
- contenido de aire

Hoy en día existen varios métodos para el diseño de mezclas de concreto, probablemente el método más utilizado y común en América es la “Práctica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado ACI 211”. Fuente (2)

## 2.6. Normativa aplicable para diseño de concreto

En la mayoría de países existen normas aplicables al concreto para su diseño, evaluación de sus componentes, dosificación, control de calidad en estado fresco y endurecido. A continuación se presentan algunas. (3,4)

### 2.6.1. Normas aplicables para diseño de concreto en Europa

- UNE 83900: Hormigón, fabricación, puesta en obra y criterios de aceptación.
- PNE UNE 12350 1: Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: muestreo.
- PNE UNE 12350 2: Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: ensayo de asentamiento.
- UNE EN 12620: Áridos para hormigón
- UNE EN 13055 1: Áridos ligeros. Parte 1: áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado.
- PNE ENV 13670 1: Ejecución de estructuras de hormigón. Parte 1: generalidades.

### 2.6.2. Normas aplicables para diseño de concreto en EEUU (ASTM)

- ASTM C-31/C31M-06 *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field* (Práctica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo de concreto en obra)
- ASTM C-33-03 *Standard Specification for concrete aggregates* (Especificación estándar para agregados para concretos).

- ASTM C-39/C39M *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens* (Método estándar de ensayo resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto).
- ASTM C-78-07 *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third point loading)* (Método de ensayo estándar de resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga a los tercios del tramo)).
- ASTM C-136-05 *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates* (Método de ensayo estándar para análisis de agregados finos y gruesos por medio de tamices).
- ASTM C-143/C143M *Standard test method for slump of hydraulic cement concrete* (Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico).
- ASTM C-173/C173M *Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the volumetric method* (Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método volumétrico).
- ASTM C-192/C192M *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory* (Práctica estándar para elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio).
- ASTM C-231-04 *Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method* (Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco por el método de presión).
- ASTM C-403/C403M *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance* (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración).

- ASTM C-1064/C1064M *Standard test method for temperature of freshly mixed portland cement concrete* (Método estándar de ensayo para temperatura de mezclas de concreto de cemento Portland frescas).

### 2.6.3. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)

- COGUANOR NGO 41 002: Cementos hidráulicos mezclados. Terminología y especificaciones.
- COGUANOR NGO 41 003 h 20: Cementos hidráulicos. Determinación de reactividad alcalina potencial de las combinaciones de cementos y agregados.
- COGUANOR NGO 41 006: Terminología referente al hormigón y los agregados para hormigón.
- COGUANOR NGO 41 017 h 1-12: Determinación de las propiedades físico mecánicas del hormigón.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Definición muestra de agregados

##### 3.1.1. Antecedentes

Los costos ambientales generados a partir de la explotación y consumo de los agregados pétreos en mezclas de concreto, obligan a evaluar alternativas que ayuden a mitigar esta situación. Una considerada a nivel mundial es el uso de subproductos generados durante los procesos de producción de algunas industrias en particular. La producción de acero va en aumento, debido a la demanda en los diferentes sectores donde se utiliza, situación que tiene un alto impacto por que la cantidad de escoria generada también crece.

Por esta razón y con el apoyo de las Empresas Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA) y MULTISERV, se evaluaron concretos en estado fresco y endurecido, elaborados con tres tipos de agregados:

- Escoria de acería (horno de arco eléctrico)
- Agregado canto rodado
- Agregado trituración

Considerando su origen, composición, forma y textura a efecto de ver la incidencia que estas características tienen en el concreto. Se tomaron las siguientes consideraciones dentro de la metodología utilizada en el desarrollo experimental:

- El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$ "').
- El agregado fino utilizado fue el mismo para los concretos evaluados.
- Las proporciones de los materiales y la trabajabilidad de las mezclas elaboradas fueron iguales para los concretos evaluados.
- Los procesos de dosificación, mezclado, curado y control de calidad fueron los mismos para los concretos evaluados.

### 3.1.2. Tipos

#### 3.1.2.1. Agregado fino

Arena de río, comprada en distribuidora de materiales de construcción de la capital, de acuerdo a los resultados de su caracterización (Apéndice No.1), se considera *adecuada* para el estudio.

#### 3.1.2.2. Agregado Grueso

Para la caracterización de los agregados pétreos, se contó con el apoyo del Centro de Estudio Superiores en Energía y Minas (CESEM), obteniéndose la siguiente información (Apéndice No.3):

##### 3.1.2.2.1. Muestra No. 1 (proceso de trituración)

- Procedencia: Planta trituradora AGREGUA, La Pedrera zona 06, ciudad de Guatemala.
- Tipo de explotación: Cantera
- Presentación: fragmentos de rocas (tamaños grava)
- Color: gris, gris claro.
- Textura: no clástica.
- Tipo: sedimentaria.
- Composición mineralógica: calcita y dolomita.
- Composición química probable: carbonato de calcio y magnesio.
- Nombre: caliza.
- Observaciones: reacciona con ácido clorhídrico diluido y es *adecuada* para el estudio
- Utilidad práctica: agregados para concretos, fabricación de cales y cementos. (Apéndice No.3)



3.1.2.2.2. Muestra No. 2 (proceso de extracción depósito natural, canto rodado)

- Procedencia: río Las Vacas, Municipio de Chinautla, Departamento de Guatemala
- Tipo de explotación: Cantera
- Presentación: fragmentos de rocas (tamaños grava)
- Color: variable (gris, gris claro).
- Textura: no clástica.
- Tipo: ígnea y sedimentaria.
- Composición mineralógica: variable (carbonatos y minerales de origen ígneo).
- Composición química probable: no determinada, pero Nombre: gravas volcánicas y sedimentarias.
- Observaciones: el material es muy heterogéneo, contiene fragmentos de roca ígnea (basaltos y andesitas principalmente) y fragmentos de roca caliza (reacciona con ácido clorhídrico diluido) y es *adecuada* para el estudio
- Utilidad práctica: agregados para concretos. (Apéndice No.3).

3.1.2.2.3. Muestra No. 3 (escoria de acería)

- Origen

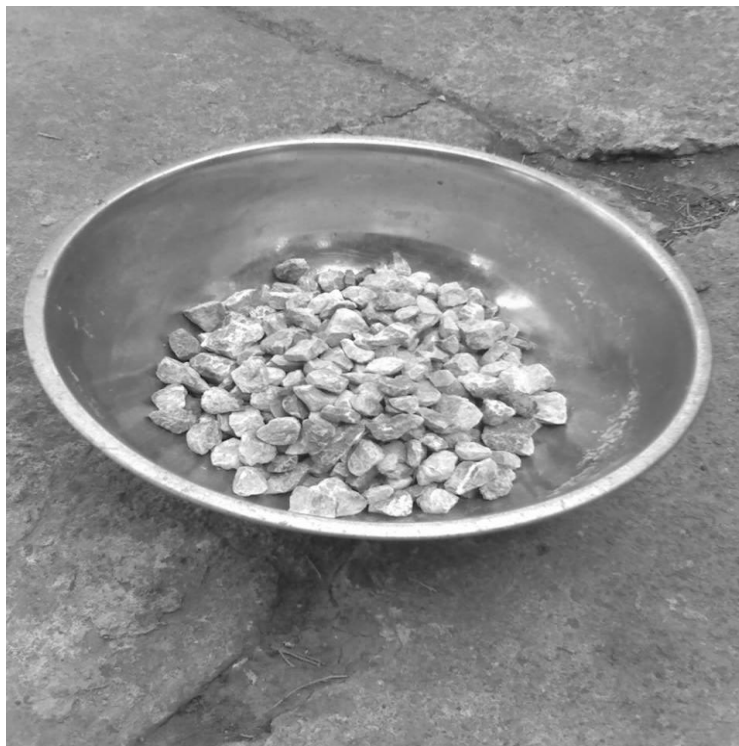
Se producen en hornos de arco eléctrico, este material cuando está en estado sólido es un excelente agregado para la construcción de carreteras y vías férreas, pueden presentar marcadas diferencias entre si, debido a la naturaleza del proceso, tipo de carga, inclusive el tipo de acero producido. Algunas propiedades físicas típicas de las escorias:

- Gravedad específica Valor 3.2 - 3.6
- Peso Unitario 1600 – 1920 kg/m<sup>3</sup>
- Absorción de agua 3%

- Excelente Resistencia a la abrasión (prueba desgaste de los Ángeles 17% - 30%)
- Dureza (6.5-7 escala de Moh's)
- Pérdida sulfato (menores 5%)

Durante la elaboración del acero, la escoria fundida, que se separa del acero es retirada por unos camiones y llevados a depósitos sobre el suelo, se enfrían con chorros de agua en un proceso conocido como “Trituración por agua”, en la planta en la separadora magnética y cernidora se recuperan todas las partículas metálicas para su reutilización en la acería.

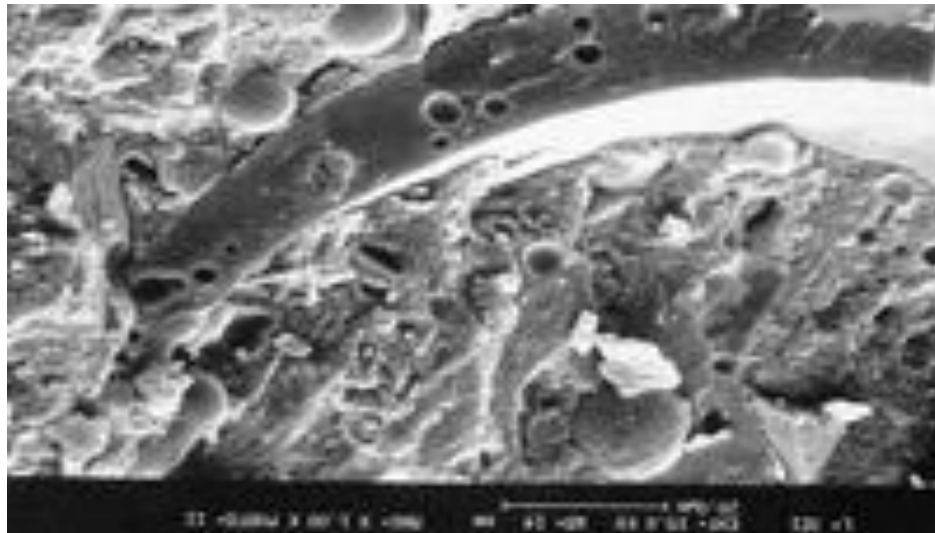
**Figura 1 Agregado grueso triturado de la cantera AGREGUA, zona 6 Guatemala, Guatemala**



**Figura 2 Agregado grueso de canto rodado de cantera Municipio de Chinautla**



**Figura 3 Textura, escoria de acería  
(Vista en microscopio)**



Fuente (5)

**Figura 4 Escoria de acería, Planta SIDEGUA, Escuintla Guatemala**



**Figura 5 Escoria de acería.  
Planta SIDEGUA, Escuintla Guatemala**



Fuente (6)

**Figura 6 Escoria de acería, proceso de limpieza.  
Planta SIDEGUA, Escuintla Guatemala**



Fuente (6)

La escoria se separa en diversos tamaños y se apila para su uso posterior como agregado en bases granulares, mezclas asfálticas, recubrimiento de taludes o material de relleno. Este material presenta las siguientes características técnicas, las cuales son de utilidad en la construcción

- Textura superficialmente rugosa.
- Forma cubica y angular.
  - Internamente cada partícula es de naturaleza vesicular.
    - Características

**Figura 7 Escoria de acería, clasificación por tamaño.  
Planta SIDEGUA**

Fuente (6)



**Tabla V Composición mineralógica escoria de horno de arco eléctrico, según estudios realizados por la planta SIDEGUA, Escuintla Guatemala**

<b>Análisis mineralógico escoria de horno de arco eléctrico (típica)</b>	
<b>Mineral</b>	<b>Contenido (%)</b>
Silice	45.3
Wuestita	22.6
Larnita	21.8
Merwinita	3.0
Portlandita	0.3
Brownmillerita	4.8
Ghelenita	2.3
Total	100.0

Fuente (6)

### 3.2. Muestreo de los agregados

Las muestras de agregados pétreos para los distintos ensayos fueron efectivamente representativas del material y gracias a los tamices se redujeron hasta reducirlos a la cantidad necesaria para el ensayo. En lo posible se siguieron los procedimientos indicados en las normas ASTM D-75 (muestreo de agregados) y C-702 (reducción de muestras para prueba).

### 3.3. Caracterización de materiales

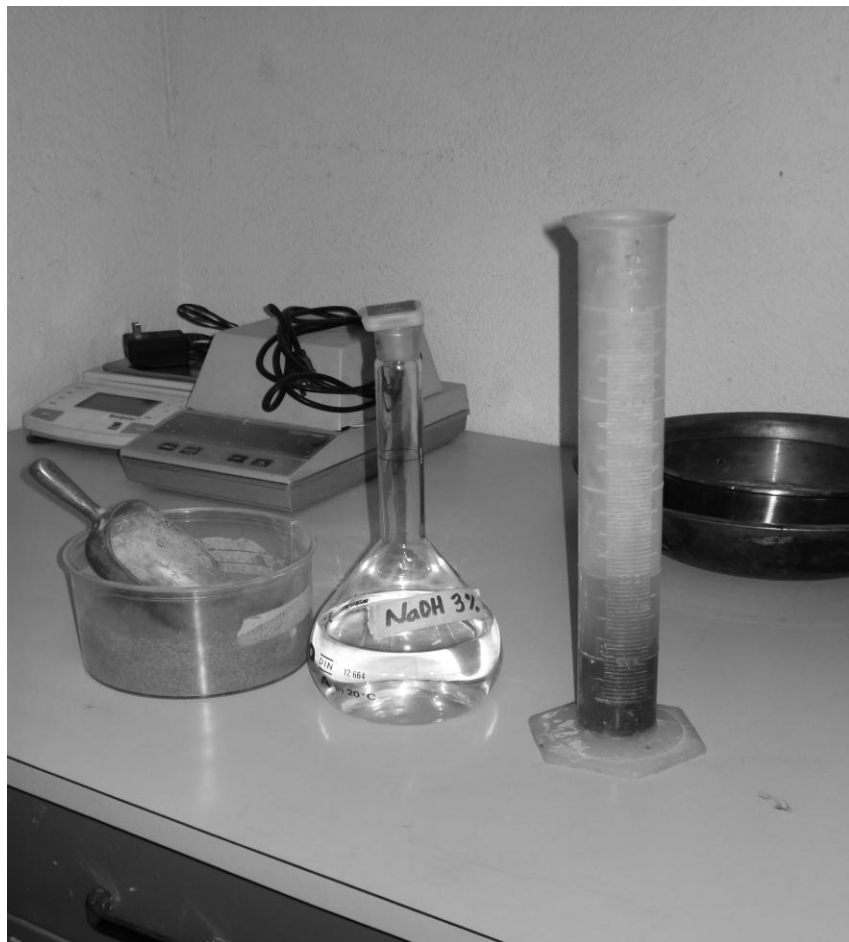
#### 3.3.1. Cemento

Cemento mezclado tipo UGC, marca Cementos Progreso, según el fabricante cumple con lo indicado en las normas aplicables mundialmente para cemento.

#### 3.3.2. Agregados

Los ensayos fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siguiendo procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables. (Apéndice 1).

**Figura 9** Equipo ensayo contenido de materia orgánica, agregado fino del Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala





### 3.3.2.1. Agregado Fino

Fue utilizada arena de río en la mezcla de todos los concretos elaborados.

**Tabla VI Resultados caracterización agregado fino**

<b>Resultados caracterización agregado fino</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Valor</b>
<b>Contenido de humedad</b>	<b>10.6</b>
<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.40</b>
<b>Peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1424.7</b>
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1370.0</b>
<b>% de vacíos</b>	<b>41.0</b>
<b>% de absorción</b>	<b>2.1</b>
<b>Contenido de materia orgánica</b>	<b>1 &lt; 3</b> <b>Bueno</b> <b>(Apéndice 1)</b>
<b>% de material que pasa el tamiz No. 200</b>	<b>3.3</b>
<b>Módulo de finura</b>	<b>2.52</b>
<b>Granulometría</b>	<b>Adecuada</b> <b>(Apéndice 1)</b>

### 3.3.2.2. Agregado Grueso

Se utilizó agregados gruesos de diferentes procedencias (Piedrín de canto rodado, piedrín de trituración y escoria de acería)

**Tabla VII Resultados caracterización agregados grueso**

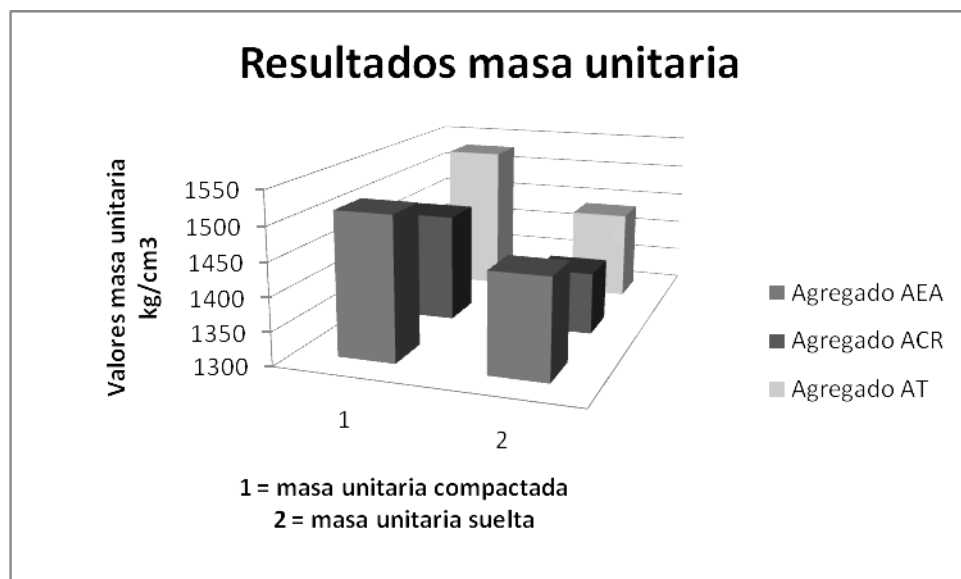
<b>Resultados caracterización agregados grueso</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Tipo de agregado</b>		
	<b>Escoria de acería</b>	<b>Agregado canto rodado</b>	<b>Agregado triturado</b>
<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.38</b>	<b>2.60</b>	<b>2.69</b>
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1514.0</b>	<b>1463.5</b>	<b>1528.9</b>
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1448.5</b>	<b>1393.7</b>	<b>1436.5</b>
<b>% de vacíos</b>	<b>55.2</b>	<b>43.8</b>	<b>43.3</b>
<b>% de absorción</b>	<b>2.87</b>	<b>2.31</b>	<b>0.64</b>
<b>% de material que pasa el tamiz No. 200</b>	<b>0.43</b>	<b>0.63</b>	<b>2.65</b>
<b>% Desgaste máquina de los ángeles</b>	<b>25.8</b>	<b>31.9</b>	<b>28.7</b>
<b>Granulometría</b>	<b>Adecuada (Apéndice 1)</b>	<b>Adecuada (Apéndice 1)</b>	<b>Adecuada (Apéndice 1)</b>
<b>Reacción álcali-sílice</b>	<b>Inocuo (Apéndice 2)</b>	<b>Inocuo (Apéndice 2)</b>	<b>Inocuo (Apéndice 2)</b>

\*Nomenclatura ver en lista de símbolos (página XI)

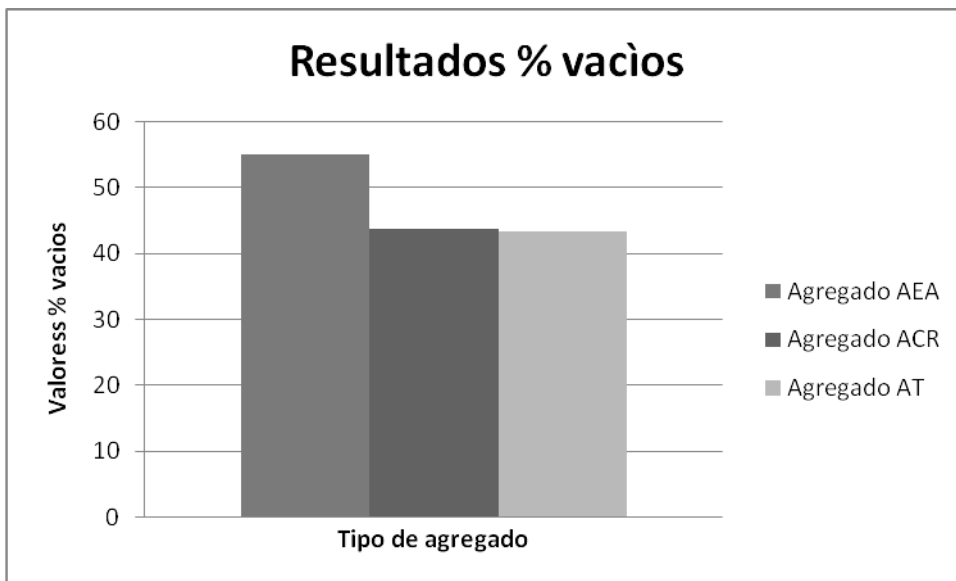
**Figura 10 Resultados peso específico, agregado grueso (Apéndice 1)**



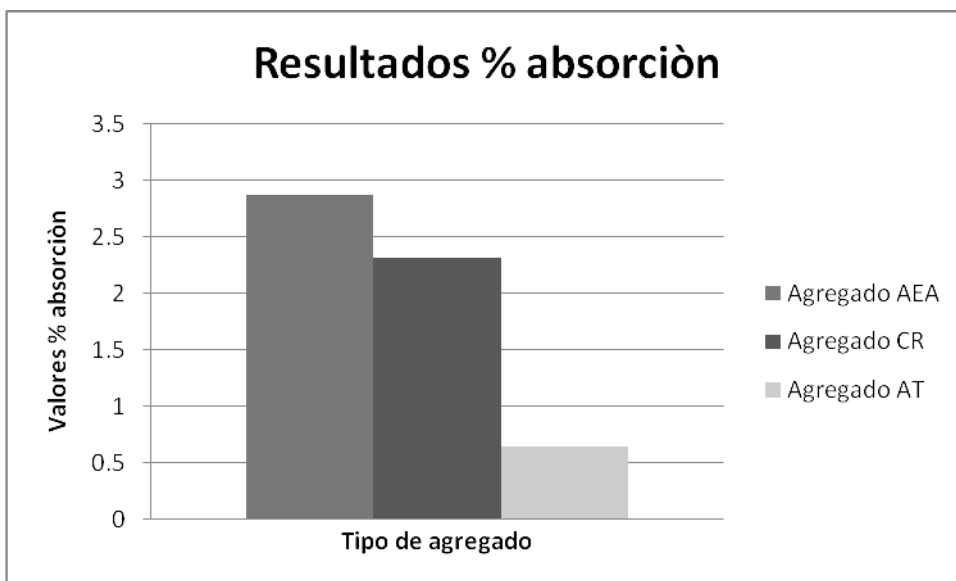
**Figura 11 Resultados masa unitaria, agregado grueso (Apéndice 1)**



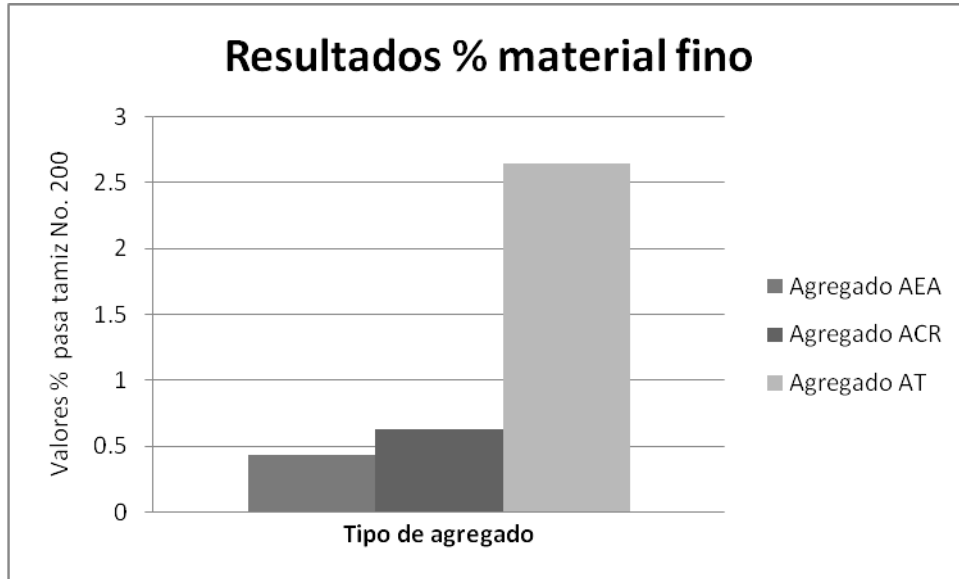
**Figura 12 Resultados % de vacíos, agregado grueso (Apéndice 1)**



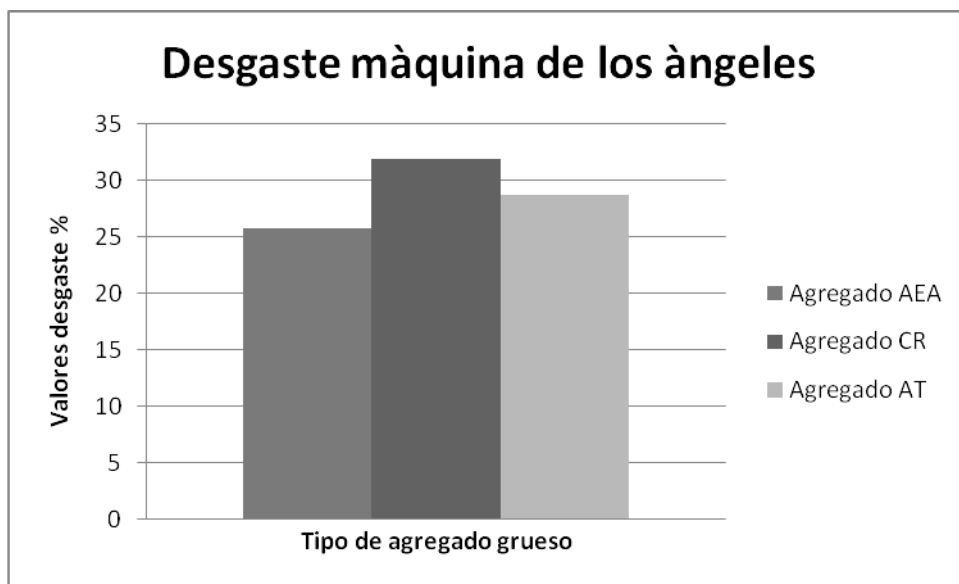
**Figura 13 Resultados % absorción, agregado grueso (Apéndice 1)**



**Figura 14 Resultados % material pasa tamiz No. 200, Agregado grueso (Apéndice 1)**



**Figura 15 Resultados % desgaste máquina de los ángeles, Agregado grueso (Apéndice 1)**



## 3.4. Concretos

### 3.4.1. Diseño

Es el resultado matemático que se llevó a cabo para poder sacar una proporción de concreto para cubrir el volumen que se requería para cada mezcla de concreto (18 cilindros de concreto de PVC con un diámetro de 3”, 3 viguetas de dimensiones 0.535\*0.15\*0.15 metros).

#### 3.4.1.1. Proporción

Fue la misma para los concretos evaluados, las cantidades se indican para cada mezcla.

1: 2 : 3 masa (Apéndice 1)

#### 3.4.1.2. Trabajabilidad

La trabajabilidad fue la misma para los concretos elaborados, se evaluó por medio de la prueba del cono de Abrams, fijándose un valor entre 12.7-10.2 cm (4-5”). (Apéndice 1)

#### 3.4.1.3. Relación agua-cemento

Fue variable dependiendo del tipo de agregado grueso utilizado ya que influye la textura de cada tipo de agregado.

**Tabla VIII Datos de los concretos evaluados  
(Apéndice 1)**

<b>Datos mezclas de concretos elaborados</b>					
<b>Tipo de concreto</b>	<b>Parámetro</b>				
	<b>Proporción en masa (kg)</b>				<b>Relación a/c (%)</b>
	<b>1 : 2 : 3</b>				
<b>Cemento</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Agua</b>		
<b>CEA</b>	<b>25.0</b>	<b>49.9</b>	<b>61.0</b>	<b>7.7</b>	<b>49.0</b>
<b>CCR</b>	<b>20.4</b>	<b>40.8</b>	<b>61.2</b>	<b>6.6</b>	<b>45.6</b>
<b>CT</b>	<b>20.9</b>	<b>41.7</b>	<b>62.6</b>	<b>7.5</b>	<b>44.0</b>

### 3.4.2. Elaboración y evaluación

Todos los concretos fueron elaborados a mano, con el mismo tipo de cemento (cemento mezclado UGC), manteniéndose las proporciones y trabajabilidad en un rango controlado a efecto de que estas no fueran variables.

#### 3.4.2.1. Estado fresco

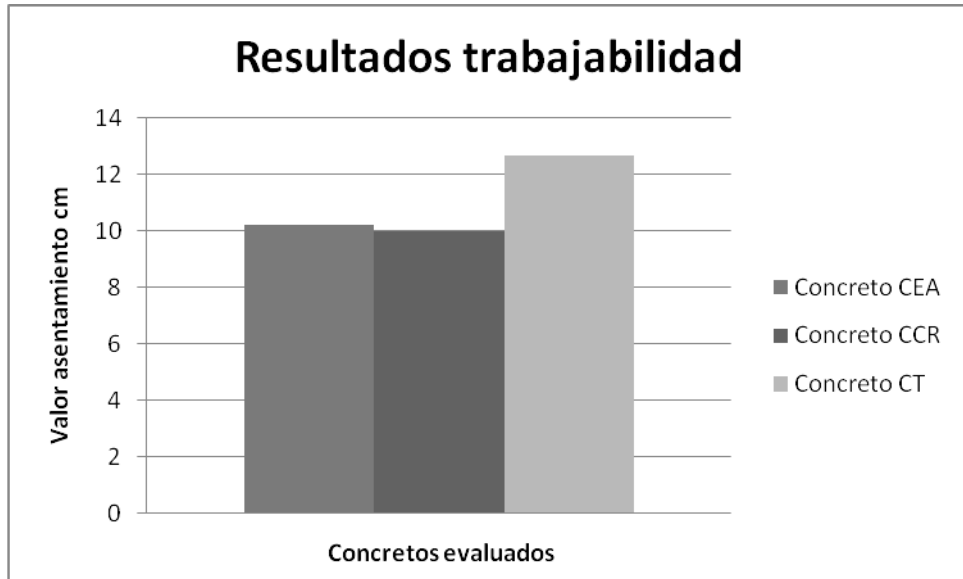
Fueron las pruebas y ensayos a las que fue sometido el concreto ni bien se habían mezclado los elementos para elaborarlo.

**Tabla IX Resultados caracterización de los  
Concretos evaluados en estado fresco  
(Apéndice 1)**

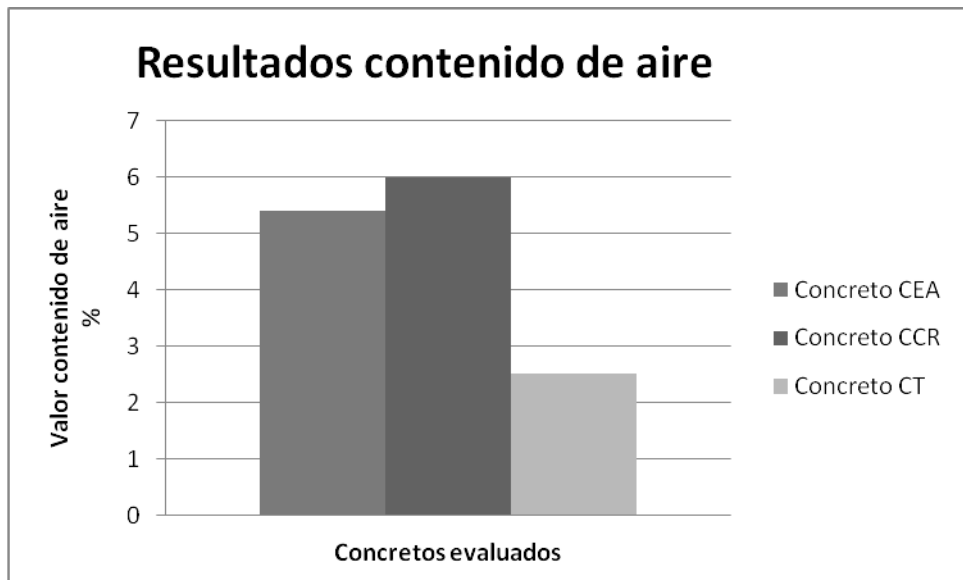
<b>Caracterización concretos, estado fresco</b>			
<b>Características</b>	<b>Tipo de concreto</b>		
	<b>CEA</b>	<b>CCR</b>	<b>CT</b>
<b>Temperatura concreto °C</b>	<b>21.7</b>	<b>25.1</b>	<b>25.0</b>
<b>Temperatura ambiente °C</b>	<b>23.0</b>	<b>24.3</b>	<b>24.3</b>
<b>Asentamiento cm (pul)</b>	<b>10.2 (4")</b>	<b>10.2 (4")</b>	<b>12.7 (5")</b>
<b>Contenido de aire %</b>	<b>5.4</b>	<b>6.0</b>	<b>2.5</b>
<b>Masa unitaria kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2507.1</b>	<b>2129.0</b>	<b>2233.2</b>
<b>Velocidad de endurecimiento</b>	<b>Inicial 344 minutos</b>	<b>Inicial 257 minutos</b>	<b>Inicial 346 minutos</b>
	<b>Final + de 8 horas</b>	<b>Final + de 8 horas</b>	<b>Final + de 8 horas</b>



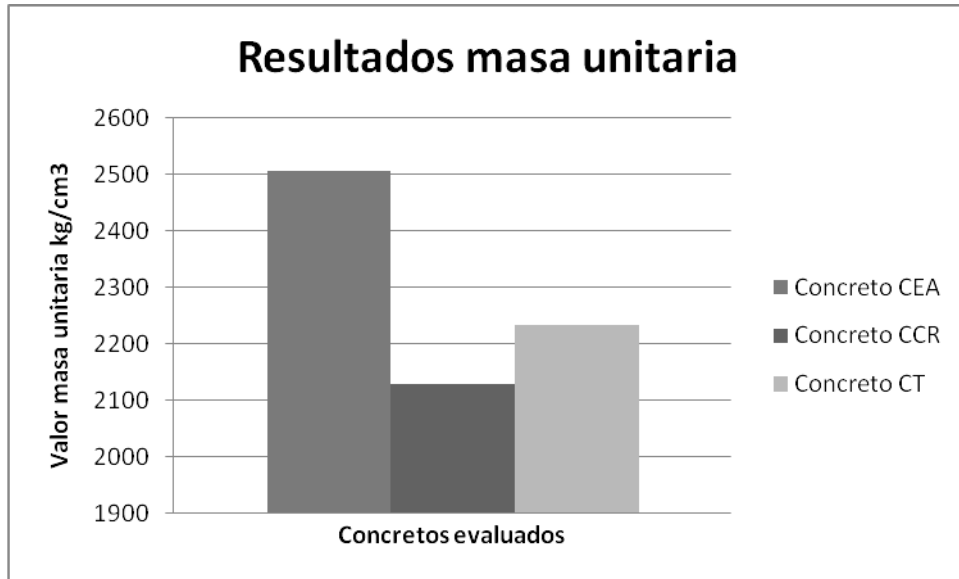
**Figura 16 Resultados trabajabilidad de los concretos evaluados (Apéndice 1)**



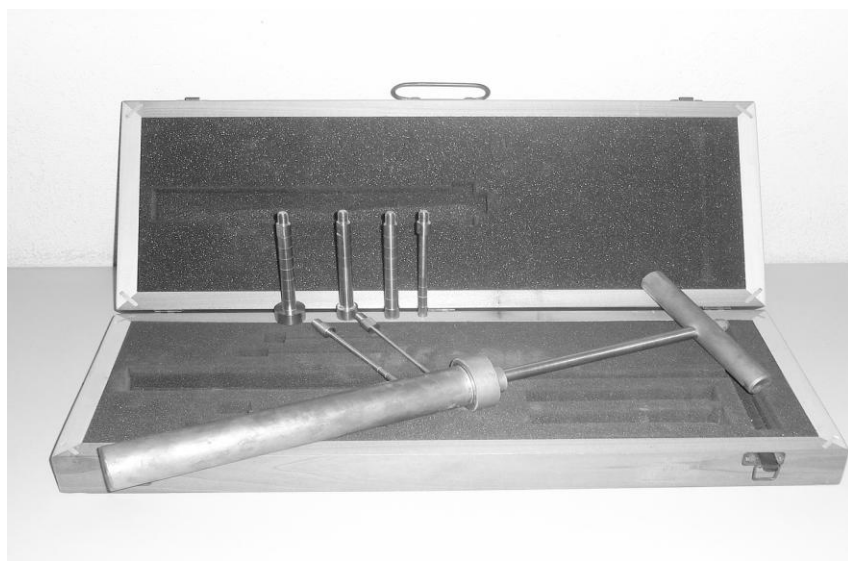
**Figura 17 Resultados contenido de aire de los concretos evaluados (Apéndice 1)**



**Figura 18 Resultados masa unitaria de los concretos evaluados (Apéndice 1)**



**Figura 19 Equipo para el cálculo de tiempo de fraguado del concreto (ASTM C-403, Ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto)**



### 3.4.2.2. Estado endurecido

Fueron las pruebas y ensayos que se le hicieron al concreto conforme este iba fraguando a las edades requeridas para el presente estudio.

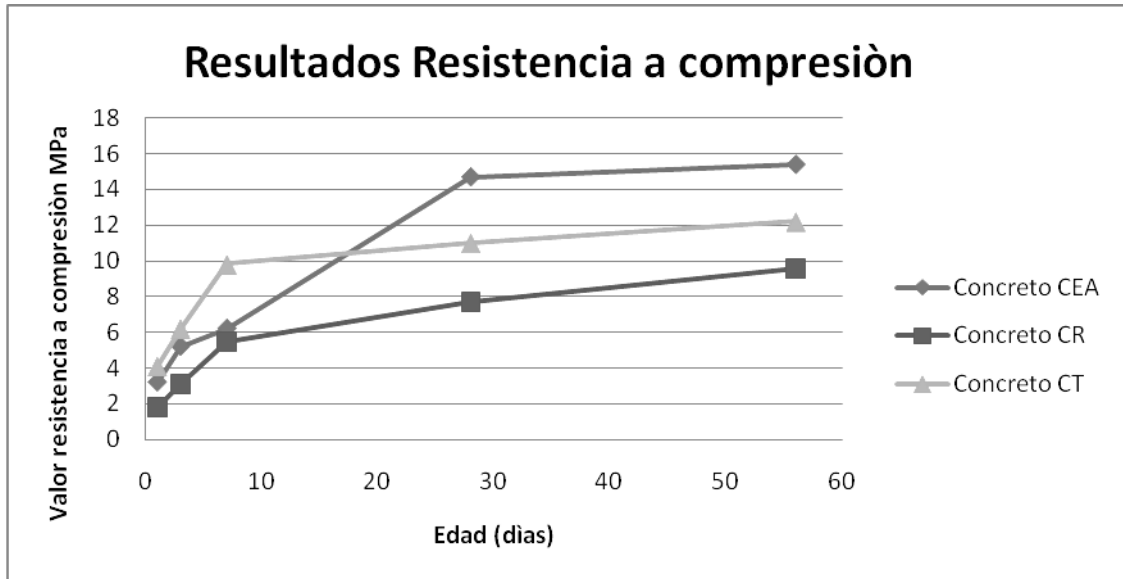
#### 3.4.2.2.1. Resistencia a compresión

\*Los resultados del ensayo a compresión del concreto se llevaron a cabo en base al promedio de tres cilindros sometidos a carga por cada edad. Los resultados del promedio fueron los siguientes

**Tabla X Resultados resistencia a compresión  
(Apéndice 1)**

<b>Resistencia a compresión MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Tipo de concreto</b>		
	<b>CEA</b>	<b>CCR</b>	<b>CT</b>
<b>1</b>	<b>3.2 (33.03)</b>	<b>1.8 (18.19)</b>	<b>4.1 (42.30)</b>
<b>3</b>	<b>5.2 (52.61)</b>	<b>3.1 (32.12)</b>	<b>6.2 (62.77)</b>
<b>7</b>	<b>6.2 (62.72)</b>	<b>5.5 (56.32)</b>	<b>10.1 (99.59)</b>
<b>28</b>	<b>14.7 (150.20)</b>	<b>7.7 (78.06)</b>	<b>11.0 (111.40)</b>
<b>56</b>	<b>15.4 (156.54)</b>	<b>9.6 (98.12)</b>	<b>12.2 (124.22)</b>

**Figura 20 Resultados resistencia a compresión de los concretos evaluados (Apéndice 1)**



**Figura 21 Máquina universal del Centro de Investigaciones e Ingeniería de la Universidad de San Carlos (Ensayo de adherencia)**



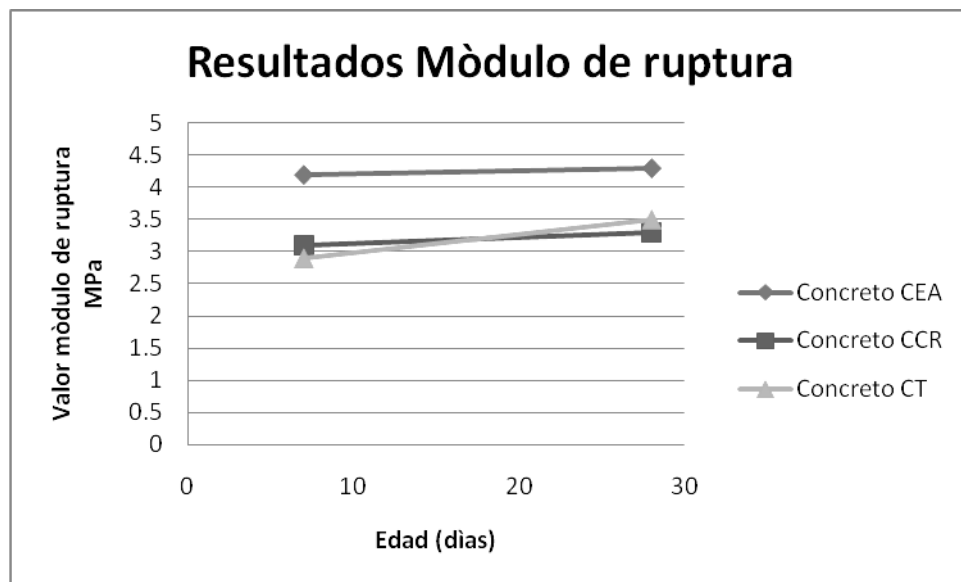
### 3.4.2.3. Resistencia a flexión

Se llevó a cabo con la ayuda de una viga con dimensiones (0.535\*0.15\*0.15 metros), con el fin de ver cuánto era la carga que podía soportar sometiéndola a flexión.

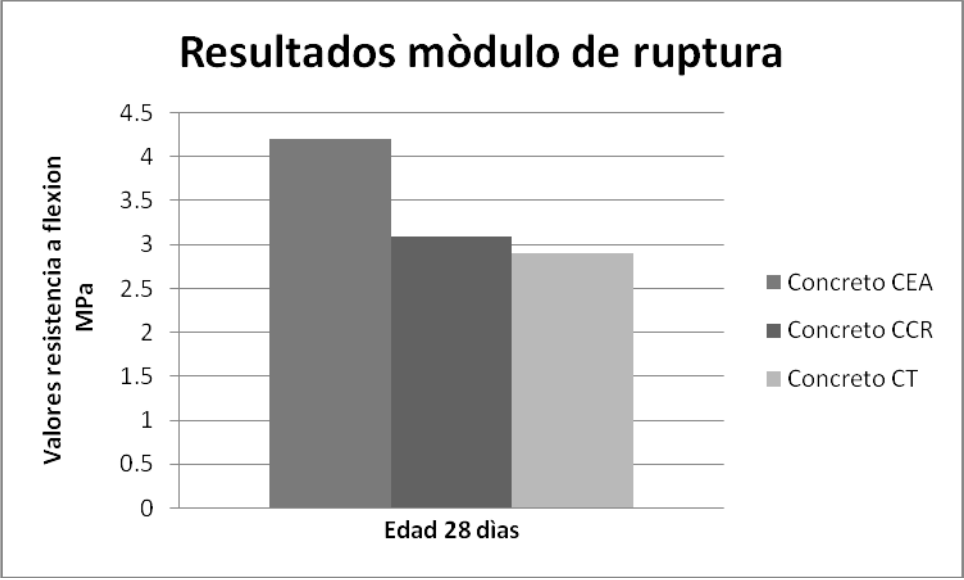
**Tabla XI Resultados resistencia a flexión  
(Apéndice 1)**

Módulo de ruptura MPa (kg/cm <sup>2</sup> )			
Edad (días)	Tipo de concreto		
	CEA	CCR	CT
28	4.2 (43.3)	3.1 (31.9)	2.9 (29.6)
56	4.3 (43.8)	3.3 (33.2)	3.5 (35.9)

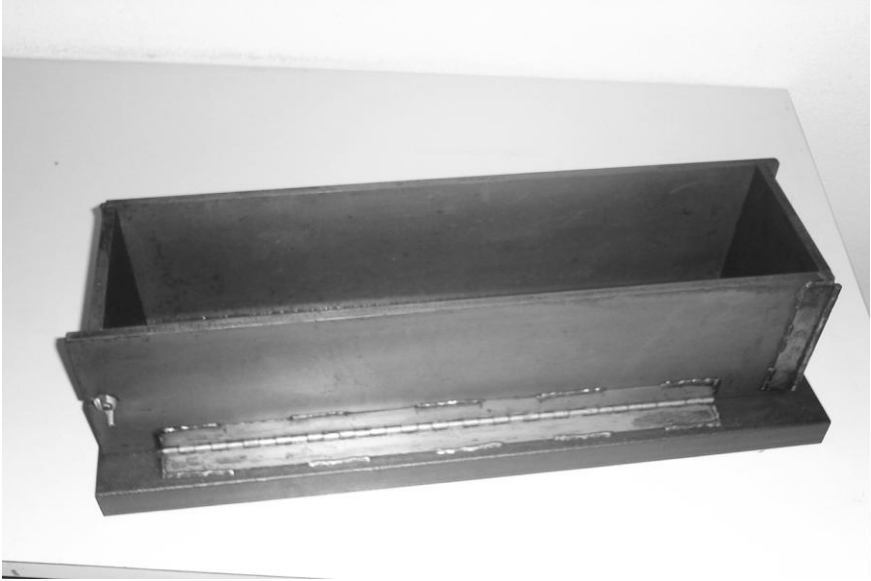
**Figura 22 Resultados resistencia a flexión de concretos evaluados  
(Apéndice 1)**



**Figura 23 Resultados de resistencia a flexión a los 28 días, concretos evaluados (Apéndice 1)**



**Figura 24 Molde normalizado, ensayo a flexión (Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala)**



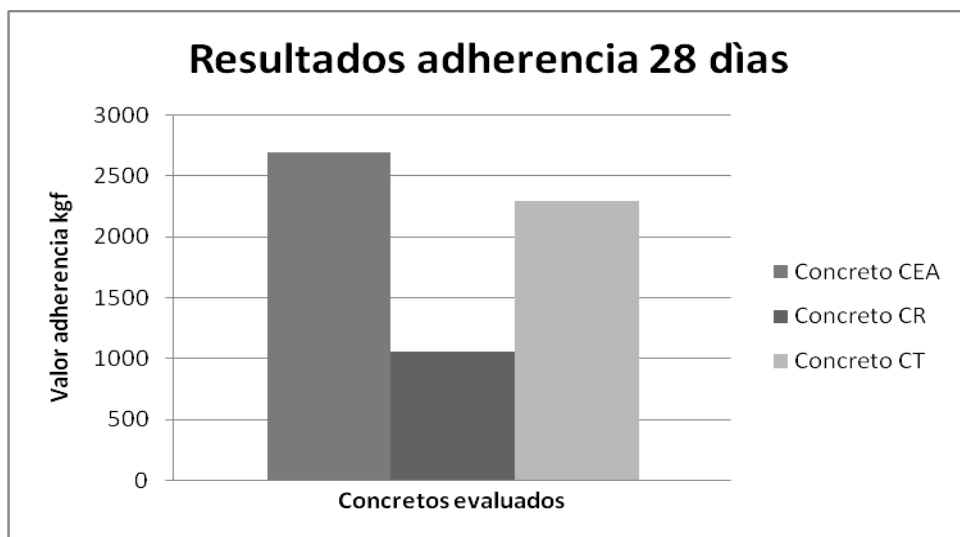
### 3.4.3. Adherencia

La prueba de adherencia se llevó a cabo con cilindros normalizados, a los cuales se les insertó una varilla de 3/8", mientras se vertió la mezcla de concreto en el molde de PVC, según normas estandarizadas (Fuente (2)). Luego la varilla es sometida a tensión con ayuda de la Máquina Universal del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

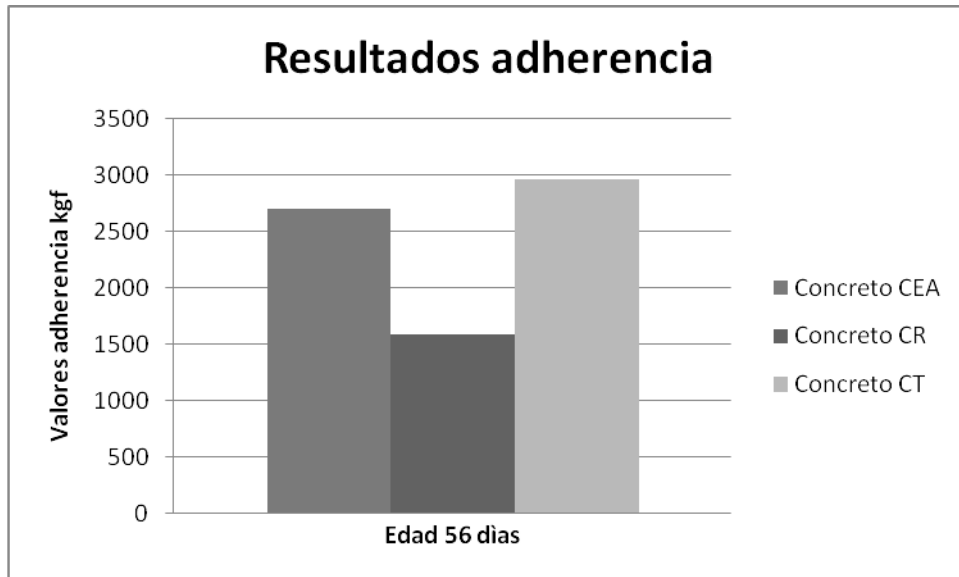
**Tabla XII Resultados adherencia  
(Apéndice 1)**

<b>Adherencia concreto-varilla de acero kgf</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Tipo de concreto</b>		
	<b>CEA</b>	<b>CCR</b>	<b>CT</b>
<b>28</b>	<b>1600.0</b>	<b>1060.0</b>	<b>2300.0</b>
<b>56</b>	<b>2700.0</b>	<b>1585.0</b>	<b>2960.0</b>

**Figura 25 Resultados adherencia 28 días, de los concretos evaluados  
(Apéndice 1)**



**Figura 26 Resultados adherencia 56 días, de los concretos ensayados (Apéndice 1)**





## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Cemento

El cemento utilizado cumple con las especificaciones de normas aplicables a nivel internacional (ISO 9001), por ende se consideró adecuado para el presente estudio.

### 4.2. Agregados

Fueron los materiales pétreos utilizados para formar parte de la mezcla de concreto.

### 4.3. Agregado fino(Apéndice 1)

Se utilizó el mismo para los tres concretos evaluados (arena de río), fue caracterizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, logrando que se considerara adecuado para los propósitos del estudio.

#### 4.3.1. Agregados gruesos (Apéndice 1, Apéndice 3)

##### 4.3.1.1. Forma (Apéndice 3)

De acuerdo a su origen cada uno tiene una forma definida, siendo diferente entre los tres agregados evaluados, redondeada **ACR**, angulosa **AT** y cúbica para el **AEA**, esta característica influyó en su comportamiento en estado fresco y endurecido (trabajabilidad de la mezcla de concreto y su resistencia mecánica). A medida que la forma del agregado iba siendo menos redondeada, era menor la cantidad de partículas que se acomodaban dentro del volumen determinado, en consecuencia estos espacios se

iban llenando con pasta de cemento, lo cual refleja un aumento tanto en los costos del concreto como en el riesgo la aparición de grietas.

#### 4.3.1.2. Textura (Apéndice 3)

La textura superficial de los agregados de origen pétreo (**ACR, AT**) estaría proporcionalmente relacionado a su dureza, tamaño de grano y porosidad de la roca de origen, influyó más en el comportamiento a flexión que en el de compresión, debido a que mayor rugosidad, mayor superficie de contacto con la pasta de cemento y por consecuencia mayor adherencia, la textura superficial de la escoria **AEA** estaría proporcionalmente relacionada a su velocidad de endurecimiento y al tipo de tratamiento que ha sufrido al enfriarse.

#### 4.3.1.3. Composición mineralógica (Apéndice 3)

De acuerdo a la caracterización mineralógica obtenida, los agregados pétreos son tipo grava y adecuados para su uso como agregados para concreto.

#### 4.3.1.4. Composición química (Apéndice 2)

En el caso de los agregados pétreos (**ACR, AT**), contenían impurezas orgánicas (arcillas, finos, sulfatos azufre, cloruros y sulfuros) y para la escoria de acería **AEA**, podía ser afectada por impurezas tales como la cal libre (CaO) y la periclusa (MgO). Esta reacción podría provocar expansión y fisuras en el concreto ya que los agregados son potencialmente dañinos si contienen compuestos que reaccionen químicamente con el concreto, produciéndose:

- Cambios significativos en el volumen de la pasta, del agregado o de ambos.
- Interferencia en la hidratación normal del cemento.
- Otros productos secundarios dañinos.

#### 4.3.1.5. Peso específico (Apéndice 1)

De acuerdo con los resultados obtenidos, el **AEA** tiene un valor mucho más alto ( $3.4 \text{ g/cm}^3$ ) pudiéndose clasificar como agregado pesado. El **AT** y el **ACR** ( $2.6 \text{ g/cm}^3$  y  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente) pueden ser clasificados como agregados normales ya que no difieren por mucho en su peso específico, el cual no es muy elevado.

El peso específico depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, esta característica podría afectar la densidad del concreto, por ende hay que considerar el uso que se le dará a este concreto.

#### 4.3.1.6. Peso unitario (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, los **AEA** y **AT** tienen valores similares ( $1448.5$  y  $1436.5 \text{ g/cm}^3$ ), mientras que el **ACR** ( $1393.7 \text{ g/cm}^3$ ). Tal incidencia pudo haber dependido por el tamaño, granulometría, forma y textura del agregado, indicando de manera general su calidad y aptitud para ser usado en futuras mezclas de concreto.

#### 4.3.1.7. Porcentaje de vacíos (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **AEA** tiene un valor mayor (55.2 %), mientras que el **ACR** y el **AT** tiene resultados similares (43.8 y 43.3 %). Estos resultados fueron muy útiles para saber se trabaja con concretos muy porosos, en consecuencia podría darse un concreto menos durable, ya que tendría un alto porcentaje de vacíos.

#### 4.3.1.8. Porcentaje de absorción (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **AEA** tiene el valor mayor (2.87 %), lo sigue el **ACR** (2.31 %), y por último está el **AT** (0.64 %). Se sabe que la porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua u otro líquido dentro de los agregados y se verá afectada por el tamaño de los poros, la continuidad (permeabilidad) y el volumen total de los agregados. Por ende hay que considerar que el % de absorción puede influir en la relación a/c y trabajabilidad del concreto.

#### 4.3.1.9. Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200 (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **AT** tiene el valor mayor (2.65 %), superior al del **ACR** (0.63 %) y el **AEA** (0.43 %). Altos valores de material fino pueden afectar el concreto haciendo mayor la relación a/c, por ende la cantidad de cemento puede variar el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco como endurecido.

#### 4.3.1.10. Granulometría (Apéndice 1)

La granulometría determinó la cohesión y trabajabilidad en el estado fresco, ya que es imprescindible para dosificar las mezclas de concreto. Los resultados obtenidos muestran una granulometría adecuada de los tres agregados analizados en este documento.

#### 4.3.1.11. Desgaste máquina de los ángeles (%) (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **AEA** tiene mejor comportamiento ante el desgaste con un valor de 25.76 %, menor que los del **AT** y **ACR** (28.68, 31.86 %) respectivamente. Es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad como agregado, y su capacidad para formar concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se

le considera un buen indicio de su aptitud para soportar, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

#### 4.3.1.12. Reacción Álcali-sílice (Apéndice 2)

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tres agregados evaluados dieron inocuo (no muestran señales de reactividad potencial), por lo que se puede asegurar que no tendrán ninguna reacción en contra de los demás elementos que forman parte de la mezcla de concreto. (Haciendo innecesario un ensayo de petrografía de los mismos).

### 4.4. Concretos

Lo que se buscaba era una trabajabilidad similar en las tres mezclas de concreto, haciendo variar el agregado grueso y la cantidad de agua.

#### 4.4.1. Diseño y elaboración (Apéndice 1)

Los concretos elaborados tuvieron la misma proporción en masa y rango de trabajabilidad, su mezclado fue manual y en las mismas condiciones. El comportamiento del concreto se vio afectado por su propia naturaleza, edad, condiciones de humedad y temperatura en las que se llevo a cabo la mezcla.

#### 4.4.2. Concreto estado fresco

Se le llamó así a la mezcla de concreto ni bien se vertió el último elemento que la conformaba.

#### 4.4.2.1. Temperatura mezcla (Apéndice 1)

De acuerdo con los resultados obtenidos el **CEA** presentó el gradiente de temperatura mayor (ambiente vrs. mezcla). Los concretos con temperaturas altas requieren mayor cantidad de agua de mezclado para determinado asentamiento, la temperatura dependió del aporte calorífico de cada uno de sus componentes.

#### 4.4.2.2. Asentamiento (Apéndice 1)

Los resultados obtenidos estuvieron dentro del rango fijado para el estudio, 10-12 cm (4-5”), por lo que se consideran que los valores son adecuados.

#### 4.4.2.3. Contenido de aire (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **CCR** tiene el valor más alto (6.0 %), casi el doble del **CT** (2.5%) y ligeramente superior al **CEA** (5.4%). Sabiendo que todos cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C-231(Contenido de aire en mezcla de concreto fresco). El aire puede ser liberado por medio de una adecuada compactación, pero se deberá tener en cuenta que un alto contenido de aire reducirá la resistencia del concreto.

#### 4.4.2.4. Masa unitaria (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **CEA** tiene el valor más alto (2507.1 kg/m<sup>3</sup>), seguido por **CT** (2233.2kg/m<sup>3</sup>) y **CCR** (2129.0kg/m<sup>3</sup>) con diferencias de (274 y 378 kg/m<sup>3</sup>) respectivamente. Este valor se vio influenciado por la granulometría y proporciones dentro de la mezcla y en menor escala por la relación a/c.

#### 4.4.2.5. Velocidad de endurecimiento (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **CCR** tiene los tiempos de fraguado menores (257 minutos inicial), menores que los obtenidos en los otros concretos **CEA** (344 minutos inicial) y **CT** (346 minutos inicial), para estos el fraguado final fue mayor de 08 horas, por lo que no fue evaluado. Este parámetro tiene mucha importancia para el manejo del concreto después de la fundición, el **CCR** es un acelerante, con tiempos sensiblemente menores.

#### 4.4.3. Estado endurecido

Es cuando el concreto ha dejado de fraguar, pero no implica que haya llegado a su resistencia última.

##### 4.4.3.1. Resistencia a compresión (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, a las edades tempranas 1, 3, y 7 días los valores mayores los obtuvo el **CT** (4.1, 6.2 y 10.1 MPa), mientras que los concretos **CEA** (3.2, 5.2 y 6.2 MPa) y **CCR** (1.8, 3.1 y 5.5 MPa). El **CEA** tiene los resultados más altos a 28 y 56 días (14.7, 15.4 MPa) contra el **CT** (11.0 y 12.2 MPa) y el **CCR** (7.7 y 9.6 MPa), esto significa que existe un aporte por parte de la escoria de acería dado su origen, forma y composición química la resistencia a compresión del concreto dependerá de las propiedades y proporciones de los materiales, así como los procesos de mezclado y manejo utilizados.

##### 4.4.3.2. Resistencia a flexión (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, a las edades de 7 y 28 días el **CEA** tiene los valores más altos (4.2 y 4.3 MPa), los otros concretos están parejos con una ligera ventaja del **CT** (2.9 y 3.5 MPa) contra el **CCR** (3.1 y 3.3 MPa). Se pudo comprobar que

la forma, textura y composición de cada tipo de agregado influye en los resultados, haciendo que la resistencia a flexión varíe, uno respecto a otro.

#### 4.4.3.3. Adherencia (Apéndice 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el **CT** tiene los valores más altos (2300.0 y 2960.0 kg<sub>f</sub>), en las dos edades ensayadas, seguido del **CEA** (1600.0 y 2700.0 kg<sub>f</sub>) y el **CCR** (1060.0 y 1585.0 kg<sub>f</sub>). Se observó que cada agregado tiene diferente modo de entrelazarse a la lechada de cemento.



## CONCLUSIONES

1. Los tres agregados evaluados pueden utilizarse en mezclas de concreto, limitando el uso del agregado de escoria de acería a ciertas aplicaciones, dadas sus características de densidad, baja absorción y alta porosidad además de una relativa resistencia al desgaste.
2. La resistencia a la compresión de los concretos evaluados varió en función del cemento, agregados y manejo utilizados.
3. La composición mineralógica de los agregados pétreos no presenta problemas con respecto a sus posibles reacciones con el cemento del concreto. Los tres tipos de agregados son inocuos respecto a la reactividad potencial álcali-sílice de acuerdo a la prueba química.
4. Las características físicas y mecánicas de los agregados evaluados dependen principalmente de la composición mineralógica, química y su origen.
5. Las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto dependen de las características de la pasta de cemento, características del agregado y de la ligazón entre ellos (función de la forma y rugosidad del agregado).

6. Los principales problemas de la escoria de acería para su uso como agregado en mezclas de concretos, son el grado de envejecimiento, inestabilidad volumétrica debido a su contenido de cal libre y periclasa, compuestos de hierro. Dentro de

Los procesos de transformación de la escoria su granulometría, forma y textura deben controlarse en planta.

7. Los resultados parecen evidenciar que la actividad puzolanica y forma de la escoria influyen en su comportamiento como agregado, los valores de resistencia a compresión del concreto de escoria de acería a las edades de 28 y 56 días fueron los más altos.
8. La forma y composición de los agregados de trituración y canto rodado influyen en el desarrollo de la resistencia a compresión a edades tempranas para 1, 3 y 7 días de edad, el concreto de trituración tiene los valores más altos de resistencia a compresión.
9. El concreto de escoria de acería tiene mayor masa unitaria, debido a la densidad de la escoria, esto genera cargas muertas mayores y por lo tanto requiere mayor sección en el diseño.
10. La forma y composición de los agregados influyen en el desarrollo de la adherencia alcanzada. El concreto de trituración tiene los valores más altos de adherencia en las dos edades.

11. El uso del agregado de canto rodado acelera los tiempos de fraguado del concreto elaborado con este agregado grueso, esto es un inconveniente para su manejo y colocación, por lo que debe de tomarse en cuenta.
  
12. El agregado de escoria de acería tiene el resultado más bajo en el ensayo de desgaste efectuado en la máquina de los ángeles.



## RECOMENDACIONES

1. La tendencia a nivel mundial es el aumento en el uso de hornos de arco eléctrico, por lo tanto se sugiere la reutilización de las escorias generadas en estos procesos de manera que sean aprovechadas.
2. Evaluar o conocer la composición mineralógica de los agregados pétreos utilizados en mezclas de concreto, a efecto de considerar sus posibles reacciones con los otros materiales.
3. Realizar estudios de investigación para evaluar el aspecto de la durabilidad del concreto, para los tres tipos de agregados.
4. Realizar estudios de investigación para evaluar el posible impacto ambiental producto de la lixiviación de los agregados.
5. Realizar estudios de investigación en los que se utilice la escoria como agregado fino y grueso en mezclas de concreto.
6. Determinar la forma de los agregados evaluando su índice de esfericidad y factor de redondez, a efecto de incluir estos parámetros en el diseño de mezclas de concreto.

7. Facilitar a la escoria un proceso de envejecimiento adecuado, manteniéndola en esta condición por lo menos un período de dos meses antes de su uso en mezclas de concreto, en caso contrario evaluar la presencia de cal libre y de periclase por medio de los ensayos normalizados.
  
8. Las condiciones ambientales de cada proyecto determinan el comportamiento del concreto y sus componentes, de ahí la importancia de caracterizar los agregados utilizados. Es de vital importancia conocer las características de absorción y contenido de humedad de los agregados a utilizar en mezclas de concreto.
  
9. Dado que las reacciones químicas agregados-cementos se generan a plazos largos es conveniente realizar los ensayos que permitan conocer la posibilidad de estas reacciones con anterioridad al uso.
  
10. Limitar el uso de escoria de la escoria de acería en mezclas de concreto a ciertas aplicaciones, en los que su propio peso no sea un factor determinante.
  
11. Identificar los diferentes agregados de tipo pétreo, con base a estudios geológicos y petrográficos que permitan conocer su composición mineralógica.
  
12. Dar a conocer los resultados obtenidos dentro de los cursos profesionales de la carrera de Ingeniería Civil.

## REFERENCIAS

1. Ortiz Evelyn. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
2. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
3. ASTM *Book of Standards. Standard Specification for Concrete Aggregates.* USA: Vol. 04.02 2002.
4. COGUANOR. **Normas relacionadas con la industria de la construcción.**
5. Amaral de Lima, Luciana. **Hormigones con escorias de hornos eléctricos como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental.** Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Noviembre de 1999. España.
6. **Presentación seminario escoria de acería.** SIDEGUA, MULTISERV. Guatemala 2005.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Ortiz Evelyn. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
2. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
3. ASTM *Book of Standards. Standard Specification for Concrete Aggregates.* USA: Vol. 04.02 2002.
4. COGUANOR. **Normas relacionadas con la industria de la construcción.**
5. Amaral de Lima, Luciana. **Hormigones con escorias de hornos eléctricos como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental.** Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Noviembre de 1999. España.
6. **Presentación seminario escoria de acería.** SIDEGUA, MULTISERV. Guatemala 2005.
7. **Aditivos y adiciones del concreto, normas y aplicaciones.** [www.imcyc.com/biblioteca/bibliodigital.html](http://www.imcyc.com/biblioteca/bibliodigital.html). julio, 2005.

8. Nilson Arthur H. **Diseño de estructuras de concreto.** Duodécima edición. Colombia: editorial McGraw Hill, 1995.
  
9. Instituto de Ingeniería, Comisión Federal de electricidad. **Manual de Tecnología del concreto.** Volumen 1. México. LIMUSA, Noriega, editores, 1994.
  
10. Vargas Quíroa, Mario Fidel. Agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.

## **APÉNDICES**

- 1. Informe de laboratorio Sección de concretos y agregados**
- 2. Informe de laboratorio Sección de Química industrial**
- 3. Informe de laboratorio Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas**





Orden de Trabajo No. 22087

Informe No. 14/2007 S.AM

**Interesado:** Ricardo Enrique Soto Solares  
**Proyecto:** Trabajo de graduación "Evaluación de mezclas de concreto, elaboradas con tres tipos de agregados"  
**Asunto:** Caracterización de mezclas de concreto.  
**Fecha:** 26 de Noviembre de 2007

1. **Generalidades:** el interesado proporcionó los materiales necesarios, siendo estos los siguientes:

- 3 sacos de Cemento Portland UGC 4000, de 42.5 kg.
- 5 bolsas de arena de río.
- 4 bolsas de pedrín de canto rodado.
- 4 bolsas de pedrín triturado.
- 2 bolsas de escoria de acerería de altos hornos.

2. **Resultados:**

ENSAYO	MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA DE ALTOS HORNO	MEZCLA DE CONCRETO CON PIEDRIN DE CANTO RODADO	MEZCLA DE CONCRETO CON PIEDRIN TRITURADO			
	PROPORCION 1:2:3	PROPORCION 1:2:3	PROPORCION 1:2:3			
Asentamiento (plg) ASTM C-143	4.00	3.50	5.00			
Contenido de Aire (%) ASTM C-231	5.40	6.00	2.50			
Temperatura del concreto (°F)	71.00	77.00	77.00			
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C-29	2505.00	2128.98	2233.17			
Tiempo de Fraguado (min) ASTM C-403	Inicial	344.00	Inicial	257.00	Inicial	346.00
	Final	más de 8 hrs.	Final	más de 8 hrs.	Final	más de 8 hrs.





Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) (PSI) (Mpa) ASTM C-39	1 días	33.03	469.79	3.24	18.19	258.78	1.78	42.30	601.64	4.15
	3 días	52.61	748.28	5.16	32.12	456.85	3.15	62.77	892.81	6.16
	7 días	62.72	892.08	6.15	56.32	801.02	5.52	99.59	1416.46	9.77
	28 días	150.20	2136.39	14.73	78.96	1123.12	7.74	111.40	1584.55	10.92
	56 días	156.54	2226.55	15.35	98.12	1395.59	9.62	124.22	1766.88	12.18

ENSAYO		MEZCLA DE CONCRETO CON ESCORIA DE ALTOS HORNOS	MEZCLA DE CONCRETO CON PIEDRIN DE CANTO RODADO	MEZCLA DE CONCRETO CON PIEDRIN TRITURADO
Adherencia concreto-acero de refuerzo (kg) (ASTM C-234, ACI-315)	28 días	1600.00	1060.00	2300.00
	56 días	2700.00	1585.00	2960.00

		CARGA (kg)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión en viga ASTM C-293	28 días	1600.00	43.30	1060.00	31.90	2300.00	29.60
	56 días	2700.00	43.80	1585.00	33.20	2960.00	35.90

Atentamente,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Aglomerantes y Morteros

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez  
Director CINUSAC









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

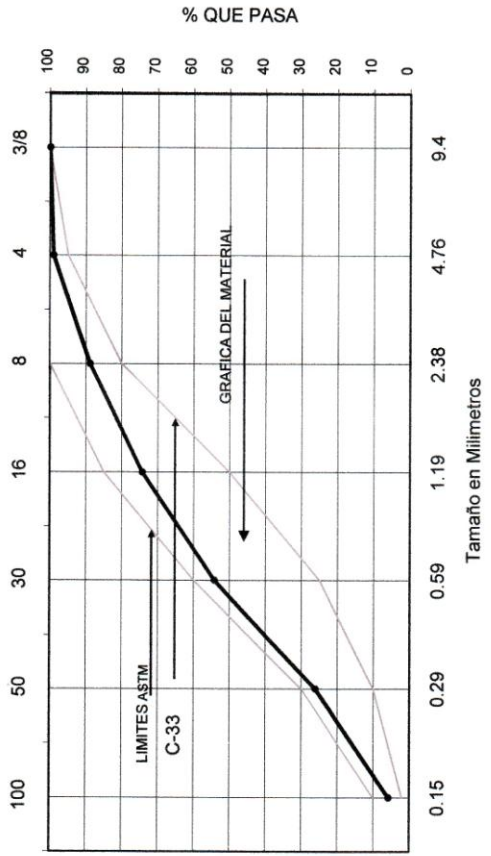


**AGREGADO FINO PARA CONCRETO**

<b>INTERESADO:</b> Ricardo Enrique Soto Solares	<b>INFORME No.</b> 14/2007	<b>PROYECTO:</b> Trabajo de Graduación: "Evaluación de mezclas de concreto, elaboradas con tres tipos de agregados"
<b>Muestra:</b> Arena	<b>Fecha:</b> 26/11/2007	<b>O.T. No. Lab.</b> 22087 Aglomerantes

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	2.40
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1424.67
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1370.03
Porcentaje de Vacios	40.62
Porcentaje de Absorción	2.10
Porcentaje de Humedad	10.60
Contenido de Materia Organica	1
% que pasa Tamiz 200	3.28
Modulo de Finura	2.52
% Retenido en Tamiz 6.35	
% Desgaste por Sulfato de Sodio	





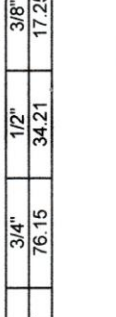

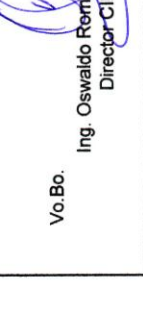
Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	100.00	99.06	88.91	74.29	54.27	26.13	5.79

**OBSERVACIONES:**  
a) Muestra proporcionada por el interesado.  
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.

DIRECCION DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez  
 DIRECTOR CHAUSAC

Ing. Dilma Yanet Mejicanos-Jol  
 Jefa Sección de Aglomerantes y Morteros



	<b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>																			
<b>AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</b>	<b>INFORME No.</b> 14/2007 <b>PROYECTO:</b> Trabajo de Graduación "Evaluación de mezclas de concreto, elaboradas con tres tipos de agregados" <b>Muestra:</b> ESCORIA DE ALTOS HORNOS      Fecha: 26/11/2007      O.T. No. 22087      Lab. Aglomerantes																			
<b>INTERESADO:</b> Ricardo Enrique Soto Solares	<b>Características Físicas:</b> <table border="1" data-bbox="487 630 974 945"> <tr><td>Peso Especifico</td><td>3.38</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>1514.00</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>1448.50</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td>55.15</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td>2.87</td></tr> <tr><td>% Tamiz 200</td><td>0.43</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Abrasión</td><td></td></tr> <tr><td>% Partículas Planas y alargadas</td><td></td></tr> <tr><td>% Partículas Livianas</td><td></td></tr> </table>		Peso Especifico	3.38	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1514.00	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1448.50	Porcentaje de Vacios	55.15	Porcentaje de Absorción	2.87	% Tamiz 200	0.43	% Desgaste por Abrasión		% Partículas Planas y alargadas		% Partículas Livianas	
Peso Especifico	3.38																			
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1514.00																			
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1448.50																			
Porcentaje de Vacios	55.15																			
Porcentaje de Absorción	2.87																			
% Tamiz 200	0.43																			
% Desgaste por Abrasión																				
% Partículas Planas y alargadas																				
% Partículas Livianas																				
<b>GRAFICA DEL MATERIAL</b>																				
<b>OBSERVACIONES:</b> *Muestra proporcionada por el interesado.	<table border="1" data-bbox="1055 630 1104 1365"> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>1 1/2"</th> <th>1"</th> <th>3/4"</th> <th>1/2"</th> <th>3/8"</th> <th>No.4</th> <th>No.8</th> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>91.87</td> <td>76.15</td> <td>34.21</td> <td>17.25</td> <td>2.55</td> <td>0.00</td> </tr> </table>		Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	% Que pasa	100.00	91.87	76.15	34.21	17.25	2.55	0.00		
Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8													
% Que pasa	100.00	91.87	76.15	34.21	17.25	2.55	0.00													
Vo.Bo.	 Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez Director CII/USAC																			
	 Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol Jefa Sección de Aglomerantes y Morteros																			





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

**AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**

**INTERESADO:** Ricardo Enrique Soto Solares

**INFORME No.** 14/2007

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Evaluación de mezclas de concreto, elaboradas con tres tipos de agregados"

**Muestra:** PIEDRIN DE CANTO RODADO

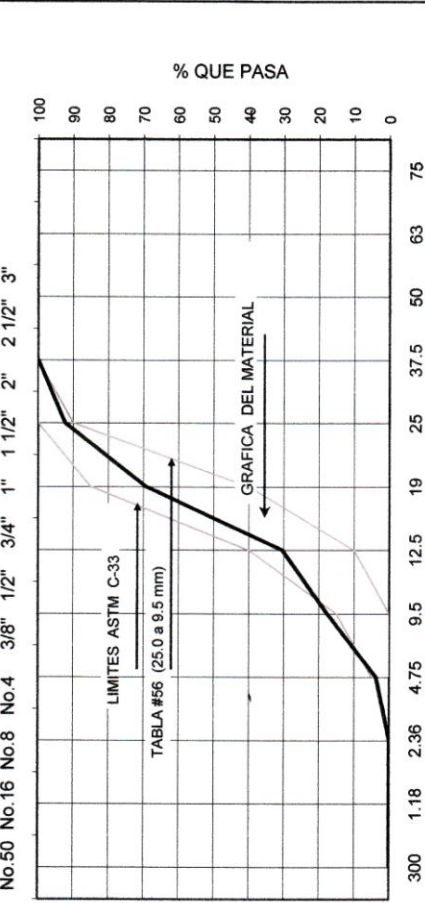
**Fecha:** 26/11/2007

**O.T. No.** 22087

**Lab.** Aglomerantes

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	2.60
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1463.47
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1393.66
Porcentaje de Vacios	43.81
Porcentaje de Absorción	2.31
% Tamiz 200	0.63
% Desgaste por Abrasión	
% Particulas Planas y alargadas	
% Particulas Livianas	



**OBSERVACIONES:**  
Muestra proporcionada por el Interesado

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100.00	92.39	69.38	30.48	17.72	3.85	0.00

Vo.Bo.   
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez  
Director CI/USAC

Inga. Dilma Yainer Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Aglomerantes y Morteros











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



INFORME No. S.C. 745 O.T. No. 22459

INTERESADO: Ricardo Enrique Soto Solares

ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.

PROYECTO: Tesis "Evaluación de Mezclas de Concreto elaborada con 3 tipos de Agregados.

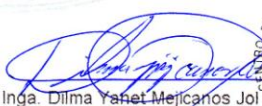
PROCEDENCIA: \_\_\_\_\_

FECHA: 15de Noviembre de 2 007

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	ASTM C-131	ASTM C-131	*****
2. Graduación	"A"	"B"	"A"	*****
3. % Desgaste	31,86	28,68	25,76	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.  
b) Muestra 1, Piedrin de Canto Rodado  
c) Muestra 2, Piedrin de Trituración  
d) Muestra 3, Escoria

ATENTAMENTE,

  
 Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.

  
 Ing. Oswaldo Bomed Escobar Alvarez  
 Director CII/USAC

M.M.

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>





O.T. No 22460.  
No. Informe Lab. 66-07

Interesado: Ricardo Enrique Soto Solares  
Muestra: 3 muestras de Piedrín  
Fecha: Guatemala, 28 de noviembre de 2007

Determinación de la reactividad potencial de tres muestras de Piedrín según norma ASTM C-289.

MUESTRA*	Sílice disuelto (mmol/L)	Reducción Alcalina (mmol/L)	RESULTADO
Piedrín de Canto Rodado	28.75+/- 2,30	305.69+/- 9,73	INOCUO
Piedrín de Trituración	23.12+/- 6.32	298.65+/- 6,39	INOCUO
Piedrín de Escoria	31.14+/-3.25	311.29+/-2.64	INOCUO

\* Muestra proporcionada por el interesado

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



Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez  
Director  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC





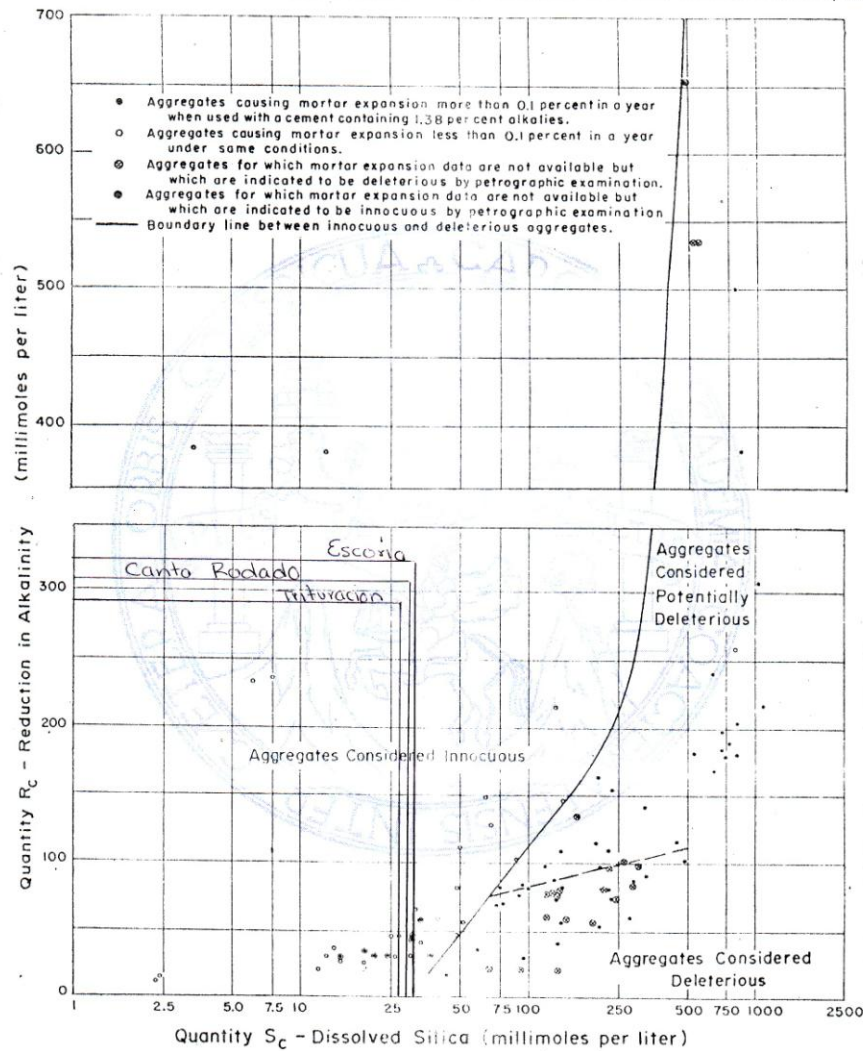


FIG. 2 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test



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, 5 de Marzo de 2008

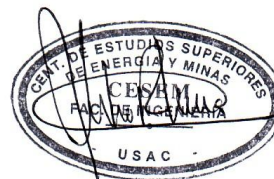
**Señor  
RICARDO ENRIQUE SOTO SOLARES  
Presente**

Por este medio me permito saludarle y desearle éxitos sus actividades.

Al mismo tiempo le presento los resultados de la caracterización macroscópica de las muestras enviadas por usted para su análisis.

<b>MUESTRA 1 UBICACIÓN:</b>	<b>LA PEDRERA, ZONA 6, CIUDAD DE GUATEMALA</b>
---------------------------------	--

Presentación:	Fragmentos de roca (tamaño grava)
Estructura:	Compacta
Color:	Gris, gris claro
Textura:	No clástica
Tipo:	Sedimentaria
Composición Mineralógica:	Calcita y Dolomita
Composición química probable:	Carbonato de Calcio y Magnesio.
Nombre:	CALIZA
Observaciones:	Reacciona con Acido Clorhídrico diluido.
Utilidad práctica:	Agregados para concreto, fabricación de cales y cementos.



**Escuelas:** Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Postgrado 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. **Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM),** Guatemala, Ciudad Universitaria zona 12. Guatemala, Centroamérica. PBX.: 24 43 95 00.





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



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



**Muestra 2**  
**UBICACIÓN: RIO LAS VACAS, CHINAUTLA, GUATEMALA**

Presentación: Fragmentos de roca (tamaño grava)  
Estructura: Compacta  
Color: Variable (Gris, Gris claro, Negro)  
Textura: No clástica  
Tipo: Ignea y Sedimentaria  
Composición Mineralógica: Variable (Carbonatos y Minerales de Origen Igneo)  
Composición química probable: No determinada.  
Nombre: GRAVAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS

Observaciones: El material es muy heterogéneo, contiene fragmentos de roca ígnea (Basaltos y Andesitas, principalmente) y fragmentos de roca Caliza (reacciona con Acido Clorhídrico diluido).

Utilidad práctica: Agregados para concreto.

Sin otro particular, me suscribo de usted

Atentamente,

*"ID Y ENSEÑAN A TODOS"*

**Ing. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE**  
**Profesor – Investigador**  
**CESEM**



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Postgrado 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. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria zona 12. Guatemala, Centroamérica. PBX.: 24 43 95 00.