



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

## **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**

**Ernesto Iván Marroquín Muñoz**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, agosto de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ERNESTO IVÁN MARROQUÍN MUÑOZ**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Julio Antonio Arreaga Solares
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2011.



**Ernesto Iván Marroquín Muñoz**



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



Guatemala, 5 de julio de 2012

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**, elaborado con el estudiante universitario Ernesto Iván Marroquín Muñoz, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Marroquín Muñoz, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol

Col. 5947

ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
30 de julio de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

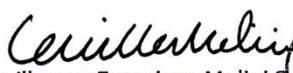
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Ernesto Iván Marroquín Muñoz, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Saigón  
Coordinador del Área de Materiales  
Construcciones Civiles

  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Ernesto Iván Marroquín Muñoz, titulado **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto de 2012.

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





ACTO QUE DEDICO A: DTG. 406.2011

Mis padres

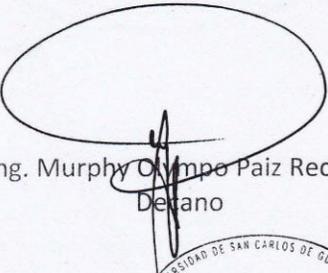
Ronulo Marroquin Fina y Marcela Muñoz

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: **RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**, presentado por el estudiante universitario **Ernesto Iván Marroquín Muñoz**, autoriza la impresión del mismo.

Belcky Juárez

Por ser la luz, esperanza y alegría

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 30 de agosto de 2012



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Rómulo Marroquín Fino y Marcela Muñoz García, por ser el ejemplo de lucha, gracias por el sacrificio y por el cariño brindado siempre.

### **Mi hermano**

Francisco Marroquín Muñoz, porque su contribución musical a la sociedad, me enseña que con amor, actitud y paciencia se logran los sueños.

### **Belcky Juárez**

Por ser la luz, esperanza y alegría en mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la fuerza y paciencia para lograr mis metas.
<b>Inga. Dilma Mejicanos Jol</b>	Por su asesoramiento y dedicación para la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Centro de Investigaciones de Ingeniería</b>	Especialmente a la sección de agregados, concretos y morteros por el apoyo brindado.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la fuente de conocimientos académicos que forjo mi aprendizaje y sabiduría.
<b>Centro Tecnológico de Cementos Progreso CETEC</b>	Especialmente a Estuardo Mansilla por su colaboración para este trabajo de graduación.
<b>Amigos</b>	Especialmente a los hermanos Velásquez

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Métodos de construcción .....	1
1.2. Fundamentos del concreto.....	2
1.3. Concreto recién mezclado .....	3
1.3.1. Mezclado.....	4
1.3.2. Trabajabilidad.....	4
1.3.3. Sangrado y asentamiento .....	5
1.3.4. Consolidación.....	5
1.3.5. Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento .....	5
1.4. Concreto endurecido.....	6
1.4.1. Curado .....	7
1.4.2. Velocidad de secado del concreto .....	8
1.4.3. Resistencia.....	8
1.4.4. Masa Unitaria .....	9
1.4.5. Permeabilidad y estanquidad .....	9
1.4.6. Resistencia a abrasión.....	9
1.4.7. Durabilidad .....	10
1.4.8. Sulfatos y cristalización de sales.....	10

2.	CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS .....	11
2.1.	Manejo y disposición de escombros .....	11
2.2.	Generalidades .....	13
2.3.	Definición .....	14
2.4.	Factibilidad técnica .....	16
2.5.	Factibilidad económica .....	16
2.6.	Tipos de desechos.....	17
2.6.1.	Demolición .....	17
2.6.2.	Desastres naturales .....	18
2.6.3.	Otros .....	19
2.7.	Impacto ambiental .....	19
3.	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA A RECICLAR .....	23
3.1.	Localización .....	23
3.2.	Descripción de la muestra .....	23
3.3.	Fabricación del agregado reciclado .....	24
3.4.	Equipo y maquinaria .....	24
3.5.	Método de trituración .....	25
4.	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO .....	29
4.1.	Toma de muestras.....	29
4.2.	Descripción de las Normas ASTM C-33 .....	29
4.3.	Determinación de la resistencia a disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio (estabilidad volumétrica) ASTM C-88.....	40
4.4.	Determinación de la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión en la e impacto en la máquina de los Ángeles ASTM C-131.....	42

4.5.	Resultados y análisis .....	44
4.5.1.	Norma ASTM C-33.....	44
4.5.2.	Ensayos mecánicos en agregado grueso según Norma ASTM C-131.....	53
4.5.3.	Resultados de los ensayos en agregados según Norma ASTM C-88, uso de sulfato de sodio .....	54
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	57
5.1.	Diseño teórico de concreto .....	57
5.1.1.	Concreto convencional.....	57
5.1.2.	Concreto reciclado .....	58
5.2.	Control de calidad al concreto fresco .....	58
5.2.1.	Mezclado de concreto .....	59
5.2.2.	Asentamiento .....	59
5.2.3.	Peso Unitario, ASTM C-138.....	60
5.2.4.	Contenido de aire, ASTM C-231 .....	61
5.2.5.	Temperatura, ASTM C-1064.....	62
5.2.6.	Especímenes para resistencia a compresión ASTM C-31 .....	63
5.3.	Resultados de los análisis de control de calidad a concreto fresco .....	64
5.4.	Velocidad de endurecimiento, ASTM C-403 .....	67
5.5.	Control de calidad al concreto endurecido .....	71
5.5.1.	Ensayo de cilindros de concreto a compresión .....	71
5.5.2.	Tipo de fracturas en los cilindros de concreto .....	71
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

ANEXOS..... 85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Residuos de concreto depositados en el relleno sanitario .....	12
2.	Cilindros de concreto ensayados para jardinizar .....	15
3.	Residuos de construcción .....	18
4.	Residuos de construcción por temblores .....	18
5.	Residuos de cilindros de concreto .....	19
6.	Residuos de concreto .....	20
7.	Cilindros de concreto ensayados para triturar.....	24
8.	Equipo utilizado para la trituración .....	25
9.	Reducción del tamaño del cilindro de concreto.....	26
10.	Triturando el residuo de los cilindros de concreto.....	26
11.	Tamizado de los residuos de concreto.....	27
12.	Tamaños de partículas de agregado reciclado .....	27
13.	Agregado fino natural.....	30
14.	Tamizado de la arena .....	32
15.	Contenido de materia orgánica .....	33
16.	Ensayo de granulometría de agregado grueso .....	35
17.	Ensayo de peso específico .....	38
18.	Masa unitaria del agregado grueso.....	39
19.	Estabilidad volumétrica de los agregados.....	41
20.	Máquina de abrasión.....	44
21.	Curva granulométrica de agregado fino.....	45
22.	Curva granulométrica de agregado grueso.....	49
23.	Curva granulométrica del agregado grueso reciclado.....	51

24.	Mezcladora de concreto utilizada .....	59
25.	Ensayo de asentamiento del concreto.....	60
26.	Ensayo de peso unitario del concreto.....	61
27.	Contenido de aire del concreto.....	62
28.	Temperatura del concreto.....	63
29.	Realización de cilindros para el ensayo a compresión .....	64
30.	Curado de cilindros con agua y cal.....	64
31.	Ensayo de velocidad de endurecimiento .....	68
32.	Velocidad de endurecimiento del concreto convencional .....	69
33.	Velocidad de endurecimiento del concreto reciclado.....	70
34.	Fractura tipo corte.....	72
35.	Fractura tipo columnar.....	72
36.	Ensayo de cilindros a compresión .....	73
37.	Resistencia a compresión de concreto convencional y concreto reciclado .....	76

## TABLAS

I.	Límites de granulometría según Norma ASTM C-33.....	31
II.	Clasificación de la arena por su módulo de finura .....	32
III.	Límites de sustancias nocivas en agregados finos.....	33
IV.	Graduación para el tipo de abrasión a realizar de agregado grueso, utilizando 5 000 gramos de muestra.....	43
V.	Granulometría del agregado fino.....	45
VI.	Características físicas de agregado fino .....	46
VII.	Granulometría del agregado grueso natural.....	48
VIII.	Características físicas del agregado grueso natural.....	49
IX.	Granulometría del agregado reciclado .....	51
X.	Características físicas del agregado reciclado .....	52

XI.	Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado fino .....	54
XII.	Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado grueso.....	55
XIII.	Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado grueso reciclado .....	55
XIV.	Datos de la mezcla.....	57
XV.	Datos de la mezcla de concreto reciclado.....	58
XVI.	Resultados de la mezcla de concreto convencional.....	65
XVII.	Resultados de la mezcla de concreto reciclado .....	66
XVIII.	Resultado del ensayo, velocidad de endurecimiento del concreto convencional .....	68
XIX.	Resultado del ensayo, velocidad de endurecimiento del concreto reciclado.....	69
XX.	Resultados del ensayo a compresión del concreto convencional ....	73
XXI.	Resultados del ensayo a compresión del concreto reciclado.....	74
XXII.	Tabla comparativa de las características física de los agregados ...	74
XXIII.	Tabla comparativa de las mezclas de concreto .....	75
XXIV.	Comparación de resistencia a compresión de concreto patrón y concreto reciclado .....	75



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>g</b>	Gramo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/cm</b>	Kilogramo por centímetro
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	Kilogramo por centímetro cúbico
<b>lb</b>	Libra
<b>l</b>	Litros
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minutos
<b>No.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pulg</b>	Pulgada
<b>pulg<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada
<b>f'c</b>	Resistencia última del concreto



## **GLOSARIO**

<b>Agregado</b>	Material inerte que unido con un aglomerante en una masa conglomerada, forma concreto o mortero. Estos se dividen, según su tamaño, en finos y gruesos, el límite es el tamiz de 4,75 milímetros de abertura.
<b>Abrasión</b>	Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.
<b>Aditivo</b>	El aditivo para hormigón, es un componente que modifica las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco.
<b>AMSA</b>	Siglas que corresponden a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán.
<b>Almadana</b>	Es una herramienta que consta de una cabeza metálica, puesta en el extremo de un mango de madera.
<b>ASTM</b>	Siglas que corresponden a la entidad American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana para Pruebas y materiales).

<b>CETEC</b>	Centro Tecnológico de Cementos Progreso.
<b>Banco de material</b>	Lugar a cielo abierto previamente estudiado y que está constituido por roca o material granular, utilizado en la construcción.
<b>Densidad</b>	Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.
<b>Disgregación</b>	Fenómeno consistente en la separación o desunión de los componentes de un material.
<b>Hidratación</b>	Es el proceso mediante el cual se agrega o adiciona líquido al concreto.
<b>Materia prima</b>	Es la materia extraída de la naturaleza.
<b>PCA</b>	Asociación del Cemento Portland.
<b>Permeabilidad</b>	Es la capacidad que tiene un material de permitir que un líquido lo atraviese sin alterar su estructura interna.
<b>Sílice</b>	Es un elemento constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena.

**Tamiz**

Malla de filamentos que se entrecruzan formando agujeros cuadrados del mismo tamaño.



## RESUMEN

Los escombros son residuos de la construcción que pueden ser reciclados y reutilizados en la elaboración de elementos prefabricados, morteros y concretos. En esta investigación, se presenta el desempeño del concreto elaborado con agregado proveniente de cilindros de hormigón, obtenidos en el Centro Tecnológico de Cementos Progreso. Los cilindros fueron triturados hasta convertirlos en agregado grueso.

Se realizó la caracterización de agregado de concreto reciclado, producido en laboratorio y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo a las especificaciones de las Normas ASTM C-33, para establecer su cumplimiento.

Para conocer el comportamiento del concreto reciclado, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de un agregado natural fino y grueso, conforme las Normas ASTM, y con los datos obtenidos, se determinó que los agregados de estos bancos cumplen con la mayoría de las especificaciones.

Para verificar la resistencia del concreto reciclado, se realizó un diseño de mezcla con agregado natural y agregado reciclado y se elaboraron pruebas de concreto endurecido, las cuales fueron ensayadas a compresión, con los requisitos que establecen las normas, los resultados experimentales mostraron que el comportamiento del concreto con agregados reciclados, es similar al del concreto con agregados naturales, lo que sugiere que puede ser utilizado como un concreto no estructural.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Reciclar desechos de concreto y verificar las características físicas y propiedades mecánicas, proveniente de los ensayos realizados en laboratorio.

### **Específicos**

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado procedente de la trituración de concreto, así como los desgastes mecánicos y químicos.
2. Establecer porcentajes comparativos de las cantidades de finos presentes tanto en el agregado reciclado como en el agregado triturado.
3. Elaborar un diseño teórico en función a las características físicas de los agregados triturados y reciclados para alcanzar una resistencia deseada.
4. Evaluar el tiempo de fraguado de un concreto estructural convencional y un concreto con agregado reciclado.



## INTRODUCCIÓN

Derivado de actividades de demolición de estructuras de concreto a renovarse, así como también carpetas de rodadura en pavimentos de concreto rígido y, además, procedimientos de laboratorio donde se ensayan probetas de hormigón, se tienen desechos de este material que no es posible verterlos o disponerlos adecuadamente.

Como consecuencia de lo anterior se pretende buscar una solución que permita reutilizar estos desechos buscándoles un uso adecuado. Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es interesante, porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables.

Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existe dificultad para obtener materias primas y lugares de depósito adecuado. La propuesta de un nuevo concreto basado en la sustitución de recursos no renovables por materias primas provenientes del reciclado de escombros es válida, actualmente la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza y del paisaje motiva que en el ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada, y si es posible, minimizar las cantidades de los residuos desechados y hacer que puedan ser reciclados y en el mejor de los casos reutilizados.

Para poder reutilizar estos desechos en elementos nuevos de concreto es necesario caracterizar los mismos, analizando muestras obtenidas con

resistencias conocidas para posteriormente elaborar mezclas para conocer sus características físicas y propiedades mecánicas.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Métodos de construcción

Cuando se habla de construcción, se refiere a diversas formas y combinaciones de cómo hacer o crear varios tipos de estructuras. Existen varios métodos de construcción, las estructuras están compuestas de acero, concreto, ladrillo, bloques de piedra, adobe, prefabricados con estructuras metálicas, madera, prefabricados de concreto, yeso/cartón. En la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la Facultad de Ingeniería, se han ejecutado varios trabajos de investigación y ensayos referentes a los diferentes materiales utilizados en la construcción, dando alternativas a las construcciones civiles.

El concreto se ha empleado como material constructivo desde tiempos remotos. Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales. En la antigua Grecia, hacia el año 500 A.C. (antes de Cristo) se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer concreto de la historia, usando tobas volcánicas. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico.

Añadiendo en la masa jarras cerámicas o materiales de baja densidad como la piedra pómez, obtuvieron el primer concreto aligerado. Con este material se da inicio a las grandes obras de ingeniería y arquitectura.

Actualmente todas las obras contienen concreto, esto se debe a que es un excelente material de construcción, puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en número ilimitado de aplicaciones.

## **1.2. Fundamentos del concreto**

La representación común del concreto convencional es básicamente una mezcla entre fragmentos de roca, definidos como agregados, y una pasta de cemento de consistencia plástica. La pasta de cemento portland y agua, une los agregados, arena y grava, creando una masa similar a la de una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.

Los agregados generalmente se dividen en finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial con partículas de hasta 9,5 milímetros ( $\frac{3}{8}$  de pulgada.); los agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1,18 milímetros (tamiz número 16) y pueden llegar hasta 150 milímetros (6 pulgada). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 milímetros o 25 milímetros ( $\frac{3}{4}$  pulgada o 1 pulgada).

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado. La pasta se constituye aproximadamente el 25 por ciento hasta el 40 por ciento del volumen total del concreto. La selección de los agregados es muy importante ya que constituyen aproximadamente del 60 por ciento al 75 por ciento del volumen total del concreto.

Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del

concreto. La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y el agregado y de la unión entre los dos, además de la correcta dosificación. En un concreto adecuadamente confeccionado, toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan con pasta de cemento.

La cantidad de agua usada con relación agua/cemento es importante para la calidad del concreto. Si se usa menos agua, mejor es la resistencia del concreto, mezclándolo adecuadamente. Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son: el aumento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a flexión, disminución de la permeabilidad, por lo que disminuye la absorción y aumento de la estanquidad, aumento de la resistencia a la intemperie, mejor adherencia entre concreto y armadura, reducción de la contracción y de la fisuración, menores cambios de volumen causado por la humedad y el secado.

La influencia de la adición de aditivos químicos al concreto cambia las propiedades del concreto fresco y concreto endurecido. Los aditivos se emplean normalmente en forma líquida, durante la dosificación ajustando el tiempo de fraguado o de endurecimiento, la reducción de agua, el aumento de la manejabilidad, docilidad, el aire y ajustando otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

### **1.3. Concreto recién mezclado**

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra que eran encajonados y sostenidos en suspensión. Los materiales no están predispuestos a segregarse durante el

transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona, sino que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación. Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en concreto, se pueden usar los aditivos plastificantes, también llamados fluidificantes, para que el concreto fluya de manera más fácilmente en elementos delgados y reforzados.

### **1.3.1. Mezclado**

Para que la combinación de estos elementos sea homogénea es necesario estricto cuidado. La secuencia de carga de los materiales en la mezcladora desempeña un papel importante en la uniformidad del producto acabado.

Otros factores importantes en el mezclado de concreto, es el volumen de concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento, mezclado, diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora.

### **1.3.2. Trabajabilidad**

El concreto debe ser trabajable y los materiales no deben separarse durante el transporte y el manejo. El grado de trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por la supervisión, tipo de consolidación y tipo de concreto.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: el método y la duración del transporte, la cantidad y características de los materiales cementantes, la consistencia del concreto, tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos, aires incluido, cantidad de agua, temperatura del concreto, aditivos y temperatura ambiental.

### **1.3.3. Sangrado y asentamiento**

La exudación o sangrado, es el desarrollo de una lámina de agua en la superficie del concreto recién colocado. La causa es por la sedimentación de partículas sólidas y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. Un poco de sangrado es útil en el control de la figuración por contracción plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua/cemento, cerca de la superficie puede ocurrir una capa débil y con poca durabilidad.

### **1.3.4. Consolidación**

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento o fricción entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La buena consolidación del agregado grueso en mezclas más rígidas, mejoran la calidad y la economía. De la mala consolidación puede resultar un concreto poroso y débil con poca durabilidad.

### **1.3.5. Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento**

El cemento Portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. La hidratación determina la calidad de adhesión y adherencia de la pasta de cemento portland, se debe a las reacciones

químicas entre el cemento y el agua. Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos.

El tiempo de fraguado y endurecimiento están en función de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Cuando el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa de hidratación.

#### **1.4. Concreto endurecido**

Tras el proceso de hidratación el concreto endurecido ha pasado del estado plástico al estado rígido. Una vez que el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla; mientras exista agua en contacto con el cemento, progresa el endurecimiento del concreto. Antes de su total endurecimiento, la mezcla experimenta dos etapas dentro de su proceso general que son: el fraguado inicial y el fraguado final. El primero corresponde cuando la mezcla pierde su plasticidad volviéndose difícilmente trabajable. Conforme la mezcla continua endureciendo, esta llegará a su segunda etapa alcanzando una dureza tan apreciable que la mezcla entra ya en su fraguado final.

### **1.4.1. Curado**

El aumento de la resistencia del concreto se da con la edad, desde el momento que el cemento no hidratado aún esté presente, que el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire, la temperatura del concreto permanezca favorable y haya suficiente espacio para la hidratación, para que estas condiciones se cumplan la Norma ASTM C-31 da referencia de tipos de curado.

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpe.

- Curado húmedo: si se vuelve a saturar el concreto después del período de secado, la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar, aun así es mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada, una vez que el concreto halla secado es muy difícil volver a saturarlo.
- Curado al aire libre: la exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través de la lluvia u otras fuentes medioambientales y desarrolla la resistencia a lo largo del tiempo de exposición al aire libre. El concreto continúa a desarrollar resistencia por muchos años siempre que hayan factores como los antes mencionados.

Inmediatamente después de moldear y acabar, los especímenes deben ser almacenados por un período de hasta 48 horas con un curado inicial para concretos no mayores de 6000 libras por pulgada cuadrada en un rango de

temperatura entre 16 y 27 grados centígrados y en un ambiente que evite la pérdida de humedad de los especímenes. Para el curado final al completar el curado inicial y dentro de los 30 minutos después de quitar los moldes, cure los especímenes con agua libre mantenida sobre sus superficies todo el tiempo a la temperatura de 23 grados centígrados con una incerteza de 2 grados centígrados. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan desarrollando resistencia.

#### **1.4.2. Velocidad de secado del concreto**

La velocidad de secado del concreto únicamente está relacionada con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que esté seco, no es indicación que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de desecación, es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto.

#### **1.4.3. Resistencia**

En el concreto, la resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de carga axial de especímenes de concreto. La resistencia a compresión que el concreto logra,  $f'_c$ , es función de la relación agua/cemento, de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto.

#### **1.4.4. Masa unitaria**

El concreto convencional normalmente usado tiene una masa unitaria o densidad que varía de 2 200 hasta 2 400 kilogramos por metro cúbico. La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.

#### **1.4.5. Permeabilidad y estanquidad**

Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco. La estanquidad es normalmente conocida como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible. La permeabilidad es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión.

La permeabilidad total del concreto al agua, está en función de la permeabilidad de la pasta, la permeabilidad y la granulometría del agregado, la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado y la proporción relativa de pasta y agregado.

#### **1.4.6. Resistencia a abrasión**

La resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Una relación agua/cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión.

#### **1.4.7. Durabilidad**

El concreto necesita durabilidad, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión.

Los componentes del concreto, la proporción de estos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

#### **1.4.8. Sulfatos y cristalización de sales**

Cuando el concreto no fue adecuadamente diseñado, muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacarlo. Los sulfatos de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio pueden atacar un concreto pues reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada.

Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de cemento, resultando la desintegración del concreto. El concreto poroso está susceptible al ataque de las intemperies causando cristalización de sales.

## **2. CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS**

### **2.1. Manejo y disposición de escombros**

El sistema convencional utilizado para un correcto manejo de los residuos sólidos generados por los escombros, comprende una serie de etapas operacionales desde que se generan los desechos, la evacuación segura y fiable, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.

Históricamente, se han depositado los residuos sólidos en el suelo de la superficie terrestre o de los océanos. No obstante, el vertido en tierra es el método más común utilizado para la evacuación de residuos. Los vertederos han sido el método más económico y ambientalmente más aceptable para la evacuación de residuos sólidos en todo el mundo. La gestión de vertederos implica la planificación, diseño, explotación, clausura y control de vertederos.

Para la disposición, siendo la última etapa operacional del manejo de residuos sólidos, el método más aplicable prácticamente para todo tipo de desechos es el relleno sanitario, definido como una técnica de disposición final de los residuos en el suelo con las instalaciones especialmente diseñadas y operadas como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros como para minimizar efectos adversos para el ambiente y para la salud pública.

El sitio autorizado por la Municipalidad de Guatemala para la disposición final de los desechos sólidos en el municipio, es el relleno sanitario ubicado en la 13 avenida 35-35 de la zona 3, u otros vertederos que designe la municipalidad. También es utilizado el relleno de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán, (AMSA) ubicado en el kilómetro 22 de la CA-9 sur, para algunas zonas, municipios del sur y el departamento de Escuintla, este relleno es utilizado para depositar basura, sobrantes de empresas industriales y sobrantes de empresas dedicadas a la fabricación de concreto fresco en obra en un área determinada por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA).

Figura 1. **Residuos de concreto depositados en el relleno sanitario**



Fuente: AMSA, en julio de 2011.

Cualquier otro sitio utilizado para tal fin, como barrancos, predios baldíos, cuencas hidrológicas, además de perjudiciales a la salubridad del medio ambiente, hacen que el paisaje sea de un aspecto desordenado.

## **2.2. Generalidades**

La generación de residuos es tan antigua como el mismo hombre. Lo que ha variado a través del tiempo es la cantidad y composición química y física de los residuos, la cual está estrechamente ligada con la evolución cultural y tecnológica de la civilización, y está particularmente relacionada con el nivel de ingresos.

En Europa y Estados Unidos, los residuos de construcción y demolición, en general denominados materiales residuales de construcción, normalmente se han evacuado junto con los restantes residuos sólidos desde principios hasta mediados del siglo XX. En un principio, el reciclaje de estos residuos fue concebido como una respuesta a la escasez de materiales de construcción y a los gastos de evacuación.

La acción de construir y derribar genera un volumen importante de residuos. Así, en los trabajos previos al comienzo de una obra nueva es habitual que se tenga que derribar una construcción existente o que se tengan que efectuar ciertos movimientos de tierra. Durante la realización de la obra, también se origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de restos diversos.

Los escombros de construcciones y demoliciones se generan en el lugar de la actividad constructora. Pueden producirse como consecuencia de la construcción de edificios y otras estructuras, o pueden producirse por la demolición de viejas estructuras o partes de estructuras. La actividad de la construcción genera producción de escombros provenientes de las distintas actividades que se realizan. Pedazos de cerámica, mampuestos, concreto y madera, son algunos de los residuos más comunes.

El flujo de residuos generados por la repavimentación de carreteras, demolición y construcción de puentes, y actividades de remodelación y renovación, se categoriza de forma amplia como residuos de construcción y demolición.

### **2.3. Definición**

El término escombros se le da al material residuo de actividades como demolición, remodelación y construcción. Normalmente, los escombros se clasifican como residuos urbanos, aunque están más relacionados con una actividad industrial que doméstica. La tendencia de la construcción sostenible es llegar a la búsqueda de la eficiencia y reducción de impactos desfavorables en las distintas labores de ingeniería.

El concreto reciclado es simplemente el concreto viejo que se triturará para producir partículas con características de agregado. En otros países se ha usado satisfactoriamente como un agregado en sub-bases granulares, suelo-cemento y en el concreto nuevo como la única fuente o como reemplazo parcial del agregado nuevo. Para la finalidad de este trabajo de investigación se utilizarán los desechos provenientes de cilindros ensayados en laboratorios.

Actualmente la sección de agregados, concretos y morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería deposita gran mayoría de los cilindros ensayados y otros escombros en el área de Prefabricados. Los cilindros restantes son usados para jardinizar la Universidad de San Carlos de Guatemala, al mismo tiempo, en el laboratorio del Centro Tecnológico del Cemento (CETEC), se ensayan en promedio 200 cilindros diarios, antes los desechaban en camiones hacia los rellenos sanitarios mencionados anteriormente, actualmente gran porcentaje de los cilindros ensayados, los

aprovecha la Municipalidad de Guatemala con el fin de jardinizar el área metropolitana.

Figura 2. **Cilindros de concreto ensayados para jardinizar**



Fuente: Facultad de Ingeniería, septiembre de 2011.

El reciclaje de los escombros, es un sector económicamente rentable y muy organizado en algunos países europeos como Alemania y Holanda donde hay escasez de recursos naturales y el gran valor económico que se da al suelo, ha obligado a fomentar el reciclaje desde hace muchos años con resultados muy positivos. Todos estos hechos convergen en la necesidad de investigar acerca de las características de estos residuos sólidos inertes, con el fin de conocer su idoneidad para ser aplicados en la industria de la construcción.

La actividad volcánica de Guatemala ha definido características de los materiales geológicos, con dos tipos de rocas: sedimentarias con el 68 por ciento con predominio en Petén, ígneas y metamórficas con el 32 por ciento del total predominantes en la meseta central, esto convierte al territorio de

Guatemala rico en materiales constructivos, y por ende, que no exista una cultura para reciclar los residuos de construcción.

En teoría, una gran cantidad de los residuos de construcción y demolición pueden reciclarse o reutilizarse fácilmente. Se debe tener en cuenta que los escombros tienen un potencial considerable para el reciclaje, si se comparan con otros tipos de residuos. Por otro lado, los productos reciclados tienen que competir con los materiales de construcción tradicionales, de ahí la necesidad de una calidad uniforme. En este sentido, es importante conocer cuál es el origen y la composición de estos residuos para conseguir una aceptabilidad futura del material reciclado.

#### **2.4. Factibilidad técnica**

Cuando se exponen importantes ventajas de la reutilización y el reciclaje de escombros para crear nuevos concretos, es indudable que el beneficio ambiental para los ecosistemas urbanos es evidente y cuantificable. Pero, de acuerdo a las dinámicas de una sociedad en la cual hasta ahora el factor económico predomina por encima del factor ambiental, se hace necesaria la comprobación científica acerca del desempeño de un material que utilizará escombros como agregados.

#### **2.5. Factibilidad económica**

Aunque el concreto reciclado como escombros presenta un balance ambiental y técnico positivo, entonces de ser empleado en la construcción de nuevas obras y remodelación de aquellas existentes, aún no es motivo suficiente para que éste se introduzca como un material de uso normal en una comunidad, ya que tanto para habitantes, constructores y autoridades

municipales es fundamental el factor económico, es decir, el costo que un material actualmente no convencional tendrá en el mercado. Esta es una realidad a la que no se le puede dejar de lado, en tal sentido se mostrará en los próximos capítulos un análisis comparativo con el concreto reciclado y un concreto convencional.

## **2.6. Tipos de desechos**

Los tipos de desechos utilizados para el concreto reciclado son provenientes de obras que han sufrido daños por causas naturales, malas planificaciones, obras que han cumplido su funcionalidad y materiales provenientes de industria de concreto, piso u otro material manufacturado, seleccionándolos según sus características físicas.

### **2.6.1. Demolición**

Estos residuos proceden de la remodelación y demolición de edificios, de proyectos de repavimentación de carreteras, reparación de puentes y de limpieza asociada con desastres naturales. Normalmente los residuos están constituidos mayormente por concreto, asfalto, ladrillos, bloques y suciedad, otro porcentaje por madera y productos relacionados y un pequeño porcentaje de residuos misceláneos.

Figura 3. **Residuos de construcción**



Fuente: área de prefabricados de la Facultad de Ingeniería.

### 2.6.2. **Desastres naturales**

Por su naturaleza, los desastres naturales se pueden caracterizar en un rango que va desde los desastres climatológicos (huracanes, tornados, inundaciones, sequías) hasta los geológicos (terremotos, deslizamientos, erupciones volcánicas). Los desechos se generan cuando las construcciones civiles colapsan por cualquiera de estos fenómenos naturales.

Figura 4. **Residuos de construcción por temblores**



Fuentes: Cuilapa, Santa Rosa.

### **2.6.3. Otros**

Escombros generados por laboratorios provenientes de los ensayos a compresión de ladrillos, bloques, tubos y columnas de concreto, adoquines, baldosas de cemento líquido, cilindros de concreto, y desperdicio de concreto fresco. Así como desperdicios provenientes de industria de concreto, piso u otro material manufacturado.

Figura 5. **Residuos de cilindros de concreto**



Fuente: laboratorio de concretos CII/USACI.

## **2.7. Impacto ambiental**

El impacto ambiental que genera la eliminación de una estructura, ya sea parcial o total, el impacto de los desastres naturales en las construcciones y los residuos que generan laboratorios e industrias de materiales de construcción hacen una gama notable de residuos que causan un impacto en el medio ambiente.

Estos residuos, en términos generales son inertes, siendo la ocupación de grandes espacios, generando polvo y ruido, siendo estos los principales

problemas medio ambientales que provocan, fundamentalmente, la degradación del paisaje cuando se vierten de manera incontrolada.

Encontrar la manera de manejar estos desechos es, de importancia logrando que se eliminen vertederos inadecuados de residuos procedentes de la construcción que se extienden por toda la ciudad. Y darle una aplicación a estos desechos que beneficien a los habitantes así como a las ciudades.

Figura 6. **Residuos de concreto**



Fuente: área de prefabricados CII/USAC.

Con el paso del tiempo la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y del paisaje motiva a que en el ámbito de la construcción se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada y, si es posible, minimizar las cantidades de los residuos desechados y hacer que puedan ser reciclados y en el mejor de los casos reutilizados.

El sector de la construcción, como otros sectores industriales, han de afrontar problemas medioambientales, debido a esto se buscan nuevos

sistemas ahorradores de energía y materias primas en la producción de nuevos materiales y sistemas más eficaces. Una de las líneas de investigación propuesta en este sentido es el reciclaje y la reutilización de los escombros y su uso posterior en obras, ya sean públicas o privadas.

El aumento de contaminación, los problemas de salud, el deterioro del espacio público, y la necesidad de soluciones ecoeficientes son algunos de los problemas identificados por la acumulación indiscriminada de residuos.

Los lugares inadecuados para el depósito de desechos serán considerados como botadores clandestinos e ilegales y quienes lo utilicen incurrirán en faltas graves al Código de Salud, Código Penal, ley ambiental y otros cuerpos legales, por lo que serán consignados al Juzgado de Asuntos Municipales.



### **3. PROCEDENCIA DE LA MUESTRA A RECICLAR**

#### **3.1. Localización**

La materia prima fue extraída del Centro Tecnológico de Cementos Progreso (CETEC), localizado en la zona 6 de la Ciudad de Guatemala, donde se realizan las pruebas diariamente al concreto fresco por medio de cilindros.

Se procedió a transportarlos al lugar donde se realizará la trituración de los mismos.

#### **3.2. Descripción de la muestra**

Los cilindros escogidos son los normados por las especificaciones ASTM C-31, que indica que la probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 milímetros (2 pulgadas), o menor es un cilindro de 150 milímetros (6 pulgadas) de diámetro por 300 milímetros (12 pulgadas) de altura, además, fueron ensayados a 3, 7, 28 y 56 días.

Figura 7. **Cilindros de concreto ensayados para triturar**



Fuente: Centro Tecnológico del Cemento CETEC, junio del 2011.

### **3.3. Fabricación del agregado reciclado**

El agregado reciclado es procedente de la trituración de los cilindros de concreto ensayados a compresión.

Los procedimientos para el manejo y acopio de las reservas de agregado, varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos.

### **3.4. Equipo y maquinaria**

El equipo a utilizar es una almádana de 10 libras y una placa de metal en la base del suelo para romper los cilindros de forma manual, y de allí llevar los residuos a un tamaño de partícula que pasara el tamiz de abertura 1 ½ de pulgada, para posteriormente clasificarlo por su tamaño de uso.

Figura 8. **Equipo utilizado para la trituración**



Fuente: área de trituración CII/USAC, 1 de julio del 2011.

### **3.5. Método de trituración**

El proceso de trituración es básico, semejante a la trituración de una roca, consiste inicialmente en la reducción de tamaño del cilindro de concreto original, mediante una trituración primaria de manera manual para fines de esta investigación, pero se puede proceder el mismo por un método mecánico por razones de eficiencia, luego, para la trituración secundaria, se pasa el material por los diferentes tamices hasta llegar a la forma comercial y requerida por las especificaciones usadas en los agregados naturales, como se ve en la figura 10 y 11.

Figura 9. **Reducción del tamaño del cilindro de concreto**



a. Acondicionamiento del cilindro



b. Reduciendo el cilindro

Fuente: área de trituración CII/USAC, 1 de julio del 2011.

Figura 10. **Triturando el residuo de los cilindros de concreto**



Fuente: área de trituración CII/USAC, 1 de julio del 2011.

Figura 11. **Tamizado de los residuos de concreto**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos, CII/USAC, 23 de julio del 2011.

Figura 12. **Tamaños de partículas de agregado reciclado**



a. Tamiz 1 ½ pulgada  
(37,5 milímetros)



b. Tamiz 1 pulgada  
(25 milímetros)

Continuación de la figura 12.



c. Tamiz  $\frac{3}{4}$  pulgada  
(19 milímetros)



d. Tamiz  $\frac{1}{2}$  pulgada  
(12,5 milímetros)



e. Tamiz  $\frac{3}{8}$  pulgada (9 milímetros)

Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos, CII/USAC, 23 de julio del 2011.

## **4. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO**

### **4.1. Toma de muestras**

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa debe tomarse por lo menos de 45 kilogramos (100 libras) o bien 300 piezas o segmentos de cualquier tamaño, de cualquier material a examinar.

Debe efectuarse una selección de los apilamientos existentes y de esta forma tomar las muestras más representativas y con las características del agregado más grande. Para la presente investigación la muestra de agregado fino y grueso fue obtenida en una ferretería, por lo que se procedió a hacerle los estudios, para comprobar que esta apta para su uso.

### **4.2. Descripción de las Normas ASTM C-33**

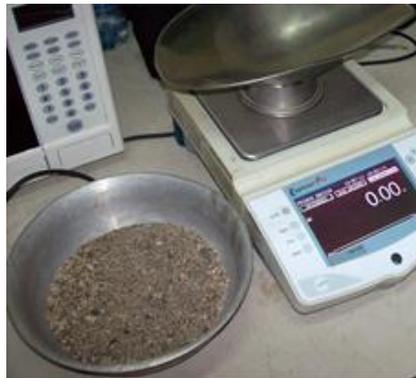
La norma define los requerimientos de graduación y calidad de los agregados fino y grueso que serán usados para concreto estructural, por lo que es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de concretos.

- Agregado fino

Los agregados finos consisten en arenas naturales, arenas manufacturadas, de rocas trituradas o combinación de ambos. Cualquier

material que pasa el tamiz número 4 (4,75 milímetros) es decir, un tamiz con cuatro aberturas por pulgadas lineales es considerado como fino.

Figura 13. **Agregado fino natural**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de julio del 2011.

- **Granulometría, ASTM C-136**

La granulometría llamada también graduación, es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado. El tamaño de las partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas.

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

Tabla I. **Límites de granulometría según la Norma ASTM C-33**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
$\frac{3}{8}$ " (9,5 mm)	100 %
No. 4 (4,75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2,36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1,18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600 $\mu$ m)	25 a 60 %
No. 50 (300 $\mu$ m)	10 a 30 %
No. 100 (150 $\mu$ m)	2 a 10 %

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

El agregado fino no deberá tener más de 45 por ciento retenido entre dos tamices consecutivos y su módulo de finura deberá estar entre 2,3 y 3,1. Si el agregado no cumple con estos requisitos puede utilizarse siempre y cuando cumpla con la prueba de esfuerzo del mortero que establece la Norma ASTM C 87, donde es aceptada si después de los siete días la prueba presenta el 95 por ciento de su resistencia de diseño.

Figura 14. **Tamizado de la arena**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 19 de julio de 2011.

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

<b>Tipo de arena</b>	<b>Módulo de finura</b>
Gruesa	2,9 – 3,2 gramos
Media	2,2 – 2,9 gramos
Fina	1,5 – 2,2 gramos
Muy fina	1,5 gramos

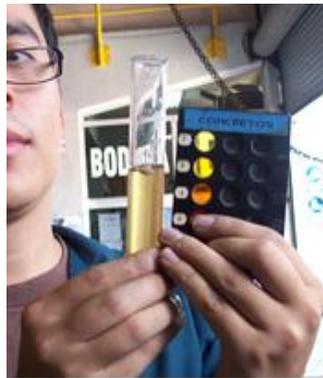
Fuente: GAITÁN OROZCO, Luis. Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país p. 25.

- Contenido de materia orgánica, ASTM C-40

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

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

Figura 15. **Contenido de materia orgánica**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 19 de julio de 2011.

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

<b>Sustancia</b>	<b>Porcentaje máximo en peso del total de la muestra</b>
Arcilla y partículas disgregables	3,0
Material más fino que el tamiz 200 (75 $\mu\text{m}$ ):	
Concreto sujeto a abrasión	3,0 <sup>A</sup>
Cualquier otro concreto	5,0 <sup>A</sup>
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia del concreto es de:	
Importancia	0,5
Cualquier otro concreto	1,0

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 004-02 p. 11.

Nota: <sup>A</sup> En el caso de arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o

esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7 por ciento respectivamente.

- Agregado grueso

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

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

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

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

- Granulometría

Los requisitos de granulometría del agregado grueso de la Norma ASTM C-33 permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos.

La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad, estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría.

Las aberturas del agregado grueso varían de 1,18 milímetros (0,046 pulgadas) a 100 milímetros (4 pulgadas).

Figura 16. **Ensayo de granulometría de agregado grueso**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de julio de 2011.

- Absorción y contenido de humedad

La humedad de un agregado está compuesta por saturación, o bien absorción, y humedad libre o superficial. Para corregir el peso del material al

hacer mezclas de concreto, es necesario obtener el porcentaje de humedad contenida además del porcentaje de absorción del agregado.

Un cambio de contenido de humedad del 1 por ciento, si no se compensa puede cambiar el asentamiento del concreto en 1,5 pulgadas y la resistencia en 300 libras por pulgada cuadrada, es por este motivo que los ensayos de contenido de humedad y absorción deben hacerse. Los agregados pueden estar en alguno de los cuatro estados siguientes:

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

Para proporcionar mezclas de concreto, todos los cálculos deben basarse en agregados en condiciones seco-saturada. Debe tomarse una muestra relativa del material a evaluar, por medio del cuarteo de la misma, considerando el peso necesario para cada ensayo.

- Densidad relativa (peso específico) para agregado grueso según Norma ASTM C-127, peso específico para agregado fino según Norma ASTM C-128.

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

En el caso de los agregados es necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales, el volumen sin descontar los poros y espacios libres, entonces; peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión. Consiste en medir el desplazamiento del agua, producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

Generalmente el peso específico es usado para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como los son el concreto de cemento portland, el concreto bituminoso, u otras mezclas que están proporcionales o analizadas sobre un volumen básico, el peso específico es también usada en el cálculo de vacíos en el agregado.

Figura 17. **Ensayo de peso específico**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC,  
23 de julio de 2011.

- Densidad aparente (masa unitaria) en los agregados, ASTM C-29

La densidad aparente de los agregados es la masa por unidad de volumen ocupado por el conjunto de partículas del agregado a granel (incluyendo el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas), tomando como unidades kilogramo por metro cúbico. Este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad aparente (peso unitario) entre las partículas de los agregados a granel en las siguientes condiciones:

- Masa unitaria compactada
- Masa unitaria suelta

La primera se utiliza para convertir de masa a volumen, para conocer el consumo de agregado por metro cúbico de concreto. La segunda se usa para conocer el volumen del material apilado y así determinar las relaciones masa/volumen para hacer las conversiones en contratos de compra. Sin

embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en un montón apilado y la que se logra con este método de ensayo.

Los agregados en las unidades de transporte y pilas generalmente tienen absorción y humedad superficial (la última de las cuales afecta su volumen), en tanto este método de ensayo para determinar la masa unitaria en los casos mencionados es necesario que el material este en estado seco.

Este método de prueba es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 milímetros (5 pulgadas) en tamaño nominal máximo.

Figura 18. **Masa unitaria del agregado grueso**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de julio del 2011.

- Porcentaje de vacíos, ASTM C-29

El porcentaje de vacíos de los agregados en la masa unitaria es el espacio entre las partículas de la masa de los agregados que no es ocupado por materiales o minerales sólidos. Los vacíos en el interior de las partículas, tanto permeables como impermeables, no se incluyen entre los vacíos, como se determinan por este método de ensayo.

El porcentaje de vacíos entre las partículas de los agregados se calcula a partir de la densidad aparente (masa unitaria) y la densidad relativa (gravedad específica) determinada para cada agregado.

La cantidad de vacíos entre partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla, varía del 30 por ciento a 45 por ciento para el agregado grueso y cerca del 40 por ciento a 50 por ciento para el agregado fino. El tamaño de las partículas y una granulometría bien graduada contribuyen a disminuir el contenido de vacíos.

#### **4.3. Determinación de la resistencia a disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio (estabilidad volumétrica) ASTM C-88**

Este método sirve para estimar la resistencia a la desintegración de los agregados cuando se somete a la intemperie. Esto se consigue por inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, seguido por secado en horno para deshidratar parcialmente o completamente la sal precipitada en los espacios de poros permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión del agua al congelarse.

La Norma ASTM C-33 especifica que el agregado fino sujeto a cinco ciclos de ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10 por ciento, cuando se utiliza sulfato de sodio o de 15 por ciento, cuando se utiliza sulfato de magnesio.

Para agregado grueso sujeto a cinco ciclos de ensayo de resistencia a los sulfatos, el límite máximo admisible debe ser de 12 por ciento, utilizando sulfato de sodio y 18 por ciento si se utiliza sulfato de magnesio.

Se debe considerar que los agregados que no logran cumplir con los requisitos que la norma específica serán rechazados, siempre y cuando el proveedor demuestre al comprador o especificador que un concreto de propiedades comparables, hecho de agregado similar de la misma fuente, ha servido satisfactoriamente al ser expuesto a una intemperización similar o se demuestre que da resultados satisfactorios al ensayo de congelamiento.

Figura 19. **Estabilidad volumétrica de los agregados**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto CII/USAC, 23 de julio del 2011.

#### **4.4. Determinación de la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles ASTM C-131**

Este ensayo llamado también prueba de abrasión, es una propiedad mecánica que sirve para el control de calidad de los agregados de procedencia triturada o de canto rodado, siendo de diversas fuentes que tienen composiciones minerales similares. Los resultados sirven para la elaboración de concretos, debido a que en el procedimiento de mezclado son sometidos a las mismas cargas, ya sea con pala o con mezcladora.

Los resultados no permiten establecer comparaciones válidas de forma automática que debe hacerse entre las fuentes claramente diferentes en su origen, composición o estructura.

Este método cubre el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37,5 milímetros), para determinar su resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles.

El ensayo de abrasión depende de la granulometría realizada al agregado grueso, la cantidad inicial de la muestra es de 5 000 gramos según la especificación, cantidad que será completada con agregado proveniente de la granulometría según el tipo de abrasión que se pueda realizar.

En la tabla IV se muestra el tipo de abrasión a realizarse, la graduación en peso de material retenido proveniente de la granulometría, número de esferas y revoluciones en la máquina de Los Ángeles.

Tabla IV. **Graduación para el tipo de abrasión a realizar de agregado grueso, utilizando 5 000 gramos de muestra**

<b>Tipo</b>	<b>Tamices</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>No. de esferas</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Tiempo (min)</b>
A	1", ¾", ½" y ⅜"	1 250 ± 10	12	500	17
B	½" y ⅜"	2 500 ±10	11	500	17
C	¼" y No. 4	2 500 ± 10	8	500	17
D	No. 8	5 000	6	500	17

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de materiales, Vol. 04-02, páginas. 10 y 11.

Si la cantidad de material requerido en cada tamiz no cumple con la granulometría que especifica la tabla en la norma para un dicho tipo de abrasión, se puede utilizar las partículas mayores de la granulometría para triturarlas y así completar los pesos para un tipo de abrasión.

Para lograr una buena resistencia al derrapamiento en los pavimentos, el contenido de partículas silíceas del agregado fino de ser, por lo menos, 25 por ciento. Según la especificación ASTM C-33 el límite máximo admisible en porcentaje de desgaste de agregado grueso depende de la región de intemperización y del tipo o ubicación de la construcción de concreto, por lo que el porcentaje de desgaste máximo es del 50 por ciento.

Figura 20. **Máquina de abrasión**



Fuente: máquina de Los Ángeles, para ensayo de abrasión, laboratorio de agregados y concreto CII/USAC.

#### **4.5. Resultados y análisis**

A continuación se reportan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados al agregado fino, grueso y el agregado grueso reciclado de conformidad se reporta el análisis de dichos resultados.

##### **4.5.1. Norma ASTM C 33**

Según la especificación ASTM C 33 se presentan los nueve análisis realizados a las tres muestras de agregados en estudio respectivamente.

- Resultados de agregado fino natural

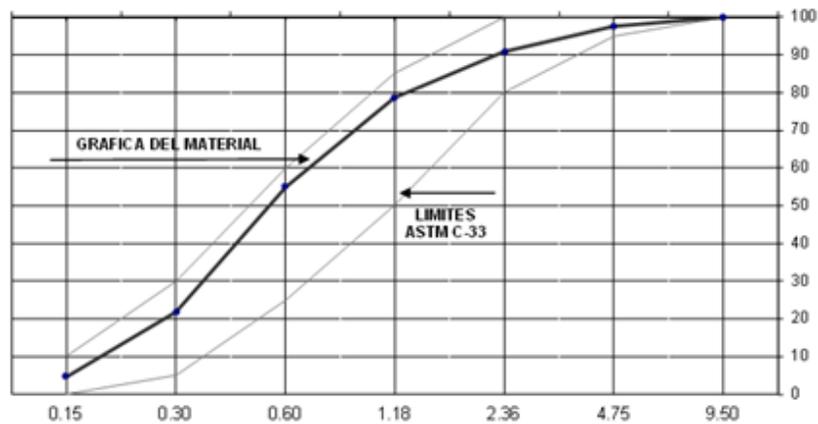
En la tala V se presentan los resultados de la granulometría, y en la figura 21, se presenta su respectiva curva granulométrica.

Tabla V. **Granulometría del agregado fino**

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9,5 mm)	100,00
No. 4 (4,75 mm)	97,63
No. 8 (2,36 mm)	90,84
No. 16 (1,18 mm)	78,55
No. 30 (600 µm)	55,02
No. 50 (300 µm)	21,72
No. 100 (150 µm)	4,68

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Figura 21. **Curva granulométrica de agregado fino**



Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Los demás resultados de los ensayos realizados se presentan en la tabla VI.

Tabla VI. **Características físicas de agregado fino**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Peso específico	2,33
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1 336,62
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1 294,41
Porcentaje de vacíos	42,72
Porcentaje de absorción	5,83
Contenido de materia orgánica	1
Porcentaje que pasa tamiz 200	1,96
Módulo de finura	2,52
Porcentaje tamiz 6,35	8,52
Porcentaje de humedad	12,87

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

- **Análisis de resultados**

Granulometría: el agregado fino es una arena graduada ya que no posee más de 45 por ciento de porcentaje que pase en cualquier tamiz. En la figura 21, se observa su curva granulométrica que cumple con los límites de la Norma C-33 en su totalidad, observando que la gráfica del material tiende a estar un poco a llegada al límite superior lo que indica que se trata de una arena levemente gruesa dentro de los límites.

Peso específico: la masa específica relativa de un agregado varía de 2,4 a 2,9 según el Portland Cement Association (PCA), la arena analizada dio un resultado de 2,3 lo que indica que esta levemente porosa.

Peso unitario (suelto y compactado): el peso unitario suelto de un agregado fino se encuentra comúnmente entre 1 200 a 1 750 kilogramos por metro cúbico y el peso unitario compactado entre 1 400 a 1 900 kilogramos por metro cúbico, según el Portland Cement Association (PCA), la arena ensayada tiene un peso unitario suelto de 1 294,41 kilogramos por metro cúbico y peso unitario compactado de 1 336,62 kilogramos por metro cúbico, indica que el agregado contiene porosidad entre sus partículas al ser compactado.

Porcentaje de absorción: los agregados finos generalmente tienen contenidos de agua que varían del 2 al 6 por ciento según el Portland Cement Association (PCA), la arena ensayada contiene un 5,83 por ciento de absorción, lo cual está dentro del límite estándar.

Contenido de vacíos: el contenido en el agregado fino varía del 40 al 50 por ciento según el Portland Cement Association (PCA), la arena analizada contiene un porcentaje de vacíos del 42,72 por ciento, lo que indica que contiene un porcentaje permisible.

Porcentaje tamiz 6,35: el porcentaje de material retenido en el tamiz es de 8,52 lo cual indica que la arena natural posee agregado grueso, dicho material afectará en la granulometría del agregado fino.

Materia orgánica: el agregado fino produjo un color de grado 1, lo que indica que la arena tiene un contenido de materia orgánica aceptable, ya que se encuentra dentro del límite establecido que es el color de grado 3. Si se produjera un color más oscuro que el estándar debe rechazarse.

Porcentaje que pasa tamiz 200 (75  $\mu\text{m}$ ): el resultado de 1,96 por ciento se encuentra dentro de los límites máximos especificados para arena natural, la

arena natural que se utiliza en concreto sujeto a abrasión tiene un límite máximo de 3,0 por ciento y la arena natural utilizada para cualquier concreto es de 5,0 por ciento máximo.

El módulo de finura: el agregado fino posee un módulo de 2,52, lo que significa que se tiene una arena media que cumple con los límites requeridos en la norma el módulo de finura no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3.

- Resultados de agregado grueso natural

A continuación se presenta el análisis y los resultados de los ocho ensayos de laboratorio que exige la Norma C-33 para el agregado grueso.

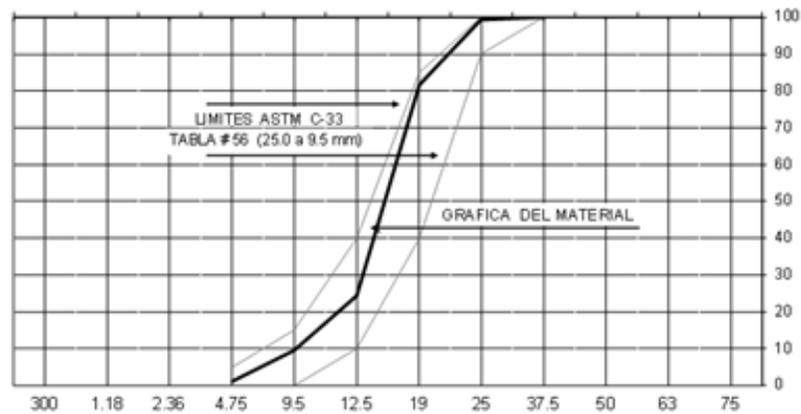
En la tabla VII, se muestra la granulometría del agregado grueso y su curva granulométrica en la figura 5, el resto de las propiedades físicas se presenta en la tabla VIII, para luego hacer el análisis respectivo.

Tabla VII. **Granulometría del agregado grueso natural**

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
1 ½" (37,5 mm)	100
1" (25 mm)	99,32
¾" (19 mm)	81,62
½" (12,5 mm)	24,36
⅜" (9,5 mm)	9,41
No. 4 (4,75 mm)	1,11

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Figura 22. **Curva granulométrica del agregado grueso**



Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Tabla VIII. **Características físicas del agregado grueso natural**

Ensayo	Resultado
Peso específico	2,44
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1290,76
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1196,00
Porcentaje de vacíos	47,16
Porcentaje de absorción	4,34
Porcentaje que pasa tamiz 200	0,25
Porcentaje de humedad	3,0

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

- Análisis de resultados

Granulometría: en la figura 18, se observa que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites que establece la Norma ASTM C-33, además, la Norma ASTM C-125 definen el tamaño máximo nominal como el menor tamiz

por el cual la mayor parte de la muestra de agregado puede pasar, el tamaño de partícula que predomina en la muestra es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada con el 81,62 por ciento.

El resto de propiedades físicas que aparecen en la tabla VI son propias de cada material y son consideradas al realizar la mezcla de concreto.

En este caso puede observarse que se trata de un material con peso específico promedio al igual que el peso unitario, además, posee un porcentaje de absorción bajo, lo que indica que el material es denso. La cantidad de vacíos para el agregado grueso varía del 30 a 45 por ciento lo que indica que el agregado está levemente poroso, según el Portland Cement Association (PCA).

- Resultados de agregado grueso reciclado

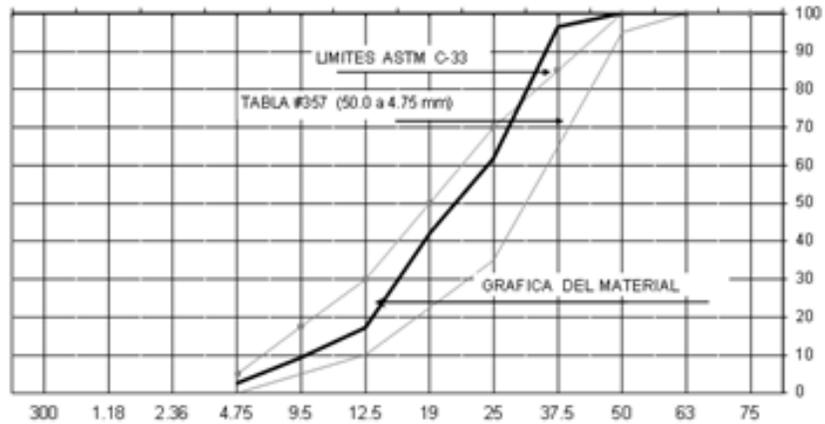
Se presentan el análisis y los resultados de los ocho ensayos de laboratorio que exige la Norma ASTM C-33 para el agregado proveniente del concreto reciclado, en base a la Norma ASTM C-33, los resultados de estos se presentan a continuación en las tablas VIII, IX y figuras 21 y 22.

Tabla IX. **Granulometría del agregado reciclado**

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
2 ½ "	100
2"	100
1 ½ " (37.5 mm)	96,61
1" (25 mm)	61,86
¾" (19 mm)	42,08
½" (12.5 mm)	17,27
⅜" (9.5 mm)	9,29
No. 4 (4.75 mm)	2,51

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Figura 23. **Curva granulométrica del agregado grueso reciclado**



Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

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

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Peso específico	2,33
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1 298,57
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1 190,00
Porcentaje de vacíos	44,21
Porcentaje de absorción	4,51
Porcentaje que pasa tamiz 200	4,39

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

- **Análisis de resultados**

Granulometría: según los límites que establece la Norma ASTM C-33, se puede observar en la figura 22, que la granulometría está dentro de los límites, excepto el tamiz de 1 ½ de pulgada.

Las propiedades físicas que aparecen en la tabla IX, se muestran que el agregado reciclado se comporta como un agregado natural, por lo tanto será apto para realizar la mezcla de concreto.

Se puede observar que se trata de un material con peso específico promedio al igual que el peso unitario y porcentaje de vacíos, posee un porcentaje de absorción bajo, lo que indica que el material es denso.

Porcentaje de tamiz 200: el resultado indica que la muestra tiene un porcentaje alto a comparación del agregado grueso natural debido a que posee

residuos finos de cemento y arena proveniente de la demolición del concreto original.

#### **4.5.2. Ensayos mecánicos en agregado grueso según Norma ASTM C-131**

A continuación se presenta el análisis y los resultados del ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles que especifica la Norma ASTM C-131 para el agregado grueso natural, seguido del agregado grueso reciclado.

- Agregado grueso natural

De la granulometría propia del material se clasificó la abrasión tipo "B". Al realizar el ensayo se utilizó la máquina de abrasión de Los Ángeles donde se obtuvo un desgaste del 45,80 por ciento de abrasión.

- Agregado reciclado

De la granulometría propia del material se clasificó la abrasión tipo "A". Al realizar el ensayo se utilizó la máquina de Los Ángeles donde se obtuvo un desgaste del 42,20 por ciento de abrasión.

- Análisis de resultados

La norma establece que no debe exceder del 50 por ciento de desgaste, por lo tanto el agregado natural sí cumple con los requerimientos especificados, dicho resultado indica que se tiene un agregado grueso con dureza y tenacidad, apto para concreto estructural, al igual que el agregado de concreto reciclado.

#### 4.5.3. Resultados de los ensayos en agregados según Norma ASTM C-88 uso de sulfato de sodio

Se aplicó el ensayo de sulfato de sodio a las muestras de agregado fino, agregado grueso natural y agregado grueso reciclado, para determinar la bondad de los agregados, cuando están sujetos a la acción de la intemperie en el concreto o en otras aplicaciones. Los resultados se muestran en las tablas XI, XII, XIII.

Tabla XI. **Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado fino**

Tamaños		Graduación por fracción	Porcentaje de desgaste	Desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenidos			
No. 100 (149 mm)		4,68	8,29	0,39
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	17,08	8,29	1,42
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	33,27	9,51	3,16
No. 16 (1,19 mm)	No. 30 (595 mm)	23,53	5,18	1,22
No. 8 (2,38 mm)	No. 16 (1,19 mm)	12,29	9,51	1,17
No. 4 (4,76 mm)	No. 8 (2,38 mm)	6,79	8,29	0,56
¾" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	2,37	8,29	0,20
Totales		100	-----	7,73

Fuente: resultados de laboratorio.

Tabla XII. **Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado grueso**

Tamaños		Graduación por fracción	Porcentaje de desgaste	Desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenidos			
2 ½" (63,5 mm)	1 ½" (38,1 mm)	-----	----	-----
1 ½" (38,1 mm)	¾" (19,05 mm)	18,37	0,67	0,12
¾" (19,05 mm)	⅜" (9,52 mm)	72,19	0,67	0,48
⅜" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	8,30	2,68	0,22
	Fondo	1,11	2,68	0,03
Totales		99,97	-----	0,86

Fuente: resultados de laboratorio.

Tabla XIII. **Porcentaje de desgaste y desgaste referido a graduación del agregado grueso reciclado**

Tamaños		Graduación por fracción	Porcentaje de desgaste	Desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenidos			
2 ½" (63,5 mm)	1 ½" (38,1 mm)	3,39	58,83	1,39
1 ½" (38,1 mm)	¾" (19,05 mm)	54,54	58,83	32,08
¾" (19,05 mm)	⅜" (9,52 mm)	32,79	51,39	16,85
⅜" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	6,78	51,39	3,48
	Fondo	2,51	51,39	1,29
Totales		100	-----	55,70

Fuente: resultados de laboratorios.

- Análisis de resultados

El agregado fino posee un porcentaje de desgaste y un desgaste referido a graduación de 7,73 por ciento, la especificación indica debe tener una pérdida promedio no mayor del 10 por ciento, lo cual indica que el material es relativamente resistente a la desintegración provocada por los efectos del clima.

El agregado grueso natural posee un porcentaje de desgaste y un desgaste referido a graduación de 0,86 por ciento, la especificación indica que los límites admisibles para resistencia a disgregación de los agregados al sulfato debe ser de 12 por ciento, lo cual indica que el material es altamente resistente a la disgregación provocada por los efectos del clima.

El agregado grueso reciclado posee un porcentaje de desgaste y un desgaste referido a graduación de 55,70 por ciento, la especificación indica que los límites admisibles para resistencia a disgregación de los agregados al sulfato debe ser de 12 por ciento, lo cual indica que el material tiene una alta disgregación, por lo tanto, no es resistente a la desintegración provocada por los efectos del clima.

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1. Diseño teórico de concreto

El diseño de mezcla es el proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar, por lo tanto, luego de haber realizado los ensayos propios de agregados, se procedió a comprobar su desempeño real fabricando mezclas de concreto.

#### 5.1.1. Concreto convencional

Se fabricó la mezcla con las características siguientes:

- Resistencia nominal: 210 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Resistencia promedio requerida: 246 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Asentamiento: 8 a 10 centímetros.
- Relación agua/cemento: 0,60.

Tabla XIV. Datos de la mezcla

<b>Concreto normal <math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>Materiales</b>	<b>Proporción en peso</b>	<b>Proporción en volumen (litros)</b>	<b>Proporción en volumen (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>
Cemento	1	1 saco	350,88
Arena	2,32	76,13	813,61
Piedrín/Grava	2,95	104,13	1035,51
Agua libre	0,60	24,13	200,00

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

### 5.1.2. Concreto reciclado

Se fabricó la mezcla con el agregado grueso proveniente del concreto reciclado, con las características siguientes:

- Resistencia nominal: 210 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Resistencia promedio requerida: 246 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Asentamiento: 8 a 10 centímetros.
- Relación agua/cemento: 0,57.

Tabla XV. Datos de la mezcla de concreto reciclado

Concreto reciclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (litros)	Proporción en volumen ( $\text{kg/m}^3$ )
Cemento	1	1 saco	315,79
Arena	2,41	76,19	761,68
Piedrín/Grava	3,62	129,15	1142,53
Agua libre	0,57	24,23	180,00

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

### 5.2. Control de calidad al concreto fresco

Es importante el entendimiento de los principios básicos del diseño de mezclas, tales como los cálculos usados para establecer las proporciones de la mezcla con lo que se busca garantizar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido. Todo concreto deberá ser mezclado completamente hasta homogenizarlo, con todos sus materiales igualmente distribuidos. Las pruebas de concreto fresco permiten verificar la calidad del mismo.

### 5.2.1. Mezclado de concreto

Se utilizó una mezcladora de tipo estacionaria eléctrica, esta mezcladora incluye dos aspas y está diseñada para un volumen de  $\frac{1}{2}$  metro cúbico de concreto. El período del mezclado se mide a partir del momento que todo el cemento y agregados estén en el tambor y desde que toda el agua sea adicionada antes que ocurra un cuarto del tiempo de mezclado.

Figura 24. **Mezcladora de concreto utilizada**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto CII/USAC,  
23 de agosto del 2011.

### 5.2.2. Asentamiento

El asentamiento es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla, es decir que indica que tan seca o fluida está cuando se encuentra en estado plástico y no constituye por sí mismo una medida directa de la trabajabilidad.

Este ensayo es aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta  $1 \frac{1}{2}$  pulgada (37,5 milímetros) de tamaño máximo nominal. Si el agregado grueso es mayor de  $1 \frac{1}{2}$  pulgada (37,5 milímetros) el método de

prueba se aplica a la fracción de concreto que pasa la malla de 1 ½ pulgada (37,5 milímetros) de acuerdo con la Norma ASTM C 172.

Figura 25. **Ensayo de asentamiento del concreto**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de agosto del 2011.

### **5.2.3. Peso unitario, ASTM C-138**

El concreto se dosifica por peso y se coloca por volumen, por tanto es importante determinar la masa unitaria del concreto para calcular el volumen o el rendimiento volumétrico producido por los pesos conocidos de cada uno de los materiales que lo constituyen y para determinar el contenido de cemento por metro cúbico de concreto.

Figura 26. **Ensayo de peso unitario del concreto**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de agosto del 2011.

#### **5.2.4. Contenido de aire, ASTM C-231**

Este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea porque es atrapado durante el mezclado del concreto o al ser incorporado por medio del uso de agentes inclusores de aire.

El contenido de aire de un concreto normal está entre el 1 y 3 por ciento del volumen de la mezcla, mientras que un concreto con inclusores de aire puede obtener contenido de aire entre 4 y el 8 por ciento.

Figura 27. **Contenido de aire del concreto**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de agosto del 2011.

#### **5.2.5. Temperatura, ASTM C-1064**

La temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido. El termómetro debe tener una precisión de 0,5 grados centígrados y debe permanecer en una muestra representativa por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice. Un mínimo de 75 milímetros debe rodear la porción sensitiva del concreto.

Figura 28. **Temperatura del concreto**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concretos CII/USAC, 23 de agosto del 2011.

#### **5.2.6. Especímenes para resistencia a compresión, ASTM C-31**

Los especímenes o probetas moldeados para los ensayos de resistencia se prepararon de acuerdo con la especificación, esta indica que la preparación de los especímenes debe empezar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la muestra de concreto. La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto es un cilindro de 150 milímetros (6 pulgadas) de diámetro y altura de 300 milímetros (12 pulgadas).

Figura 29. **Realización de cilindros para el ensayo a compresión**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto, CII/USAC,  
el 23 de agosto del 2011.

Figura 30. **Curado de cilindros con agua y cal**



Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto, CII/USAC,  
23 de agosto del 2011.

### **5.3. Resultados de los análisis de control de calidad a concreto fresco**

Se realizaron las pruebas siguiendo el procedimiento descrito en las especificaciones, si el concreto fue adecuadamente mezclado, las muestras tomadas de diferentes porciones de la mezcla, van a tener esencialmente la

misma masa volumétrica, contenido de aire, revenimiento y contenido de agregado grueso.

Tabla XVI. **Resultados de la mezcla de concreto convencional**

<b>ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>
Peso unitario del concreto	2 181,43 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	3,50 por ciento
Temperatura	23,5 °C

Fuente: resultados de laboratorio.

- **Análisis de resultados**

Peso unitario: en un concreto convencional usado normalmente en pavimentos, edificios y otras estructuras, la masa volumétrica varía de 2 200 hasta 2 400 kilogramos por metro cúbico según el Portland Cement Association (PCA), el concreto diseñado dio como resultado 2 181,43 kilogramo por metro cúbico, estando por debajo del límite, dependiendo este de la densidad de los agregados, cantidad de aire atrapado y la cantidad de agua/ cemento.

Contenido de aire: en un concreto convencional varia de 1 hasta 3,2 por ciento según el Portland Cement Association (PCA), el concreto diseñado tiene un 3,5 por ciento de aire, estando por encima de los límites establecidos por la PCA.

La temperatura en una mezcla de concreto puede variar por el clima del lugar, lo que indica que el concreto diseñado estuvo dentro de un rango promedio.

El asentamiento obtenido fue de 8,3 centímetros y está dentro del rango diseñado teóricamente.

Tabla XVII. **Resultados de la mezcla con concreto reciclado**

<b>ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>
Peso unitario del concreto	2 184,28 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	1,0 por ciento
Temperatura	24,0 °C

Fuente: resultados de laboratorio.

- **Análisis de resultados**

**Peso unitario:** el concreto reciclado diseñado dio como resultado 2 184,28 kilogramos por metro cúbico, según el Portland Cement Association (PCA), se encuentra por debajo del límite de un concreto convencional, dependiendo de la densidad de los agregados, cantidad de aire atrapado y la cantidad de agua/cemento.

**Contenido de aire:** el concreto reciclado tiene 1 por ciento de aire, encontrándose dentro del rango especificado por el Portland Cement Association (PCA), con un bajo contenido de vacíos de aire lo cual es aceptable.

**Temperatura:** la mezcla de concreto reciclado tiene como promedio un resultado de 24 grados centígrados.

El asentamiento obtenido fue de 9 centímetros, estando dentro del rango del diseño teórico.

#### **5.4. Velocidad de endurecimiento, ASTM C-403**

Este método se usa para determinar el tiempo de fraguado del concreto, midiéndose la resistencia a la penetración producida en intervalos de tiempo regulares sobre el mortero de la mezcla de concreto.

El tiempo de fraguado inicial y final se determinan como el tiempo correspondiente a la resistencia a la penetración de 35 kilogramos por centímetro cuadrado (500 libras por pulgada cuadrada) y 280 kilogramos por centímetro cuadrado (4 000 libras por pulgada cuadrada). Normalmente, el inicio del fraguado ocurre entre 2 y 6 horas después del mezclado, y el final ocurre entre 4 y 12 horas según el Portland Cement Association (PCA).

La velocidad de endurecimiento del concreto influencia considerablemente la tasa de progreso de una construcción. Como se ha explicado anteriormente, la temperatura, la relación agua-material cementante y los aditivos afectan el tiempo de fraguado.

La muestra se obtiene del concreto recién mezclado durante los primeros 15 minutos, para obtener el mortero del concreto, que servirá para llenar la viga

Figura 31. **Ensayo de velocidad de endurecimiento**



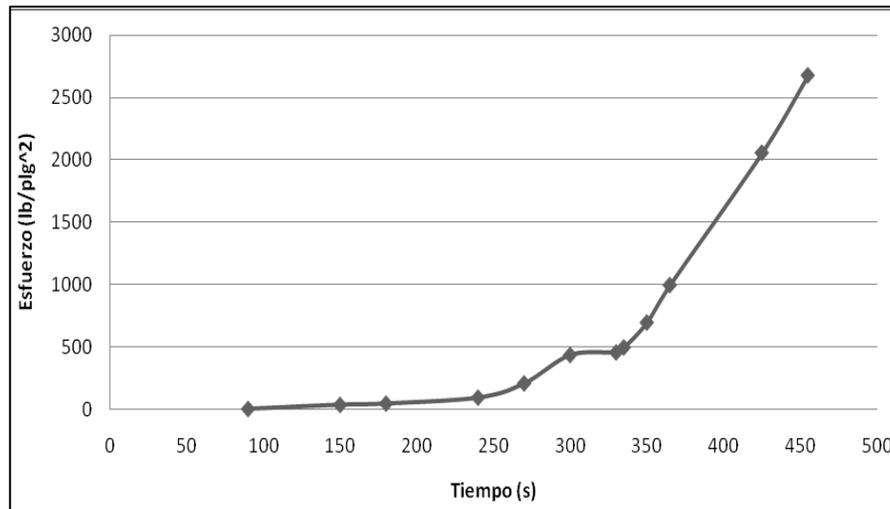
Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto, CII/USAC, 23 de agosto del 2011.

Tabla XVIII. **Resultado del ensayo, velocidad de endurecimiento del concreto convencional**

<b>Ensayo</b>	<b>Referencia</b>	
Velocidad de endurecimiento ASTM C-403	Tiempo inicial (min)	318
	Tiempo final (min)	519

Fuente: resultados de laboratorio.

Figura 32. **Velocidad de endurecimiento del concreto convencional**



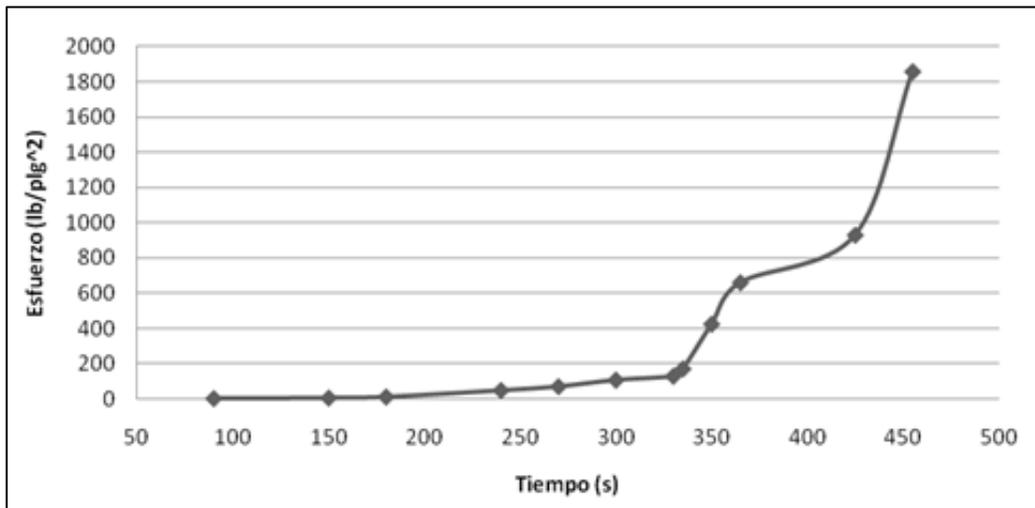
Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Tabla XIX. **Resultado del ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto reciclado**

Ensayo	Referencia	
Velocidad de endurecimiento ASTM C-403	Tiempo inicial (min)	372
	Tiempo final (min)	544

Fuente: elaboración propia..

Figura 33. **Velocidad de endurecimiento del concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

- **Análisis de resultados**

Concreto convencional: el resultado del tiempo de fraguado inicial de la mezcla fue de 318 minutos equivalentes a 5 horas y 18 minutos, lo que indica que la mezcla está dentro del intervalo de tiempo promedio de 2 a 6 horas después del mezclado. El tiempo final de fraguado dio como resultado 519 minutos equivalentes a 8 horas y 39 minutos, lo que indica que la mezcla está dentro de un intervalo de tiempo promedio que es de 4 a 12 horas.

Concreto reciclado: el tiempo inicial de fraguado de la mezcla resultó de 372 minutos equivalentes a 6 horas y 12 minutos, lo que indica que la mezcla no está dentro del promedio de 2 a 6 horas porque tuvo un incremento de agua al momento del mezclado. El resultado del fraguado final fue de 544 minutos

equivalentes a 9 horas y 4 minutos, lo que indica que la mezcla está dentro de un intervalo de tiempo promedio que es de 4 a 12 horas.

## **5.5. Control de calidad al concreto endurecido**

El control de calidad al concreto endurecido es una verificación de la resistencia a compresión a la cual fue diseñado el concreto, la resistencia de un concreto aumenta con la edad, resultando progresiva con el tiempo, para tal control se utilizan los especímenes según Norma ASTM C 31, para el concreto convencional y reciclado considerando un edad máxima de 28 días.

### **5.5.1. Ensayo de cilindros de concreto a compresión**

Este ensayo se aplicó a las muestras del concreto convencional y concreto reciclado. Se fabricaron los cilindros de concreto como lo especifica la Norma ASTM C-39, para una resistencia diseñada de 3 000 libra por pulgada cuadrada (210 kilogramos por centímetro cuadrado) con cemento de uso general en la construcción de procedencia de la empresa Cementos Progreso.

Los cilindros fueron curados y ensayados a los 3, 7 y 28 días. Se ensayaron en parejas como está especificado, de esta forma se obtiene un promedio para comparar los resultados, en caso de un error al realizar el ensayo. Los resultados se muestran en la tabla XXI.

### **5.5.2. Tipo de fracturas en los cilindros de concreto**

Al ensayar los cilindros de concreto endurecido de ambas mezclas ensayadas, se observan dos tipos de fracturas especificadas en la Norma ASTM C-39.

- Fractura de tipo corte

Esta se dio en el concreto de la mezcla patrón, se presenta en la figura 34.

Figura 34. **Fractura tipo corte**



Fuente: fractura tipo 4, ASTM C-39.

- Fractura de tipo columnar

Este tipo de fractura son grietas de acolumnado vertical a través de ambos extremos, ningún cono bien formado, se observa en los cilindros de la mezcla de concreto reciclado y se muestra en la figura 35.

Figura 35. **Fractura tipo columnar**



Fuente: fractura tipo 3, ASTM C-39.

Figura 36. **Ensayo de cilindros a compresión**



a. Cilindro ensayado a 7 días, concreto convencional.



b. Cilindro ensayado a 7 días, concreto reciclado.

Fuente: laboratorio de Agregados y Concreto, CII/USAC, 26 de agosto del 2011.

Tabla XX. **Resultados del ensayo a compresión del concreto convencional**

Cilindro	Edad (días)	Peso (kg)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (psi)
1	3	12,048	33,789	85,32	1 213,55
2	3	12,027	38,702	96,74	1 376,02
3	7	12,075	48,527	121,46	1 727,61
4	7	12,105	50,983	129,08	1 835,94
5	28	12,132	68,137	171,45	2 438,57
6	28	12,255	70,584	179,14	2 547,96

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

Tabla XXI. **Resultados del ensayo a compresión del concreto reciclado**

Cilindro	Edad (días)	Peso (kg)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (psi)
1	3	12,060	26,911	68,00	967,16
2	3	12,090	26,420	66,83	950,56
3	7	12,058	37,719	94,52	1344,31
4	7	12,076	35,263	89,10	1267,33
5	28	12,020	68,137	171,90	2445,02
6	28	12,058	68,137	173,08	2461,81

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Tabla XXII. **Tabla comparativa de las características físicas de los agregados**

Ensayo	Agregado grueso	Agregado grueso reciclado	Especificación Norma
Peso específico	2,44	2,33	ASTM C-127
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1 290,76	1 298,57	ASTM C-29
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1 196,00	1 190,00	ASTM C-29
Porcentaje de vacíos	47,16	44,21	ASTM C-29
Porcentaje de absorción	4,34	4,51	ASTM C-70
Porcentaje que pasa tamiz 200	0,25	4,39	ASTM C-33
Porcentaje de humedad	3	-	ASTM C-70
Porcentaje de abrasión	45,80	42,20	ASTM C-131
Porcentaje de desgaste por sulfatos	0,86	55,70	ASTM C-88

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Tabla XXIII. **Tabla comparativa de las mezclas de concreto**

<b>ENSAYO</b>	<b>Concreto Patrón</b>	<b>Concreto Reciclado</b>	<b>Norma</b>
Temperatura	23,5 °C	24,0 °C	ASTM C-1064
Asentamiento	8 centímetros	9 centímetros	ASTM C-143
Peso unitario del concreto	2 181,43 kg/m <sup>3</sup>	2 184,28 kg/m <sup>3</sup>	ASTM C-138
Contenido de aire	3,50 %	1,0 %	ASTM C-231
Velocidad de endurecimiento	Tiempo inicial 318 min Tiempo final 519 min	Tiempo inicial 372 min Tiempo final 544 min	ASTM C-403

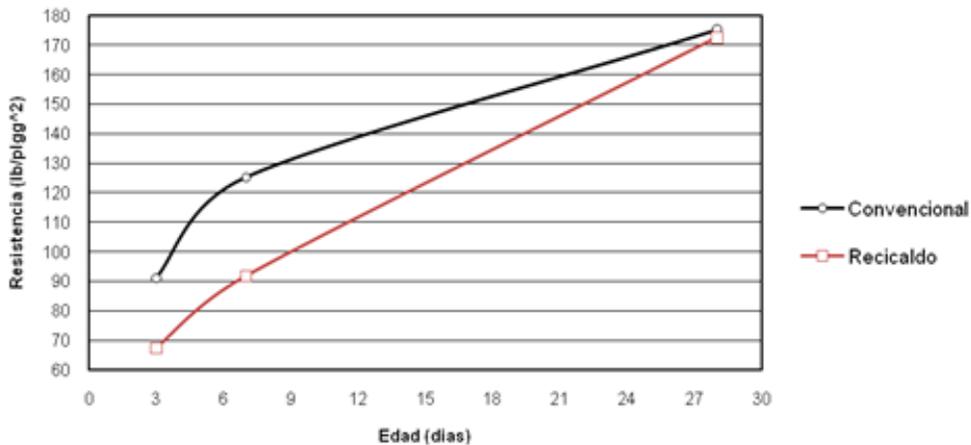
Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Tabla XXIV. **Comparación de resistencia a compresión de concreto patrón y concreto reciclado**

<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia promedio a compresión, concreto convencional, (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia promedio a compresión, concreto reciclado, (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Norma</b>
3	91,03	67,42	ASTM C-31
7	125,27	91,81	ASTM C-31
28	175,30	172,49	ASTM C-31

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 37. **Resistencia a compresión de concreto convencional y concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

- **Análisis de resultados**

La diferencia de las resistencias a compresión en ambos concretos se marca desde los primeros especímenes ensayados a 3 días, hasta alcanzar una resistencia similar a los 28 días.

El concreto convencional diseñado para una resistencia de 210 kilogramo por centímetro cuadrado (3 000 libras por pulgada cuadrada) alcanza una resistencia máxima promedio a 28 días de 175,30 kilogramos por centímetro cuadrado, lo que significa un 83,48 por ciento total de la resistencia deseada observando que no logra alcanzar la resistencia de diseño teórico, debido a características de los agregados, características de diseño y factores de muestreo.

El concreto reciclado diseñado para una resistencia de 210 kilogramo por centímetro cuadrado (3000 libras por pulgada cuadrada) alcanza una resistencia máxima promedio a 28 días de 172,49 kilogramos por centímetro cuadrado, lo que significa un 82,13 por ciento total de la resistencia deseada observando que no logra alcanzar la resistencia de diseño teórico, debido a características propias de los agregados, características de diseño y factores de muestreo.

La figura 34, muestra las gráficas comparativas de resistencia a compresión de ambos concretos, resaltando la tendencia casi lineal del concreto reciclado a comparación del concreto convencional, además se observa que la resistencia del concreto reciclado se alza entre los 7 y 28 días.



## CONCLUSIONES

1. El agregado grueso reciclado cumple con las especificaciones físicas y mecánicas, sin embargo, posee un alto desgaste a sulfatos, el cual es de 55,70 por ciento mientras que la especificación de la norma es del 12 por ciento como máximo.
2. Comparativamente con un agregado de trituración, el porcentaje de finos es de 0,25, lo que crea una mayor demanda de agua disminuyendo la resistencia y velocidad de endurecimiento. Debido a que el agregado grueso es proveniente de la demolición de cilindros de concreto ensayados, mostro un alto contenido de finos, siendo este de 4,39 por ciento.
3. La resistencia a compresión del concreto reciclado no alcanzó la requerida en el diseño teórico, debido a la demanda en la cantidad de agua, disgregación de partículas y cantidad de finos (tamiz 200), disminuyendo también el contenido de aire.
4. La velocidad de endurecimiento en el concreto reciclado fue mayor a la del concreto estructural convencional, debido a que se está trabajando con componentes de cemento fraguado en una dosificación con contenido de cemento sin reacción química.

5. El agregado grueso reciclado sobrepasa los límites especificados por la Norma ASTM C-33 en el rango de partículas de diámetro de 1 ½ de pulgada, debido a esto el concreto reciclado adquirió mayor demanda de agua respecto al concreto convencional.

## RECOMENDACIONES

1. No utilizar concreto reciclado en obras civiles que estén expuestas a intemperies, deshielos y sales de mar, debido al alto porcentaje de desgaste que se obtuvo en la prueba de la Norma ASTM C-88.
2. Para estabilizar los porcentajes de finos, en el agregado reciclado, es necesario triturarlo de manera mecánica, esto proporciona un mejor control de tamaño de partículas.
3. Para mejorar la resistencia, el fraguado e intemperización del concreto reciclado se deben utilizar aditivos y puzolanas que mejoren las propiedades de durabilidad y mecánicas del concreto.
4. Aunque no alcanza la resistencia de diseño el concreto reciclado es una opción alterna a utilizarse en parqueos, banquetas, bordillos y estabilización de suelos o en productos manufacturados como, tapaderas de obras hidráulicas, blocks, topes para automóviles.
5. Para mejorar la granulometría y acelerar el proceso del agregado reciclado, es necesario fraccionarlo utilizando trituradoras mecánicas para que las partículas sean uniformes optimizando el diseño de mezcla.
6. Elaborar distintos diseños de concreto reciclado incorporando puzolanas naturales o artificiales con el fin de utilizarlo estructuralmente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM. *Book of standard specification for concrete aggregate*, volume 04.02. USA: ASTM, 1990. p. 804.
2. BELTRANENA, Emilio. *Control de calidad de materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1952. p. 255.
3. CANTER, W. Larry. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, técnicas para la elaboración de estudios*. 2ª ed. España: McGraw-Hill/Interamericana, 1998. p. 805.
4. DEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. *Confeción del concreto reciclado mediante el aprovechamiento de residuos de la construcción*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Medellín Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 1998. p. 143.
5. LUCERO GASAPARICO, Wilford Dolyv Iván. *Caracterización física, mecánica química y petrográfica, de los agregados finos y gruesos extraídos del banco de materiales ubicado entre la finca Piura, finca, La Vega, Los Llanitos y la finca El Tule, aguas arriba del río Ostua y del banco de materiales ubicado entre Los Llanitos, finca Monterrico, finca El Tule, finca El Coco y la finca Concepción, aguas abajo del río Ostua del municipio de Asunción Mita Jutiapa, para la fabricación de concreto estructural*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. p. 137.

6. LUND, Herbert F. *Manual McGraw-Hill de reciclaje*, volumen 1 y 2. España: McGraw-Hill/Interamericana, 1996. p. 1101.
7. MORALES RAMÍREZ, Evelyn Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. p 136.
8. Perfil Ambiental de Guatemala. *Informe sobre el estado del Ambiente y bases para su Evaluación Sistemática*. Guatemala: Universidad. Rafael Landívar, 2007. p. 321.
9. TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN Hilary; VIGIL, Samuel A. *Gestión integral de residuos sólidos*, volumen 1 y 2. España: McGraw-Hill/Interamericana, 1994. p. 1010.

## **ANEXOS**

AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



INFORME No.

SC - 644

PROYECTO:

Trabajo de Graduación "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características Físicas y propiedades mecánicas"

INTERESADO:

Ernesto Ivan Marroquín Muñoz  
Carné 2004 18308

MUESTRA:

Agregado Grueso

FECHA:

08/08/2011

O.T. No.

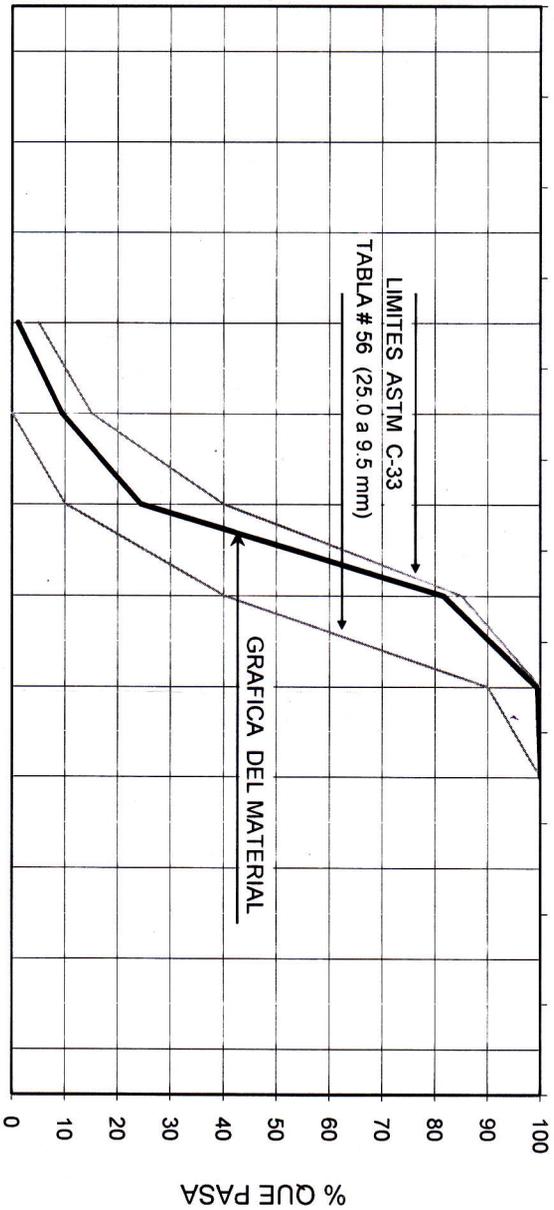
28645

LAB.:

Concretos

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2.44
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1290.76
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1196.00
Porcentaje de Vacios	47.16
Porcentaje de Absorcion	4.34
% Tamiz 200	0.25
% Humedad	3



- OBSERVACIONES:
- a) Muestra proporcionada por el interesado.
  - b) Procedencia del agregado: .....

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4
% Que pasa	100.00	99.32	81.62	24.36	9.41	1.11

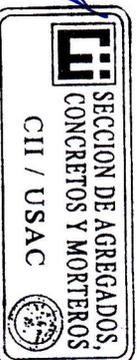
SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS

Vo.Bo.

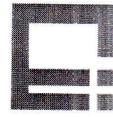
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Inga. Dina Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



AGREGADO FINO PARA CONCRETO



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



INFORME No.

SC - 643

PROYECTO:

Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características Físicas y propiedades mecánicas"

INTERESADO:

Ernesto Ivan Marroquin Muñoz  
Carné 2004 18308

MUESTRA:

Agregado Fino

FECHA:

08/08/2011

O.T. No.

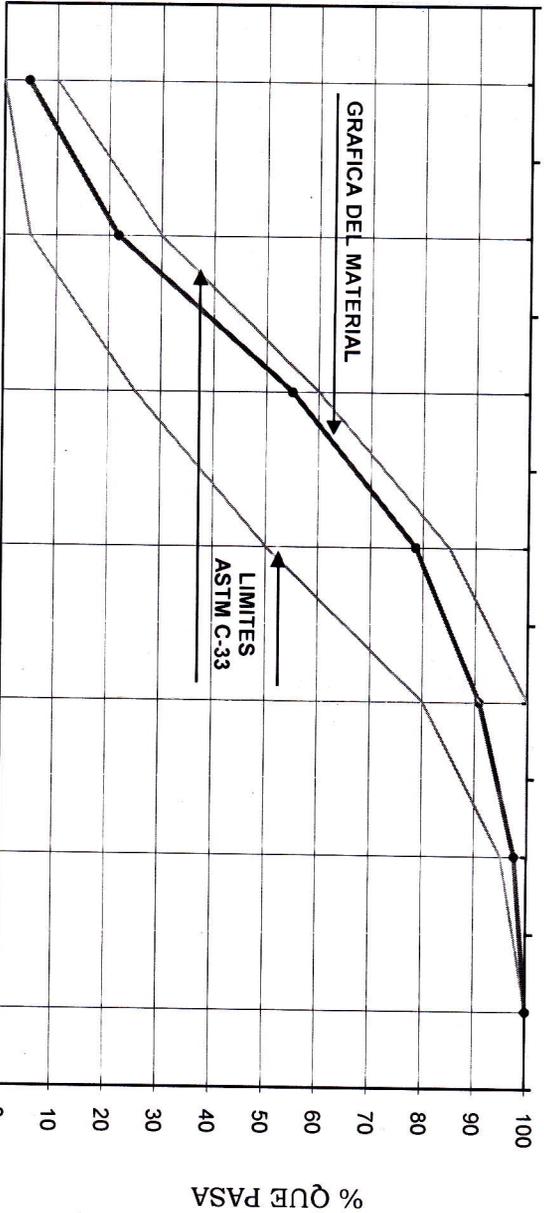
28645

LAB.:

Concretos

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Peso Especifico	2.33
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1336.62
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1294.41
Porcentaje de Vacíos	42.72
Porcentaje de Absorción	5.83
Contenido de Materia Orgánica	1
% que pasa Tamiz 200	1.96
Modulo de Finura	2.52
% Retenido Tamiz 6.35	8.52
% Humedad	12.87



Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
% Que pasa	100.00	97.63	90.84	78.55	55.02	21.76	4.68

OBSERVACIONES:

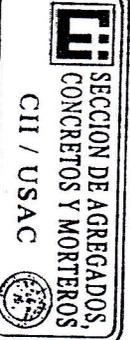
- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.
- c) Procedencia: -----

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Carrero Morales  
Directora CI/USAC



Inga. Digna Yanet Mejicanos Jd



Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



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



**Nº 20871**

O.T. No.28645

**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME No. S.C. 670**

INTERESADO: Ernesto Ivan Marroquín Muñoz  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características Físicas y propiedades Mecánicas"  
 DIRECCION: Ciudad  
 FECHA: 18 de agosto de 2 011

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso de concreto reciclado, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 643  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 645

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
 3.4 Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")  
 3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	315,79
ARENA	2,41	79,19	761,68
PIEDRIN / GRAVA	3,62	129,15	1142,53
AGUA LIBRE	0,57	24,23	180,00

**4. RECOMENDACIONES**

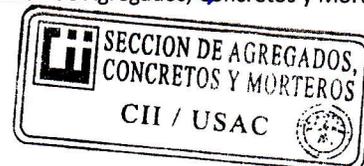
4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.  
 4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Vo.Bo.  
 Inga. Telma Marcela Cano Morales  
 Directora CII/USAC



Atentamente,

*Dilma Yanet Mejicanos Jol*  
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros





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



**Nº 20865**

O.T. No.28645

**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME No. S.C. 662**

INTERESADO: Ernesto Ivan Marroquín Muñoz  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características Físicas y propiedades Mecánicas"  
 DIRECCION: Ciudad  
 FECHA: 17 de agosto de 2 011

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 643  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 644

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,60  
 3.4 Asentamiento: 8-10 cm (3" - 4")  
 3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$					
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )	EN
CEMENTO	1	1 SACO		350,88	
ARENA	2,32	76,13		813,61	
PIEDRIN / GRAVA	2,95	104,13		1035,51	
AGUA LIBRE	0,60	24,23		200,00	

**4. RECOMENDACIONES**

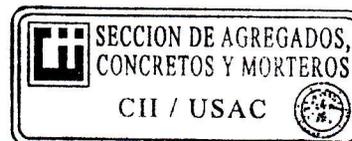
4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.  
 4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Vo.Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 Directora CII/USAC



Atentamente,

Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros





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



**Nº 20904**

**ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES  
ASTM - C-131**

INFORME No. S.C. - 690

O.T. No. **28774**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

**PROCEDENCIA:** -----

**FECHA:** 25 de agosto de 2011

REFERENCIAS	Agregado Reciclado	Agregado Normal
1. Graduación	"A"	"B"
2. % Desgaste	42.20	45.80

**OBSERVACIONES:** Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CI/USAC



*[Signature]*  
Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



M.C.

AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



INFORME No.

PROYECTO:

SC - 645

Trabajo de Graduación "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

INTERESADO:

Ernesto Ivan Marroquín Muñoz  
Carné 2004 18308

MUESTRA:

Agregado Grueso

FECHA:

08/08/2011

O.T. No.

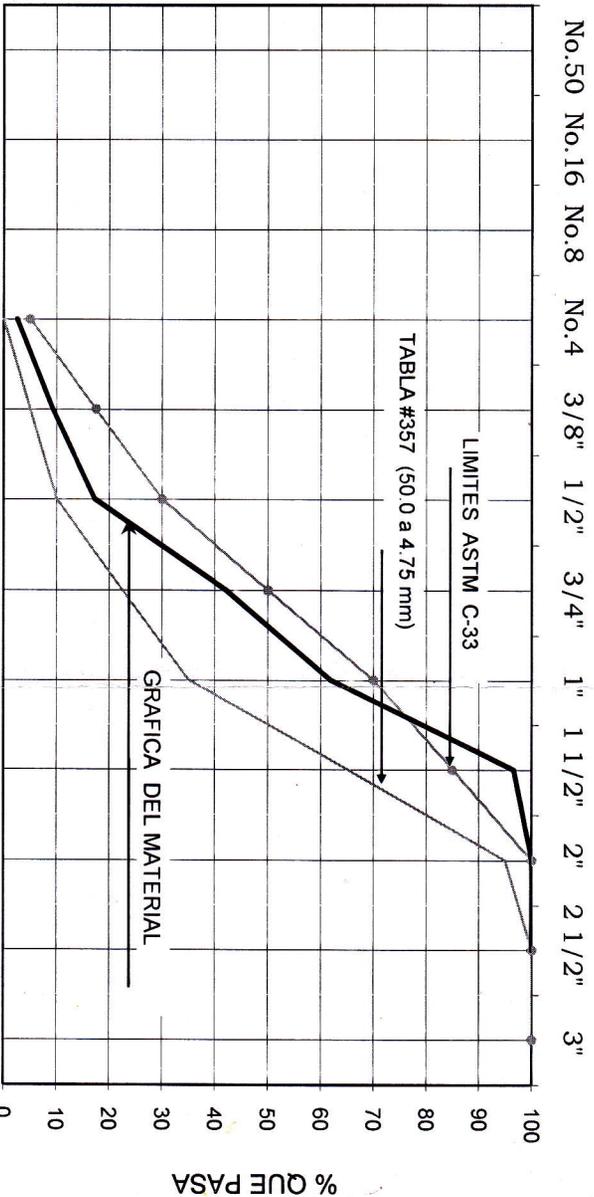
28773

LAB.

Concretos

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2.33
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1298.57
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1190.00
Porcentaje de Vacios	44.21
Porcentaje de Absorcion	4.51
% Tamiz 200	4.39



OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Procedencia del agregado: concreto reciclado

Tamiz No.	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4
% Que pase	100.00	100.00	96.61	61.86	42.08	17.27	9.29	2.51

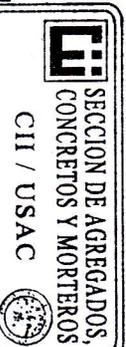
Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

*[Signature]*





**CONTROL DE CALIDAD A CONCRETO FRESCO**

INFORME No. S.C. - 930

O.T. No. 28646

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"  
**DIRECCIÓN:** Ciudad  
**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

**RESULTADO:**

ENSAYO	RESULTADO
Peso Unitario Concreto (ASTM C-138)	2181.43 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire (ASTM C-231)	3.50%
Temperatura (ASTM C-1064)	23.5 °C

**OBSERVACIONES:** a) Mezcla realizada el día 23 de agosto de 2011.  
b) Muestra identificada como Mezcla patrón.

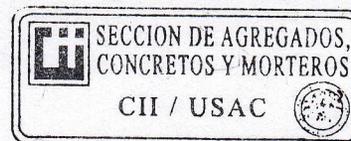
ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jd  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

M.C.

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC





**CONTROL DE CALIDAD A CONCRETO FRESCO**

INFORME No. S.C. - 929

O.T. No. 28646

HOJA 1/1

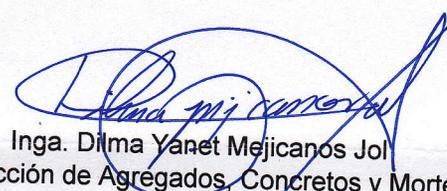
**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"  
**DIRECCIÓN:** Ciudad  
**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

**RESULTADO:**

ENSAYO	RESULTADO
Peso Unitario Concreto (ASTM C-138)	2184.28 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire (ASTM C-231)	1%
Temperatura (ASTM C-1064)	24 °C

**OBSERVACIONES:** a) Mezcla realizada el día 23 de agosto de 2011.  
b) Muestra identificada como Mezcla concreto reciclado.

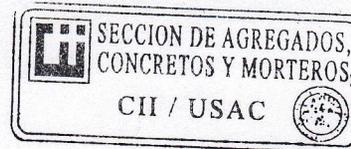
ATENTAMENTE,

  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

M.C.

Vo.Bo.

  
Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora CII/USAC





**ENSAYO VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO  
NORMA ASTM C-403**

INFORME No. S.C. - 932

O.T. No. **28646**

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

**DIRECCIÓN:** Ciudad

**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

ENSAYO	REFERENCIA	
	Velocidad de endurecimiento ASTM C-403	T.Inicial (min)
T.Final (min)		519

**OBSERVACIONES:** a) Muestra proporcionada por el interesado  
b) Muestra: Mezcla Patron

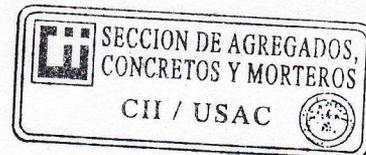
ATENTAMENTE,



Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros  
M.C.





ENSAYO VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO  
NORMA ASTM C-403

INFORME No. S.C. - 933

O.T. No. 28646

HOJA 1/1

INTERESADO: Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308

PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

DIRECCIÓN: Ciudad

FECHA: 25 de noviembre de 2011

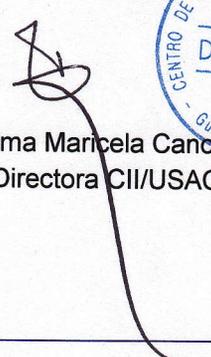
ENSAYO	REFERENCIA	
Velocidad de endurecimiento ASTM C-403	T.Inicial (min)	372
	T.Final (min)	544

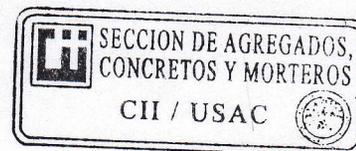
OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado  
b) Muestra: mezcla reciclado

ATENTAMENTE,

  
Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros  
M.C.

Vo.Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC





**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 925

O.T. No. **28646**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz, Carné: 2004-18308

**Material:** Agregado Grueso

**Proyecto:** Trabajo de graduación "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

**Dirección:** Ciudad

**Solución utilizada:** Sulfato de Sodio

**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	18.37	-----	-----	0.67	0.12
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	72.19	1000.00	993.30	0.67	0.48
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	8.30	300.00	291.97	2.68	0.22
	Fondo	1.11	-----	-----	2.68	0.03
<b>TOTALES</b>		<b>99.97</b>	<b>1300.00</b>	-----	-----	<b>0.86</b>

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

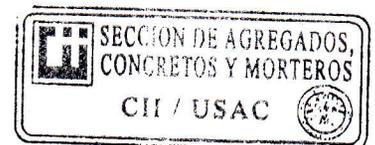
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



*[Signature]*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

M.C.





**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 924

O.T. No. **28647**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz, Carné: 2004-18308  
**Material:** Agregado Fino  
**Proyecto:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"  
**Dirección:** Ciudad.  
**Solución utilizada:** Sulfato de Sodio  
**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
No. 100 (149 mm)		4.68	-----	-----	8.29	0.39
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	17.08	100.00	91.71	8.29	1.42
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	33.27	100.00	90.49	9.51	3.16
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	23.53	100.00	94.82	5.18	1.22
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	12.29	100.00	90.49	9.51	1.17
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	6.79	100.00	91.71	8.29	0.56
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	2.37	-----	-----	8.29	0.20
<b>TOTALES</b>		100.00	500.00	-----	-----	7.73

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

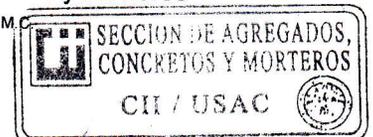
ATENTAMENTE,



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CIUSAC

*(Handwritten signature)*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados Concretos y Morteros





**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 849

O.T. No. **28775**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz, Carné: 2004-18308

**Material:** Agregado Grueso "Reciclado"

**Proyecto:** Trabajo de graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificacion de características físicas y propiedades mecánicas"

**Direccion:** Ciudad

**Solución utilizada:** Sulfato de Sodio

**FECHA:** 27 de octubre de 2011

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	3.39	-----	-----	58.83	1.99
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	54.54	1500.00	617.59	58.83	32.08
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	32.79	1000.00	486.08	51.39	16.85
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	6.78	0.00	0.00	51.39	3.48
	Fondo	2.51	-----	-----	51.39	1.29
<b>TOTALES</b>		<b>100.00</b>	<b>2500.00</b>	-----	-----	<b>55.70</b>

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

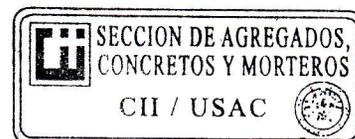
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



*Telma Mejicanos Jol*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros.





**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 927  
HOJA 1/1

O.T. No. **28646**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

**DIRECCION:** Ciudad

**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DÍAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	ALTURA EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	137-10	23/08/2011	3	Control de calidad Concreto reciclado	12.060	15.118	30.54	26,911	68.00	967.16
2	138-10	23/08/2011	3	Control de calidad Concreto reciclado	12.090	15.110	31.54	26,420	66.83	950.56
3	139-10	23/08/2011	7	Control de calidad Concreto reciclado	12.058	15.182	32.54	37,719	94.52	1344.31
4	140-10	23/08/2011	7	Control de calidad Concreto reciclado	12.076	15.118	33.54	35,263	89.10	1267.33
5	141-10	23/08/2011	28	Control de calidad Concreto reciclado	12.020	15.130	34.54	68,137	171.90	2445.02
6	142-10	23/08/2011	28	Control de calidad Concreto reciclado	12.058	15.078	35.54	68,137	173.08	2461.81

**OBSERVACIONES :**

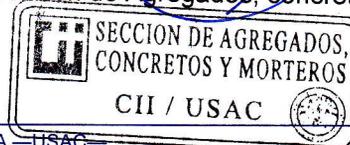
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 9 cm.
- Diseño teórico de acuerdo al informe S.C.-670
- Modificación de agua: Cantidad Original 180 lts/m<sup>3</sup> a 194.80 lts/m<sup>3</sup>,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maridela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, concretos y Morteros.



M.C.



**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-39**

INFORME No. S.C. - 926  
HOJA 1/1

O.T. No. **28646**

**INTERESADO:** Ernesto Ivan Marroquin Muñoz Carné No. 2004-18308

**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas"

**DIRECCION:** Ciudad

**FECHA:** 25 de noviembre de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	ALTURA EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	131-10	23/08/2011	3	Control de calidad mezcla patron	12.048	15.123	30.54	33,789	85.32	1213.55
2	132-10	23/08/2011	3	Control de calidad mezcla patron	12.027	15.200	30.46	38,702	96.74	1376.02
3	133-10	23/08/2011	7	Control de calidad mezcla patron	12.075	15.190	30.415	48,527	121.46	1727.61
4	134-10	23/08/2011	7	Control de calidad mezcla patron	12.105	15.103	30.45	50,983	129.08	1835.94
5	135-10	23/08/2011	28	Control de calidad mezcla patron	12.132	15.150	30.67	68,137	171.45	2438.57
6	136-10	23/08/2011	28	Control de calidad mezcla patron	12.255	15.085	30.58	70,584	179.14	2547.96

**OBSERVACIONES :**

- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 8.3 cm.
- Diseño teórico de acuerdo al informe S.C.-662
- Modificación de agua: Cantidad Original 200 lts/m<sup>3</sup> a 179.22 lts/m<sup>3</sup>.

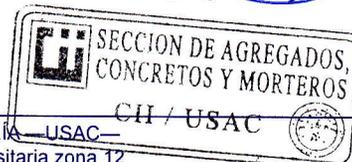
Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CI/USAC



*[Signature]*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, concretos y Morteros.



M.C.