



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

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS
GENERADOS EN LA PLANTA MONOLIT AMATITLÁN Y
FACTIBILIDAD DE USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS**

Laura María Ramírez Martínez

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS
GENERADOS EN LA PLANTA MONOLIT AMATITLÁN Y
FACTIBILIDAD DE USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

LAURA MARÍA RAMÍREZ MARTÍNEZ
ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Félix Rosendo Miranda
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
EXAMINADOR	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA PLANTA MONOLIT AMATITLÁN Y FACTIBILIDAD DE USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS,

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 06 de noviembre de 2006.


Laura María Ramírez Martínez

Ingeniero Sergio V. Castañeda L.
Colegiado 5319

Guatemala 01 de julio de 2009

Ingeniero

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz

Coordinador Área de Materiales

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

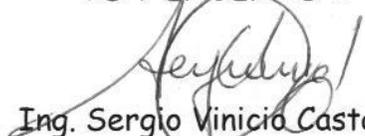
Ing. Quiñonez de la Cruz:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de Graduación titulado "Caracterización de los desechos sólidos generados en la Planta MONOLIT Amatitlán y factibilidad de uso en la elaboración de concretos", desarrollado por la estudiante universitaria Laura María Ramírez Martínez quien contó con mi asesoría.

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

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Asesor Trabajo de Graduación



Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental

Tel. Oficina: 22328650

Tel. Celular 52212491

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 16 de julio de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

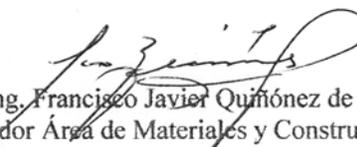
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Caracterización de los desechos sólidos generados en la Planta Monolit Amatitlán y factibilidad de uso en la elaboración de concretos”**, realizado por la estudiante universitaria **Laura María Ramírez Martínez**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

Considero que el trabajo realizado por la estudiante **Ramírez Martínez**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

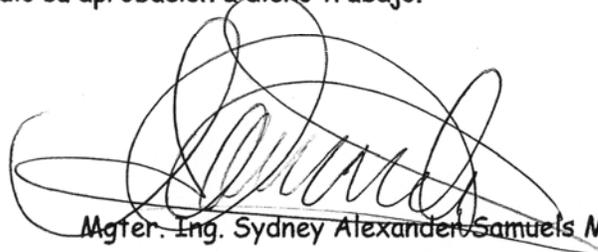
Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación de la estudiante Laura María Ramírez Martínez, titulado **CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA PLANTA MONOLIT AMATITLÁN Y FACTIBILIDAD DE USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, agosto 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.281.09

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: **CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA PLANTA MONOLIT AMATITLÁN Y FACTIBILIDAD DE USO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS**, presentado por la estudiante universitaria **Laura Maria Ramírez Martínez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2009

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por permitirme alcanzar esta meta.

MIS PADRES

Porque con su amor, enseñanza y dedicación, han logrado hacer de mí lo que ahora soy.

LA EMPRESA MONOLIT

Por la confianza y el apoyo que me brindaron para realizar esta investigación.

**AL CENTRO TECNOLÓGICO
DE CEMENTOS PROGRESO**

Por la valiosa colaboración y ayuda en la realización de los ensayos.

ING. SERGIO CASTAÑEDA

Por su asesoría.

**MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS**

Por su sincera amistad y apoyo. En especial a Rosa de Matta y Elmer Yoc.

MIGUEL

Por motivarme y apoyarme en todo momento a culminar esta meta.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Padre Todo Amoroso. Por darme la vida y llenarme de bendiciones
- MIS PADRES** Víctor Leonel Ramírez Hernández y Laura Martínez León de Ramírez. Por darme siempre su amor, confianza y apoyo incondicional, porque con su ejemplo me han guiado por el camino del bien. Este logro es suyo.
- MIS HERMANOS** Carlos, porque tus pasos me han enseñado muchas veces el camino. María José, por enseñarme a ser feliz e inspirarme a ser mejor persona cada día.
- MIS ABUELOS** Marta Alicia León Lau (q.e.p.d.), Raúl Martínez Samayoa (q.e.p.d.), José Carlos León Lau y Rosaura García de León, Víctor Manuel Ramírez (q.e.p.d.) y Petronila Hernández. A todos con especial cariño.
- MIGUEL** Por brindarme en todo momento tu amor, comprensión y apoyo.
- MI SOBRINA** Paula Valeria, con mucho cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. DESECHOS SÓLIDOS	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Generalidades.....	1
1.3. Clasificación.....	2
1.3.1. Por estado.....	2
1.3.2. Por origen.....	2
1.3.3. Por tipo de manejo.....	2
1.3.4. Por los efectos derivados del manejo:.....	3
1.4. Manejo.....	3
1.5. Disposición final.....	4
2. DESECHOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN – DSC	5
2.1. Definición.....	5
2.2. Clasificación y composición.....	5
2.3. Características.....	6
2.3.1. Negativas.....	6
2.3.2. Positivas.....	6
2.4. Gestión de los DSC.....	7
2.4.1. A nivel internacional.....	7

2.4.2. A nivel Nacional	8
2.5. Volumen generado	8
2.6. Legislación	10
2.7. Alternativas de reutilización.....	10
3. CONCRETO.....	13
3.1. Definición	13
3.2. Características	13
3.3. Tipos	14
3.4. Materiales.....	15
3.4.1. Cemento	15
3.4.2. Agua	15
3.4.3. Aditivos	16
3.4.4. Agregados	16
3.4.4.1. Agregado fino	16
3.4.4.2. Agregado grueso	16
3.4.4.3. Características.....	17
3.4.4.3.1. ASTM C-29, peso unitario y porcentaje de vacíos	17
3.4.4.3.2. ASTM C-33, especificación para agregado de concreto.....	17
3.4.4.3.3. ASTM C-117, porcentaje que pasa tamiz núm. 200.....	19
3.4.4.3.4. ASTM C-127 y C-128, peso específico y absorción.....	19
3.4.4.3.5. ASTM C-136, granulometría	20
3.4.4.3.6. ASTM C-131 y C-535, desgaste de agregado grueso.	21
3.4.4.3.7. ASTM C-566, contenido de humedad en el agregado	22
3.4.4.3.8. ASTM D-702, métodos de cuarteo.....	22
3.5. Control de calidad en estado fresco.....	23
3.5.1. ASTM C-143, asentamiento de Abrams	23
3.5.2. ASTM C-138, peso unitario.....	23
3.5.3. ASTM C-231, contenido de aire (método de presión).....	23

3.5.4.	ASTM C-403, velocidad de endurecimiento	24
3.5.5.	ASTM C-1064, control de la temperatura.....	24
3.6.	Control de calidad estado endurecido	24
3.6.1.	ASTM C-39, resistencia a la compresión	24
3.6.2.	ASTM C-234, adherencia concreto-acero de refuerzo.....	25
3.6.3.	ASTM C-293, resistencia a la flexión	25
3.6.4.	ASTM C-469, módulo de elasticidad del concreto	25
3.7.	Concreto ligero	26
3.7.1.	Definición	26
3.7.2.	Características	26
3.7.3.	Materiales.....	26
3.7.4.	Tipos	27
3.7.5.	Aplicaciones	28
4.	PLANTA MONOLIT AMATITLÁN.....	31
4.1.	Generalidades	31
4.2.	Ubicación.....	31
4.3.	Descripción de la planta	31
4.4.	Producción	33
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
5.1.	Caracterización de los materiales.....	35
5.1.1.	Resultados	35
5.1.1.1.	Cemento	35
5.1.1.2.	Agregado fino.....	35
5.1.1.3.	Agregado grueso.....	36
5.2.	Elaboración y evaluación de concretos	39
5.2.1.	Diseño de mezclas.....	39
5.2.2.	Resultados	43

5.2.2.1.	Estado fresco.....	43
5.2.2.2.	Estado endurecido.....	44
5.2.2.2.1.	Resistencia a la compresión	44
5.2.2.2.2.	Resistencia a la flexión	45
5.2.2.2.3.	Módulo de elasticidad	46
5.2.2.2.4.	Fuerza de adherencia concreto-varilla de refuerzo	50
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
6.1.	Materiales.....	53
6.1.1.	Agregado fino	53
6.1.2.	Agregado grueso	53
6.1.2.1.	Peso unitario y porcentaje de vacíos	53
6.1.2.2.	Peso específico y porcentaje de absorción	54
6.1.2.3.	Porcentaje de material que pasa tamiz Núm.200	55
6.1.2.4.	Porcentaje de desgaste por abrasión	55
6.1.2.5.	Granulometría y módulo de finura	56
6.2.	Concretos.....	56
6.2.1.	Estado fresco.....	57
6.2.1.1.	Asentamiento.....	57
6.2.1.2.	Contenido de aire	57
6.2.1.3.	Masa unitaria	57
6.2.1.4.	Temperatura	58
6.2.1.5.	Velocidad de endurecimiento.....	58
6.2.1.6.	Relación a-c.....	59
6.2.2.	Estado endurecido.....	59
6.2.2.1.	Resistencia a compresión.....	59
6.2.2.2.	Resistencia a flexión	60
6.2.2.3.	Módulo de elasticidad	60
6.2.2.4.	Fuerza de adherencia.....	60

6.3. Análisis de costos.....	60
6.4. Alternativas de reutilización.....	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
BIBLIOGRAFÍA	73
APÉNDICE 1.....	75
APÉNDICE 2.....	79
APÉNDICE 3.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta MONOLIT Amatitlán.	32
2.	Agregado grueso utilizado.	36
3.	Gráfica granulometría ARB.	38
4.	Gráfica granulometría ARC.	38
5.	Gráfica granulometría AN.	39
6.	Gráfica dosificación de concretos.	41
7.	Elaboración de concretos.	42
8.	Ensayo de asentamiento.	42
9.	Gráfica velocidad de endurecimiento C-ARB y CMC1	43
10.	Gráfica velocidad de endurecimiento C-ARC y CMC2	44
11.	Especímenes, cilindros para ensayo a compresión.	45
12.	Ensayo de vigas para resistencia a la flexión.	45
13.	Gráfica módulo de elasticidad C-ARB y CMC1.	47
14.	Ensayo de módulo de elasticidad.	48
15.	Gráfica módulo de elasticidad C-ARC y CMC2.	49
16.	Gráfica fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARB y CMC1.	50
17.	Gráfica fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARC y CMC2.	51
18.	Tipo de falla ensayo de adherencia concreto-varilla.	52
19.	Gráfica peso unitario suelto de los agregados.	53
20.	Gráfica porcentaje de vacíos en el agregado.	54
21.	Gráfica peso específico de los agregados.	54
22.	Gráfica porcentaje que pasa el tamiz núm. 200.	55
23.	Gráfica porcentaje de desgaste por abrasión.	56
24.	Gráfica masa unitaria del concreto C-ARB y CMC1.	57

25.	Gráfica masa unitaria del concreto C-ARC y CMC2.	58
26.	Gráfica costos C-ARB y CMC1 (incluye valor de ARB).....	63
27.	Gráfica de costos C-ARC y CMC2 (incluye valor de ARC).	63
28.	Gráfica de costos C-ARB y CMC1 (no incluye valor de ARB).....	64
29.	Gráfica de costos C-ARC y CMC2 (no incluye valor de ARC).	64

TABLAS

I.	Composición de los DSC.	5
II.	Volumen generado de DSC en algunos países.	9
III.	Leyes vigentes sobre DSC en algunos países.....	11
IV.	Límites de granulometría para el agregado fino, ASTM C-33.	18
V.	Límites de granulometría para el agregado grueso, ASTM C-33.....	18
VI.	Límites del porcentaje que pasa el tamiz núm.200.	19
VII.	Producción. Planta MONOLIT Amatitlán.....	33
VIII.	Caracterización de agregado fino.	35
IX.	Caracterización del agregado grueso.	37
X.	Granulometría del agregado grueso.	37
XI.	Diseño de Mezclas de concreto.	40
XII.	Resultados concretos estado fresco.	43
XIII.	Resultados de resistencia a la compresión.....	44
XIV.	Resultados de resistencia a la flexión.	46
XV.	Resultados módulo de elasticidad C-ARB.	46
XVI.	Resultados módulo de elasticidad CMC1	47
XVII.	Resultados módulo de elasticidad C-ARC.	48
XVIII.	Resultados módulo de elasticidad CMC2.	49
XIX.	Resultados fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARB y CMC1.	50
XX.	Resultados fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARC y CMC2.	51

XXI. Peso unitario agregados.....	61
XXII. Precios de materiales de concretos evaluados	61
XXIII. Costo de concretos.....	62
XXIV. Alternativas de reutilización en MONOLIT.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	porcentaje
°C	grados Celsius
“	pulgadas
σ	esfuerzo
μm	micrómetros
a-c	relación agua cemento
ACI	American Concrete Institute
AN	agregado natural
ARB	agregado reciclado de block
ARC	agregado reciclado de concreto
ASTM	American Society for Testing and Materials
C-ARB	concreto con agregado reciclado de block
C-ARC	concreto con agregado reciclado de concreto
cm	centímetro
CMC1	concreto mezcla control 1
CMC2	concreto mezcla control 2
DSC	desechos sólidos de la construcción
E	módulo de elasticidad
f'_{adh}	fuerza de adherencia
$f'c$	resistencia a compresión del concreto
g	gramos

kg	kilogramos
kg_f	kilogramos fuerza
kg/cm²	kilogramo sobre centímetro cuadrado
kg/m³	kilogramo sobre metro cúbico
mm	milímetros
MPa	mega pascales
l	litros
PSI	libra sobre pulgada cuadrada
núm.	número
ton/día	tonelada por día

GLOSARIO

ACI	Siglas en inglés del Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute).
Agregado	Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio aglutinante para formar concreto hidráulico o mortero.
Asentamiento	Medida de la consistencia del concreto fresco, también llamado revenimiento.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de <i>los Materiales (American Society for Testing and Materials)</i> .
Cilindro de concreto	Espécimen para ensayos de resistencia a compresión, módulo de elasticidad, adherencia y otros. Se elabora vaciando concreto en un molde plástico, de metal o cartón, el cual usualmente tiene una altura equivalente al doble del diámetro.
Contenido de aire	Es el volumen de vacíos de aire en el concreto, expresado como porcentaje del volumen total del concreto.

Mampostería	Sistema constructivo tradicional, compuesto por elementos apilados, unidos con un mortero u otro material similar.
Módulo de elasticidad	También llamado Módulo de Young. Es un parámetro representa el grado de rigidez de un material y es el resultado de dividir su esfuerzo unitario entre su deformación unitaria correspondiente.
Peso unitario	Peso de concreto por unidad de volumen. Usualmente se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) en el Sistema Internacional.
Relación agua-cemento	Cociente obtenido al dividir el peso del agua por el peso del cemento en el concreto.
Resistencia a la compresión	Es la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto cargado a la compresión y expresada en kg/cm^2 en el Sistema Internacional.
Resistencia a la flexión	Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada y se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en kg/cm^2 en el Sistema Internacional.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó la caracterización de los desechos sólidos, generados en la producción de bloques de mampostería de distintas resistencias, de la planta MONOLIT Amatitlán. A partir de dicha caracterización se elaboraron concretos utilizando el material de desecho como sustituto de grava y se comparó con mezclas de control.

Por medio de los ensayos normalizados por la ASTM se determinaron las propiedades de cada concreto, obteniendo resultados que indican que el uso del concreto elaborado con agregado reciclado de block de pómez no es recomendable para usos estructurales.

Para el desarrollo de la investigación se contó con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y las empresas MONOLIT y Cementos Progreso.

OBJETIVOS

General:

Caracterizar los desechos sólidos generados en la planta MONOLIT Amatitlán y evaluar la factibilidad de uso en la elaboración de concretos

Específicos:

1. Caracterizar y clasificar los desechos sólidos generados en los procesos de producción de la planta MONOLIT Amatitlán.
2. Evaluar los desechos sólidos generados en la planta MONOLIT Amatitlán como agregados por medio de las normas ASTM aplicables.
3. Elaborar y evaluar concretos utilizando los desechos sólidos como agregados de acuerdo a las normas ASTM aplicables.
4. Elaborar y evaluar Mezclas Control de concreto utilizando agregados tradicionales de acuerdo a las normas ASTM aplicables.
5. Determinar el costo para 1 m³ de los concretos evaluados.
6. Presentar alternativas de reutilización de los desechos sólidos generados en la planta MONOLIT Amatitlán.

INTRODUCCIÓN

La planta MONOLIT Amatitlán genera un porcentaje de desecho resultante del proceso de fabricación de bloques de mampostería y otros elementos prefabricados. Esto representa una pérdida de las materias primas e implica la necesidad de un sitio para su disposición final. Por lo tanto, resulta imperativo dar una solución al problema.

En este trabajo se propone el reciclaje del material sólido de desecho de la fabricación de blocks y bovedilla para su aprovechamiento dentro de los procesos de la planta, para lo cual se evaluaron diferentes mezclas de concreto con agregado pétreo y agregados reciclados, de acuerdo a las características de cada material.

El capítulo uno contiene información general sobre desechos sólidos, como su definición, clasificación y disposición final. En el capítulo dos se abordan conceptos específicos sobre desechos sólidos de la construcción, como lo son su definición, composición, tipos y gestión a nivel internacional y nacional. El capítulo tres comprende fundamentos sobre el concreto incluyendo definición, materiales, tipos, y la descripción de las normas que se utilizan para caracterizar los materiales y concretos. La planta MONOLIT Amatitlán y su producción se describen en el capítulo cuatro. En el capítulo cinco se incluye el desarrollo experimental y finalmente el capítulo seis contiene el análisis de resultados que permiten realizar conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. DESECHOS SÓLIDOS

1.1. Definición

- Fracción de los materiales de desecho que se producen tras la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo, que no se presentan en estado líquido o gaseoso. (1)
- Todos aquellos cuerpos firmes no útiles después de una actividad o proceso humano. (2)

1.2. Generalidades

Existen dos grandes fuentes de desechos sólidos determinados por las actividades humanas: producción y consumo. Desde un punto de vista económico los desechos representan un material generado en las actividades de producción, transformación y consumo que no han alcanzado algún valor económico. Es la última fase del ciclo de vida del bien o producto.

El volumen de producción o generación de desechos sólidos es inversamente proporcional al nivel de desarrollo del país que se trate.

1.3. Clasificación

1.3.1. Por estado

La clasificación por estado se refiere al contenido del envase o contenedor sólido que lo detiene. Por ejemplo: líquido o gas dentro de un recipiente sólido hermético.

1.3.2. Por origen

Se definen por la actividad que los originan. Esta clasificación es sectorial y en la práctica no tiene límites en cuanto al nivel de detalle que se puede llegar, la más común es la siguiente:

- domésticos o domiciliarios
- comerciales
- institucionales
- procedentes de la construcción y demolición
- de servicios municipales
- industriales (incluye la minería)
- agrícolas, ganaderos y forestales
- hospitalarios
- portuarios
- radiactivos

1.3.3. Por tipo de manejo

Este criterio de clasificación es útil para orientar la gestión integral de los desechos de un país y cuando el objetivo es definir la infraestructura que se

necesita para el tratamiento y la disposición final de los mismos. Se pueden definir entre otros:

- Desechos asimilables a desechos urbanos y que por lo tanto se pueden disponer en forma conjunta.
- Desechos para los cuales la incineración es el tratamiento adecuado.
- Desechos que se deben disponer en rellenos especiales.
- Desechos generados en grandes cantidades, por lo que requieren tratamiento particular.
- Desechos que pueden ser sometidos a un proceso de valorización.

1.3.4. Por los efectos derivados del manejo:

- peligrosos
- peligrosos no reactivos
- inertes
- no peligrosos

1.4. Manejo

Un sistema de manejo de desechos sólidos se conforma de un conjunto de procedimientos y políticas cuyo objetivo es realizar una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada. Puede dividirse en cuatro subsistemas:

- generación
- transporte
- tratamiento y disposición
- control y supervisión

1.5. Disposición final

- Disposición final: es el destino último de los desechos sólidos, ordenados, colocados y distribuidos en un espacio predeterminado, de conformidad a las especificaciones técnicas internacionales.

Puede ser en: rellenos sanitarios, plantas de incineración, instalaciones para tratamiento biológico (compostaje) y centros de reciclaje; entre otros.

Los rellenos sanitarios han resultado, en muchos países, ser la solución durante mucho tiempo para la disposición final de los desechos sólidos; sin embargo, considerando el impacto ambiental y la falta de espacios abiertos para este objetivo, este tipo de procedimientos ya no representa una opción sustentable.

2. DESECHOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN – DSC

2.1. Definición

- Son aquellos que se generan como resultado de actividades de construcción y demolición de obras, tales como: edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otras afines a éstas. (3)

2.2. Clasificación y composición

Los DSC se pueden clasificar de acuerdo al tipo de actividad y objeto de la obra que los genera (Ver Tabla I).

Tabla I. Composición de los DSC.

ACTIVIDAD	OBJETO	COMPONENTES PRINCIPALES
Demolición	Viviendas Otros edificios Obras públicas	Mampostería, bloques, ladrillo, adobe, concreto, madera, yeso, tejas, hierro, acero, metales, plásticos.
Construcción	Excavación Edificación y obras públicas Reparación y mantenimiento Reconstrucción y rehabilitación	Tierras, suelo, roca, concreto, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, cal, yeso, madera, pavimentos, plásticos, productos no férreos, materiales bituminosos.

2.3. Características

Durante la construcción, remodelación y/o mantenimiento de una obra se genera un volumen considerable de desechos.

Los DSC constituyen un amplio porcentaje del total de desechos sólidos generados, sin embargo, han sido siempre considerados de menor importancia frente a desechos como los domésticos, quizás por su propiedad de inertes. Actualmente existe una fracción de materiales reutilizables que no están siendo aprovechados de una manera adecuada en muchos países.

2.3.1. Negativas

- Son fuente de polvo y otros contaminantes.
- Tapan los drenajes cuando se abandonan en las calles.
- Provocan el desborde de los cauces de agua cuando van a parar a ellos.
- Impiden el aprovechamiento de tierras fértiles cuando se depositan en ellas sin ningún control.

2.3.2. Positivas

- Tiene un alto potencial de reutilización, en comparación con otros tipos de desechos.
- Bajo costo.

2.4. Gestión de los DSC

2.4.1. A nivel internacional

El sector de la construcción y demolición es una de las actividades que más desechos genera. A pesar del gran volumen producido y del elevado potencial de reutilización que posee este tipo de desechos, la mayor parte es llevada a vertederos. En las últimas décadas la ocupación de terrenos, la degradación del paisaje, la contaminación de los suelos, el impacto sobre la hidrología, y la escasez de materiales de construcción, entre otros factores, han hecho necesario el reciclaje de los materiales incluidos en los DSC.

En los países de la Unión Europea los DSC son depositados en vertederos especiales, ya sean controlados o no controlados. En Holanda más de la mitad son reciclados, España y Dinamarca también tienen altos porcentajes de reciclaje de DSC. En Japón las políticas para su gestión son estrictas y controladas.

En Latinoamérica la gestión de los DSC tiene poco control en la mayoría de países, a pesar de que existen leyes, reglamentos y entidades que regulan la gestión de los desechos sólidos, no prestan especial interés a los DSC. Sin embargo, en México, Colombia y Brasil existen proyectos o programas de entidades estatales o empresas privadas que llevan a cabo el reciclaje de este tipo de material.

2.4.2. A nivel Nacional

Según el informe Análisis Sectorial de Residuos en Guatemala, (OPS/OMS, 1995) el tema de los desechos sólidos no ha sido una prioridad a nivel institucional, a pesar de ser un problema de salud y ambiental. En Guatemala existen leyes y normas que determinan una serie de obligaciones para entidades encargadas de la gestión de desechos sólidos, y a pesar de ello la planificación en esta área ha sido escasa, y al no conocerse las necesidades de recursos humanos, técnicos, físicos y financieros, no se desarrollan de manera ordenada las distintas acciones que deberían desempeñar las instituciones competentes en el tema.

Los DSC constituyen un porcentaje significativo de los desechos totales del país, sin embargo, debido a que no son directamente nocivos a la salud, su disposición final no tiene un enfoque prioritario. En Guatemala los DSC son manejados en forma conjunta, es decir, no existe un sistema de clasificación, por lo que la reutilización o el reciclaje de cualquier tipo de residuo es limitado.

2.5. Volumen generado

La confiabilidad de los datos varía mucho de un país a otro, dependiendo del nivel de las políticas de gestión de los DSC y de los métodos de cálculo empleados.

Según la Asociación de Reciclado de Materiales de Construcción (CMRA, por sus siglas en inglés) en Estados Unidos se generan anualmente unos 325 millones de toneladas de DSC, en su mayoría reciclables. Estas cifras pueden tener más o menos variaciones con respecto de un año a otro, ya

que están directamente ligadas al crecimiento del sector de la construcción así como a eventualidades por desastres.

Según datos de la Unión Europea, en 1992 los países miembros produjeron 200 millones de toneladas de DSC. La información más confiable sobre las cantidades de DSC generadas en Europa se presenta en el informe Symonds (Ver Tabla II). En el año 2002 la Agencia Europea de Medio Ambiente publicó el informe “*Review of Selected Waste Streams*”; según este, Finlandia genera 1,500 ton/año/habitante de DSC, Alemania aparece con 2,700 ton/año/habitante. España produce 35 millones de toneladas DSC al año, de los cuales solo el 14% es tratado y separado para su reutilización, y de éstos se estima que solamente el 2% es reutilizado como agregado reciclado .

En México se producen de 3,500 a 5,000 toneladas diarias de DSC, solamente en el Distrito Federal, un 50% se recibe en una planta de reciclaje. En algunas ciudades de Colombia, la cantidad de DSC asciende a 6,000 toneladas al día; Brasil está entre 2,400 a 6,000 toneladas diarias. Estas cantidades cambian según la región, el nivel de desarrollo y el tamaño de la ciudad que se trate. En Guatemala no existen datos oficiales sobre el volumen de desechos sólidos de construcción generado.

Tabla II. Volumen generado de DSC en algunos países.

País / Ciudad	Generación de DSC (ton/día)
Comunidad Europea	19,673
Estados Unidos	5,626
República de Chile	12,276
México D.F.	5,076

Fuente: Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, Vol. 1, núm. 3 (septiembre 2008)

2.6. Legislación

La Comunidad Europea actualmente trabaja en crear y llevar a cabo legislaciones específicas que contemplen la obligatoriedad de la recolección y tratamiento de los DSC y su transformación necesaria como material reciclado. Estas leyes ayudarán a la protección de la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente.

Los Países Bajos y Dinamarca han prohibido el vertido de los escombros que sean aptos para su reciclaje; esta regulación controla rigurosamente el destino de los residuos de manera que las empresas constructoras se ven obligadas a reciclar.

En otros países, como México, Perú, Nicaragua, Estados Unidos y España también existen leyes que contemplan el manejo y disposición de los DSC (Ver Tabla III).

En Guatemala existen leyes y reglamentos sobre el manejo de los desechos sólidos, sin embargo, no regulan los DSC.

2.7. Alternativas de reutilización

El reciclaje de escombros es un sector económicamente rentable y muy organizado en algunos países europeos como Alemania y Holanda, donde factores como una legislación más restrictiva, la escasez de recursos naturales y sobre todo el alto valor económico del suelo ha obligado a fomentar su reciclaje desde hace muchos años, con resultados muy positivos.

Tabla III. Leyes vigentes sobre DSC en algunos países.

País	Entidad Reguladora	Ley	Artículo
México	Secretaría del Medio Ambiente, SMA	Ley de Residuos Sólidos	Artículo 31 – Clasifica al residuo de la construcción como residuo de manejo especial. Artículo 32 – Plan de manejo para residuos de manejo especial.
Perú	Consejo Nacional del Ambiente, CONAM	Ley General de Residuos Sólidos – Ley núm. 27314	Artículo 8 – Delega la gestión de los residuos sólidos de la Construcción al Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.
E.E.U.U.	Agencia de Protección Ambiental, EPA (por sus siglas en inglés)	Disposición de desechos sólidos, 42 USC	Capítulo 42 – Regula todo lo referente a la disposición y tratamiento de desechos sólidos.
España	Consejería de Medio Ambiente, Madrid.	Plan de Gestión Integrada de Residuos de Construcción y Demolición.	Pretende definir un modelo de gestión adecuada para la totalidad de estos residuos
Nicaragua	Sistema de Gestión Ambiental, SISGA	Requisitos Básicos Ambientales, FISE	Título VIII – Requisitos sobre el manejo y disposición de los desechos sólidos de construcción.

En Alemania los desechos originados por la demolición del muro de Berlín se utilizaron en la construcción de nuevas residencias. En Barcelona, una de las ciudades pioneras en el aprovechamiento de DSC, en la remodelación y construcción de nuevas instalaciones de la villa olímpica en el año 1992 se utilizaron componentes (en su mayoría pétreos) provenientes de la demolición de viejos edificios. En Dinamarca, en 1998 se realizó un proyecto piloto de reciclaje de DSC para la elaboración de concreto, utilizando el material resultante de la demolición de dos puentes; aproximadamente 1400 toneladas fueron empleadas en concreto para los cimientos y baldosas del suelo de nuevos edificios.

En México existen plantas de reciclaje de material proveniente de DSC, en donde se tritura generando un nuevo agregado, que según sus propiedades puede utilizarse en la elaboración de concreto o en carreteras. En Brasil y Colombia también se han construido proyectos habitacionales con materiales de DSC.

En Guatemala la mayor parte de los DSC van a parar a vertederos autorizados o no. Otro porcentaje se utiliza como material de relleno en caminos de terracería. En las fábricas o industrias de productos para la construcción, los residuos que se generan son reincorporados al proceso de producción.

3. CONCRETO

3.1. Definición

- Es la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente cemento) con áridos (grava y arena), agua y, eventualmente, aditivos y adiciones. (4)
- El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. (5)

3.2. Características

Es un material de bajo precio respecto al acero, de resistencia similar o mayor a la del ladrillo, que brinda la posibilidad de construir elementos de casi cualquier forma. También es buen aislante acústico y resistente al fuego.

Las características físicas del concreto son:

- Densidad: alrededor de $2,350 \text{ kg/m}^3$ para concretos normales.
- Resistencia a la compresión: de 150 a 500 kg/cm^2 (15 a 50 MPa) para el concreto común. Existen concretos especiales de hasta $2,000 \text{ kg/cm}^2$ (200 MPa).
- Resistencia a la tracción: proporcionalmente baja, generalmente despreciable en el cálculo global, alrededor de un décimo de la resistencia a la compresión.

- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, en función de la temperatura, humedad y otros parámetros.
- De 24 a 48 horas, la mitad de la resistencia máxima, en una semana $\frac{3}{4}$ partes y en 4 semanas prácticamente la resistencia total.

Hay que resaltar que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, además el concreto, recubriéndolo, protege al acero de la oxidación.

3.3. Tipos

El concreto puede clasificarse de acuerdo a sus propiedades y las características de los materiales utilizados.

- Por su masa o peso volumétrico:
 - pesado
 - normal
 - ligero
- Por su resistencia:
 - baja resistencia
 - resistencia moderada
 - normal

- Por su consistencia o trabajabilidad:
 - fluido
 - normal o convencional

- Por el tamaño del agregado:
 - ciclópeo
 - concreto
 - mortero

3.4. Materiales

3.4.1. Cemento

Es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las que permiten unir fragmentos minerales, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuada.

3.4.2. Agua

Como regla general, el agua de mezclado debe ser potable. No debe contener impurezas que puedan afectar la calidad del concreto. No debe tener ningún tipo de sabor o contener limo u otras materias orgánicas en suspensión. Aguas muy duras pueden contener elevadas concentraciones de sulfatos. Pozos de agua de regiones áridas pueden contener sales disueltas dañinas. Si es cuestionable, el agua debe ser químicamente analizada.

3.4.3. Aditivos

Los aditivos son aquellas sustancias que añadidas al concreto, antes o durante el amasado del mismo, producen la modificación, en el concreto fresco o endurecido, de alguna de sus características o propiedades habituales. Los aditivos más comunes son:

- Plastificantes: mejoran la trabajabilidad de la pasta de concreto
- Acelerantes: reducen el tiempo de comienzo del proceso de fraguado
- Retardantes: incrementan el tiempo de comienzo del proceso de fraguado
- Agentes oclusores del aire: mejoran la trabajabilidad, reducen la capacidad de absorción y disminuyen la densidad

3.4.4. Agregados

3.4.4.1. Agregado fino

Es el material que pasa el tamiz núm.4 hasta el tamiz núm.100. Comúnmente consiste en arena de origen natural, como agregado de canto rodado o de río, roca triturada o bien una combinación de todas.

3.4.4.2. Agregado grueso

Suele considerarse como agregado grueso el formado por partículas retenidas a partir del tamiz núm.4. Para su buena utilización, estos no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada. Las formas angulosas o planas hacen más difícil el amasado y colocación del concreto, debido a la misma forma, además no existe la adherencia adecuada ni uniformidad apropiada.

El agregado grueso será constituido fundamentalmente por grava; piedra triturada, escoria de explosión, o bien de la combinación de las anteriores; el agregado proveniente de roca triturada puede tener partículas susceptibles a elementos alcalinos, al ataque de sulfatos y materia orgánica.

3.4.4.3. Características

3.4.4.3.1. ASTM C-29, peso unitario y porcentaje de vacíos

Este método cubre la determinación del peso unitario en una condición suelta o compacta, y calcula el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mixtos.

El contenido de vacíos puede usarse como un indicador de la eficiencia de la graduación, ya que en gran medida el porcentaje de vacíos está controlado por la graduación, textura y forma de las partículas. El peso unitario y el peso específico aparente, son factores importantes en el cálculo de diseño de mezclas de concreto.

3.4.4.3.2. ASTM C-33, especificación para agregado de concreto.

Esta norma define los requisitos necesarios de graduación y calidad de los agregados fino y grueso para uso en concreto. Especifica que de acuerdo a su tamaño, los agregados pueden ser clasificados como gruesos (partículas mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 38mm) y finos (partículas menores que 5mm) y deben cumplir ciertas características para su uso; consistente en partículas durables, resistentes y libres de productos químicos,

recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y adherencia de la pasta de cemento.

Tabla IV. Límites de granulometría para el agregado fino, ASTM C-33.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
3/8" (9.5 mm)	100%
núm. 4 (4.75 mm)	95% a 100%
núm.8 (2.36 mm)	80% a 100%
núm. 16 (1.18 mm)	50% a 85%
núm. 30 (600 µm)	25% a 60%
núm. 50 (300 µm)	10% a 30%
núm. 100 (150 µm)	2% a 10%

Tabla V. Límites de granulometría para el agregado grueso, ASTM C-33.

Nº	TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	
		4"	3½"	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	núm.4	núm.8	núm.16	
1	3½" a 1½" (90 a 37.5 mm)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	2½" a 1½" (63 a 37.5 mm)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	2" a 1" (50 a 25 mm)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	2" a núm.4 (50 a 4.75 mm)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	1½" a ¾" (37.5 a 19 mm)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	1½" a núm.4 (37.5 a 4.75 mm)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	1" a ½" (25 a 12.5mm)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	1" a ⅜" (25 a 9.5mm)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	1" a núm.4" (25 a 4.75mm)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	¾" a ⅜" (19 a 9.5mm)							100	90 a 10	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	3½" a 1½" (90 a 97.5mm)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	½" a núm.4" (12.5 a 4.75 mm)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	⅜" a núm.8" (9.5 a 97.5mm)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

3.4.4.3.3. ASTM C-117, porcentaje que pasa tamiz núm. 200

Este método cubre la determinación del porcentaje de material fino que pasa el tamiz núm. 200 (75µm), tales como: arcilla, agregados finos, y materiales solubles en el agua. Éstos materiales recubren los granos de los agregados formando una película que desmejora la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, lo cual afecta la resistencia mecánica del concreto.

Tabla VI. Límites del porcentaje que pasa el tamiz Núm.200.

PROPIEDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Material fino que pasa por el tamiz núm.200	3%* - 0.5%*	< 1% ⁺

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

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

3.4.4.3.4. ASTM C-127 y C-128, peso específico y absorción

El peso específico se define como la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por las partículas del material incluyendo los poros (saturados y no saturados). Se expresa en unidades de g/cm³.

El peso específico aparente es el más utilizado, ya que determina la cantidad de agregado en peso que se necesita para fabricar un metro cúbico de concreto. La mayoría de los agregados tiene un peso específico de 2.4-2.9g/cm³. En cálculos para mezclas de concretos, el peso específico empleado está dado generalmente para agregados pétreos de superficie seca en saturación; esto quiere decir que los poros están llenos de agua, pero sin que en la superficie haya un exceso de humedad.

La determinación de absorción en agregados es para poder controlar el contenido neto de agua del concreto y corregir los pesos acumulados de la mezcla.

El peso específico y la absorción, influyen directamente sobre el peso unitario, dureza, resistencia mecánica y en la durabilidad del concreto.

3.4.4.3.5. ASTM C-136, granulometría

El análisis granulométrico de una muestra de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Estas granulometrías se determinan haciendo pasar la muestra de agregados por una serie de tamices ordenados de mayor a menor abertura.

Hay factores importantes que se derivan de un análisis granulométrico como son:

- Para agregado fino
 - Módulo de finura (MF): es el índice de la finura del agregado, un indicador del grosor o la finura globales del agregado. El MF deberá de estar en el rango de 2.3 a 3.1.

- Para agregado grueso
 - Tamaño máximo (TM):
 - Tamaño máximo real: el tamaño máximo real corresponde a la dimensión del menor tamiz que deja pasar el 100% de la muestra ensayada.
 - Tamaño máximo nominal: el tamaño máximo nominal es la dimensión del tamiz inmediatamente superior al menor tamiz cuyo porcentaje acumulado es del 15% o más.

La granulometría de los agregados influye en las cantidades de agua-cemento en el concreto, debido a la variación en la superficie granular y al contenido de huecos. En el concreto endurecido influye en la resistencia a la compresión, tracción, desgaste, compacidad, impermeabilidad y módulo de elasticidad. Y en el concreto fresco influye en su consistencia y segregación.

3.4.4.3.6. ASTM C-131 y C-535, desgaste de agregado grueso.

Este método se refiere a un procedimiento de ensayo de agregado grueso de tamaño total inferior a 37.5mm (1½") para la resistencia a la degradación mediante el ensayo de la máquina de Los Ángeles. Un procedimiento para la realización de pruebas de agregado grueso total de más de 19.0mm (¾ ") está cubierto en la norma ASTM C-535.

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida según los medios de extracción y uso que estén especificados para las diferentes estructuras. Para carretera menor del 50% en peso o desgaste, y para concreto un 40%.

3.4.4.3.7. ASTM C-566, contenido de humedad en el agregado

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, por medio de secar tanto la humedad en la superficie como la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que esta químicamente combinada con los minerales del mismo. Dicha agua no es evaporable y no es incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

3.4.4.3.8. ASTM D-702, métodos de cuarteo

En los diferentes tipos y tamaños de agregados se requiere de una muestra representativa para los ensayos a realizarse. Este material tiene que ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se practique.

Este método establece los procedimientos manual y mecánico. Los mejores resultados se obtienen cuarteando el material con el separador mecánico

3.5. Control de calidad en estado fresco

3.5.1. ASTM C-143, asentamiento de Abrams

Este método de prueba cubre la determinación del asentamiento o revenimiento del concreto, tanto en laboratorio como en campo.

El propósito de la prueba es identificar la consistencia del concreto. Esta es una medida de fluidez o movilidad relativa de la mezcla de concreto. El asentamiento no mide el contenido de agua del concreto.

3.5.2. ASTM C-138, peso unitario

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario o densidad de una mezcla de concreto fresco y proporciona las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire del concreto.

Cabe mencionar que se entiende como rendimiento al volumen del concreto producido por una mezcla integrada por cantidades conocidas de materiales.

3.5.3. ASTM C-231, contenido de aire (método de presión)

Este método de ensayo abarca la determinación del contenido de aire en mezclas de concreto fresco. Tiene como fin, determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos de las partículas del agregado.

Se puede utilizar para determinar el contenido de aire de los concretos normal y pesado. Sin embargo, no se puede usar con agregados altamente porosos como los que se encuentran en el concreto ligero. Este método de prueba determinará la cantidad de vacíos de aire en el concreto.

3.5.4. ASTM C-403, velocidad de endurecimiento

Este método de ensayo determina el tiempo de endurecimiento del concreto, con un revenimiento mayor a cero, por medio de medidas de la resistencia a la penetración que presenta una muestra de mortero que es obtenida luego de tamizar una muestra representativa del concreto fresco.

3.5.5. ASTM C-1064, control de la temperatura

Este método de ensayo señala la determinación de la temperatura de una mezcla de concreto fresco, elaborado con Cemento Pórtland. Provee una manera para la medición de la temperatura del concreto fresco. Puede ser usado para verificar la conformidad de los requerimientos específicos para la temperatura del concreto.

3.6. Control de calidad estado endurecido

3.6.1. ASTM C-39, resistencia a la compresión

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como moldes cilíndricos y testigos perforados.

Los resultados de este método pueden ser usados como base para un control de calidad de la proporción del concreto, su resistencia a la compresión, mezclas y lugar de operación.

3.6.2. ASTM C-234, adherencia concreto-acero de refuerzo

Este método de ensayo se refiere a la comparación de concretos según su adherencia con acero de refuerzo. Este método de ensayo no está destinado para uso en pruebas en las que la principal variable es el tamaño o tipo de varillas de refuerzo ni para establecer los valores de adherencia con propósitos de diseño estructural.

3.6.3. ASTM C-293, resistencia a la flexión

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la flexión de especímenes de concreto por medio del uso de una viga simple con un punto de carga en el centro.

3.6.4. ASTM C-469, módulo de elasticidad del concreto

Este método de ensayo cubre la determinación del módulo de elasticidad (Módulo de Young) de moldes cilíndricos de concreto y núcleos perforados de concreto cuando se encuentran bajo fuerzas compresivas longitudinales. Este método proporciona un esfuerzo para un valor de radio de deformación y un radio de deformación lateral y longitudinal para concreto endurecido en cualquier edad y condiciones de curado designadas.

3.7. Concreto ligero

3.7.1. Definición

- Se denomina concreto ligero a todo aquel que tiene un peso volumétrico fresco entre $1,500 \text{ kg/m}^3$ y $1,920 \text{ kg/m}^3$. (6)

3.7.2. Características

- Bajo peso. Permite disminuir el peso en estructuras y cargas a la cimentación.
- Excelente trabajabilidad, fraguado uniforme y controlado.
- Facilidad para trabajarlo una vez fraguado.
- Excelente aislamiento térmico y acústico.
- Mayor resistencia al fuego que el concreto convencional.

3.7.3. Materiales

El concreto ligero se compone de: cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, y en ocasiones, aditivos especiales.

Los agregados utilizados en la elaboración de concreto ligero, se caracterizan por su alta porosidad y bajo peso específico, por su origen se clasifican en dos grupos: naturales y artificiales.

- Agregados naturales:
 - Agregados de origen volcánico, entre los más usados se tienen los siguientes: pómez, tezontle, escorias, cenizas volcánicas y diatomita.

- Agregados artificiales:
 - Agregados producidos por la aplicación de calor a fin de expandir la arcilla, la pizarra, el esquisto y la pizarra diatomácea, la perlita, la obsidiana y la vermiculita.
 - Agregados que se obtienen mediante un proceso de enfriamiento, gracias al cual se logra una expansión de escorias de alto horno.
 - Cenizas industriales.
 - Agregados que provienen de algunos DSC.

La dosificación de los materiales también cambia en un concreto ligero; ya que se hacen ajustes para conseguir una resistencia permisible en el concreto.

3.7.4. Tipos

- Por su peso volumétrico y resistencia a compresión:
 - Concreto ligero estructural
 - Peso volumétrico seco de 1,400 a 1,850 kg/m³.
 - Resistencia a compresión mayor o igual a 175 kg/cm².
 - Concreto ligero de resistencia moderada
 - Peso volumétrico seco de 800 a 1,400 kg/m³.
 - Resistencia a compresión de 70 a 175 kg/cm².
 - Concreto ligero aislante
 - Peso volumétrico seco de 300 a 800 kg/m³.
 - Resistencia a compresión menor de 70 kg/cm².

- Por el origen de sus componentes:
 - Concretos ligeros naturales: en estos, el peso, la resistencia y el aislamiento dependen de la porosidad del agregado y de la cantidad de cemento. La reducción de peso tiene un límite, impuesto por la resistencia mínima que debe exigirse al material con un consumo moderado de conglomerante. El tamaño más adecuado del agregado se determina de acuerdo con el elemento que se fabrica. Los concretos ligeros naturales más frecuentemente empleados son:
 - concreto de piedra pómez
 - concreto de lava
 - concreto de escorias
 - Concretos ligeros artificiales: entre ellos se distinguen el concreto celular, el esponjoso y el de virutas.

3.7.5. Aplicaciones

El concreto ligero es ideal para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren de ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales; para la construcción de viviendas con características de aislamiento térmico.

Frecuentemente es utilizado para rellenos en los que no se requiere alta resistencia a la compresión; también para elementos prefabricados con los que luego se construyen paredes, tabiques y techos.

Los elementos para los cuales es más apropiado utilizar el concreto ligero incluyen, entre otros:

- construcción de vivienda tipo monolítica
- cines
- auditorios
- teatros
- muros divisorios
- capas de nivelación de losas y pisos
- rellenos para nivelar y como aislante

4. PLANTA MONOLIT AMATITLÁN

4.1. Generalidades

MONOLIT es una industria de prefabricados de concreto y acero, con estrictas normas de fabricación y un exigente control de calidad. En Guatemala los sistemas de producción que utilizan están aprobados por el FHA y el CII, en El Salvador, por D.U.A., Sistemas Financieros y OPAMSS.

4.2. Ubicación

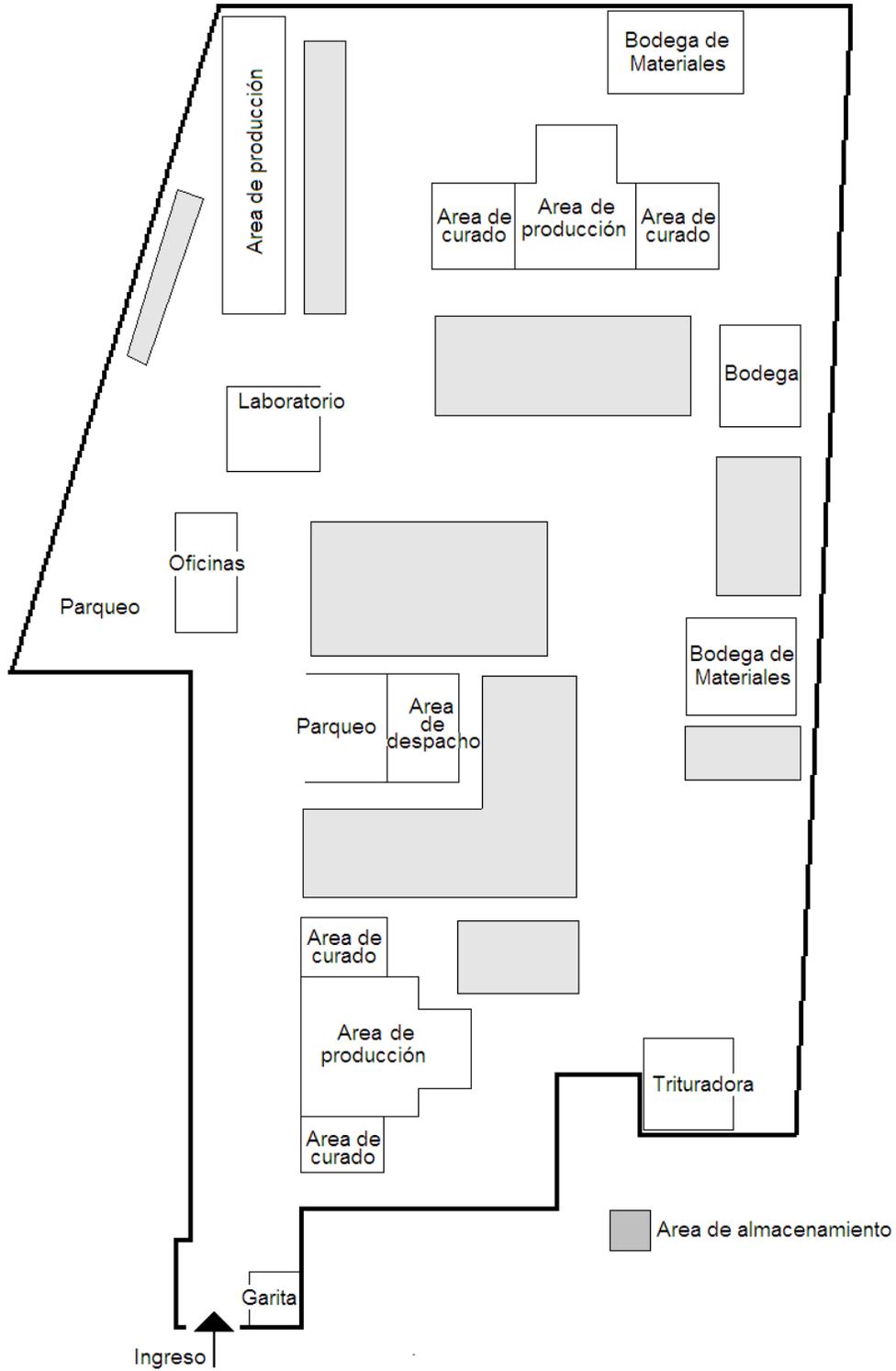
La Planta de Prefabricados MONOLIT, Amatitlán se encuentra en el Km. 30, de la carretera CA-9, en la jurisdicción del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala.

4.3. Descripción de la planta

La planta MONOLIT Amatitlán cuenta con las siguientes áreas de trabajo (Ver Figura 1):

- oficinas administrativas
- laboratorio de control de calidad
- despacho
- producción
- curado
- bodega
- almacenamiento
- trituradora

Figura 1. Planta MONOLIT Amatitlán.



4.4. Producción

Tabla VII. Producción. Planta MONOLIT Amatitián.

Producto	Proceso			Volumen de Producción	Volumen de desecho	Composición DS	Gestión DS	
	Manual	Automático	Curado				Reciclaje	Otro
Viguetas peralte 10 cm, 15 cm y 20 cm; de longitud desde 1.3 m hasta 4.2 m.	X		Ambiente	32 metros lineales / día	<1%	Duroport, hierro		X
Bovedillas de pómez, de 10 cm y 15 cm		X	Ambiente	Se fabrican 95,000 unidades / día de distintos tipos,	1% - 2%	Concreto de distintas resistencias y propiedades	X	
Blocks de 25 y 35 kg/cm ²		X	V a p o r	dependiendo las necesidades de producción	3% - 4.5%		X	
Blocks de 60 y 70 kg/cm ²		X	V a p o r		1% - 1.5%		X	
Ala block y bloques de alta resistencia para muros de		X	V a p o r		<1%		X	
Adoquines de distinto diseños y colores		X	V a p o r		1% - 1.5%		X	
Electropaneles de 5.6cm	X		Ambiente	100 unidades/día	<1%	Electromalla, duroport		X
Bardas perimetrales	X		Ambiente	Dependiendo pedidos	<1%	Hierro		X
Postes perimetrales de concreto	X		Ambiente	Dependiendo pedidos	<1%	Hierro		X

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Caracterización de los materiales

5.1.1. Resultados

5.1.1.1. Cemento

Se utilizó cemento tipo Pórtland con puzolanas para uso general de 4,000 PSI, marca Cementos Progreso, que cumple con los requisitos de la norma para cementos hidráulicos ASTM C-1157.

5.1.1.2. Agregado fino

Se utilizó agregado natural de mina, procedente de la planta de AGREGUA Amatitlán. Se realizaron los ensayos correspondientes. (Ver Tabla VIII.)

Tabla VIII. Caracterización de agregado fino.

ENSAYO	RESULTADO
Peso unitario volumétrico compactado (kg/m^3)	1,410.70
Peso unitario volumétrico suelto (kg/m^3)	1,312.60
Porcentaje de material que pasa el tamiz núm. 200 (%)	3.90
Peso específico (g/cm^3)	2.53
Porcentaje de absorción (%)	6.57
Modulo de finura	2.70
Granulometría	Adecuada

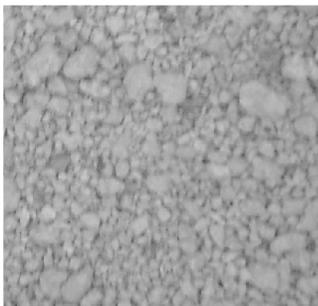
5.1.1.3. Agregado grueso

Se utilizaron tres tipos de agregado grueso:

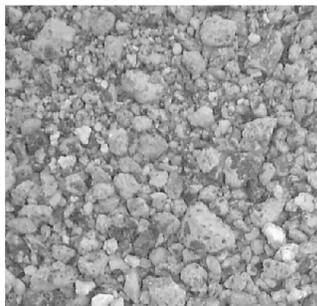
- Agregado reciclado de block (**ARB**): procedente de los desechos generados en la producción de block liviano de pómez para uso general (25 y 35 kg/cm²) y bovedilla.
- Agregado reciclado de concreto (**ARC**): procedente de los desechos generados en la producción de block de concreto de alta resistencia a la compresión (50 y 70 kg/cm²).
- Agregado natural (**AN**): piedrín de uso común de la planta de AGREGUA Amatitlán (Ver Figura 2).

El muestreo de los agregados reciclados se realizó en la planta MONOLIT Amatitlán. Para los tres tipos de agregado grueso se determinó un tamaño máximo nominal de 3/8". El material reciclado se trituró en una máquina especial instalada en la planta, luego se almacenó en sacos y junto con el agregado natural se trasladó al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para los ensayos correspondientes. (Ver Tabla IX.)

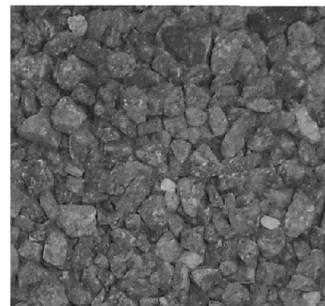
Figura 2. Agregado grueso utilizado.



AGREGADO REICLADO DE BLOCK
ARB



AGREGADO REICLADO DE CONCRETO
ARC



AGREGADO NATURAL
AN

Tabla IX. Caracterización del agregado grueso.

ENSAYO \ MATERIAL	ARB	ARC	AN
Peso unitario (kg/m ³)	898.71	1,414.00	1,572.38
Peso unitario suelto (kg/m ³)	837.19	1,320.67	1,524.67
Porcentaje de vacíos (%)	44.18	37.71	38.10
Porcentaje que pasa el tamiz núm.200 (%)	12.65	4.52	0.3
Peso específico	1.61	2.27	2.54
Porcentaje de absorción (%)	23.31	6.8	0.51
Modulo de finura	3.35	3.63	4.85
Porcentaje de desgaste por abrasión (%)	39.93	26.68	18.86
Contenido de humedad (%)	5.53	2.66	0.38
Granulometría	No adecuada	No adecuada	Adecuada

Tabla X. Granulometría del agregado grueso.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (%)		
	ARB	ARC	AN
1 1/2" (38.1 mm)	100.00	100.00	100.00
1" (25.4 mm)	100.00	100.00	100.00
3/4" (19 mm)	100.00	100.00	100.00
1/2" (12.7 mm)	100.00	100.00	99.79
3/8" (9.5 mm)	98.04	97.07	86.05
núm.4 (0.38 mm)	77.30	76.23	19.39

Figura 3. Gráfica granulometría ARB.

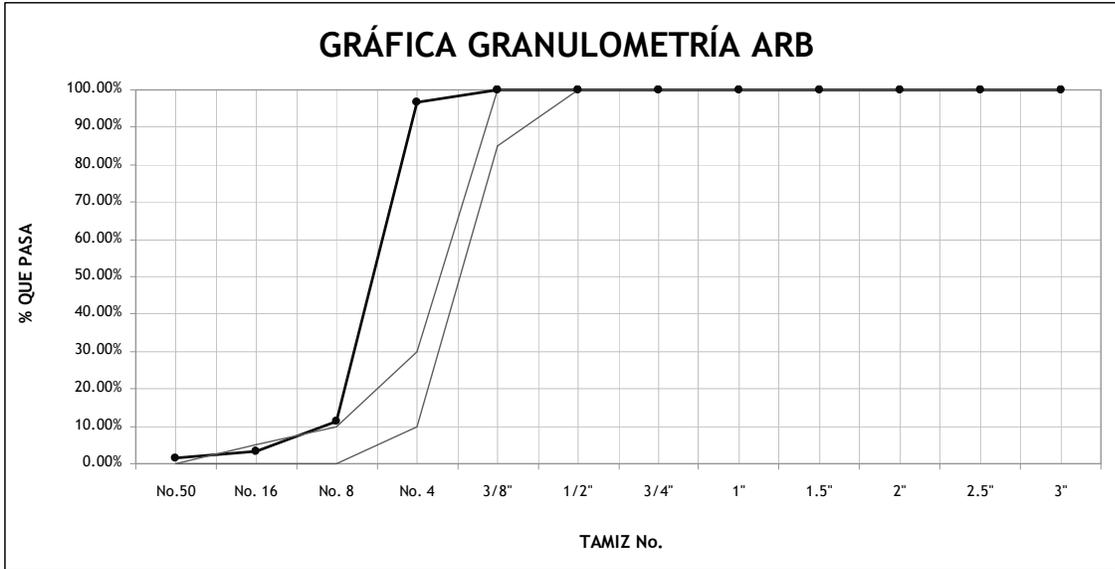


Figura 4. Gráfica granulometría ARC.

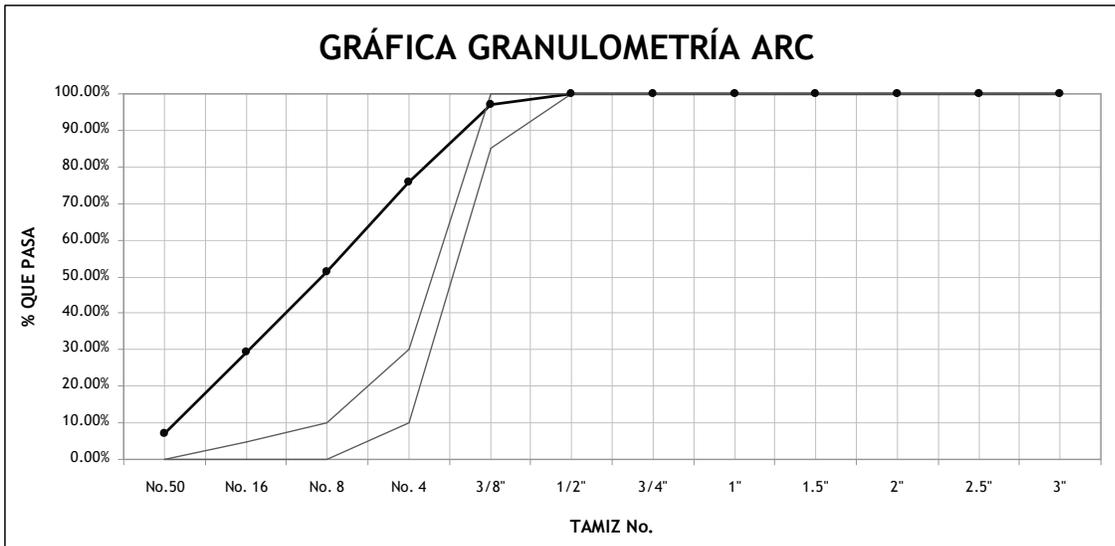
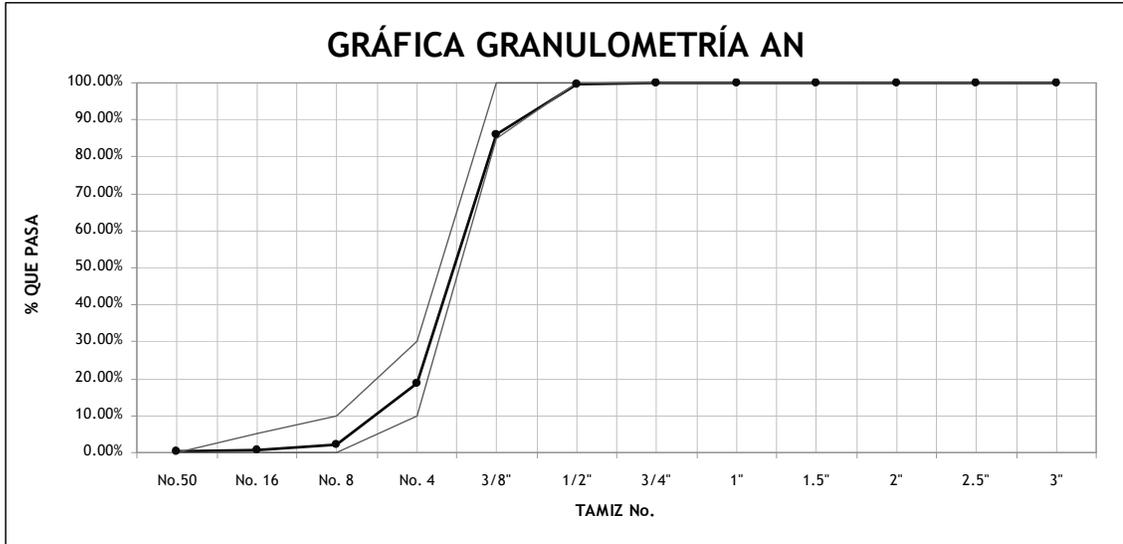


Figura 5. Gráfica granulometría AN.



5.2. Elaboración y evaluación de concretos

Los concretos fueron elaborados y evaluados en el laboratorio de agregados, cementos y concreto del Centro Tecnológico de Cementos Progreso, siguiendo procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables. (Capítulo 3)

5.2.1. Diseño de mezclas

Se elaboraron cuatro distintos concretos:

- **C-ARB**: concreto con agregado reciclado de block (ARB).
- **CMC1**: concreto Mezcla Control 1, con agregado natural (AN).
- **C-ARC**: concreto con agregado reciclado de concreto (ARC).
- **CMC2**: Concreto Mezcla Control 2, con agregado natural (AN).

Para todas las mezclas se utilizó cemento de uso general en la construcción (UGC) marca Cementos Progreso y arena de río. El diseño se hizo mediante el método ACI, obteniendo datos de proporción en peso. (Ver Tabla XI.)

Tabla XI. Diseño de Mezclas de concreto.

CONCRETO PROPIEDAD	C-ARB	CMC1	C-ARC	CMC2
f'c esperado (kg/cm²)	150.0	150.0	210.0	210.0
Asentamiento deseado (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Tamaño máximo del agregado (mm)	9.52	9.52	9.52	9.52
Relación a-c	0.69	0.69	0.55	0.55
Cantidad de agua (l/m³)	240.0	240.0	240.0	240.0
Cantidad de cemento (kg/m³)	347.0	347.0	433.0	433.0
Cantidad de agregado fino (kg/m³)	937.0	839.0	792.0	770.0
Cantidad de agregado grueso (kg/m³)	401.85	731.84	633.92	731.84
Contenido de aire (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
Proporción en peso	1:2.7:1.2	1:2.4:2.1	1:1.8:1.5	1:1.8:1.7

Figura 6. Gráfica dosificación de concretos.

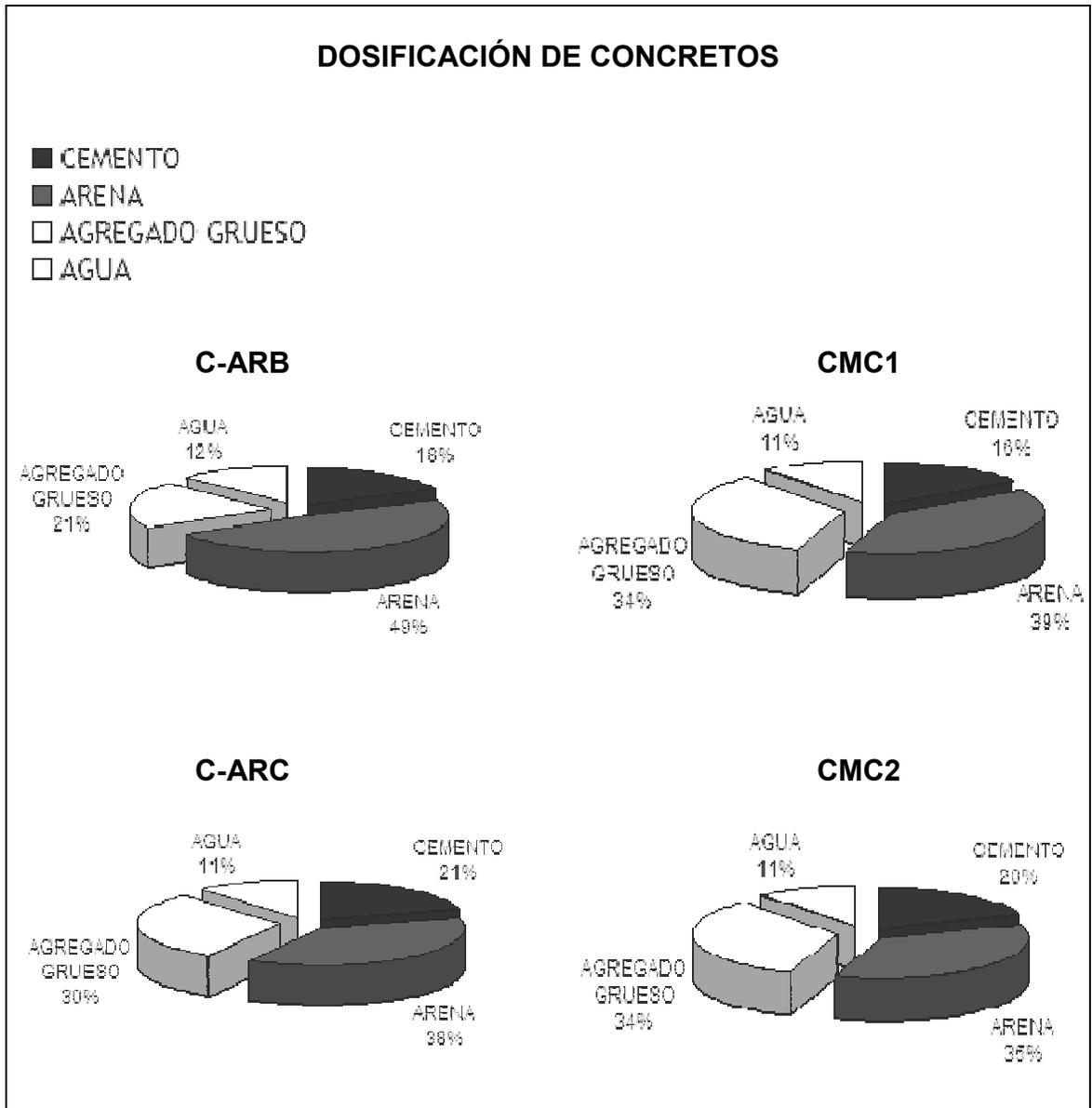
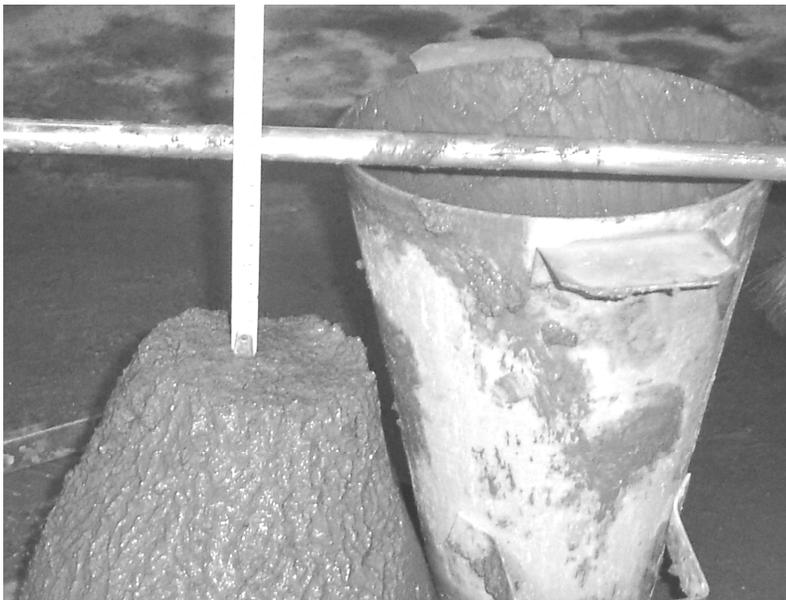


Figura 7. Elaboración de concretos.



Figura 8. Ensayo de asentamiento.



5.2.2. Resultados

5.2.2.1. Estado fresco

Tabla XII. Resultados concretos estado fresco.

CONCRETO		CMC1	C-ARB	CMC2	C-ARC
		CMC1	C-ARB	CMC2	C-ARC
ENSAYO					
Asentamiento (cm)		10.79	10.16	10.47	10.79
Masa Unitaria (kg/m ³)		2,154.7	1,881.8	2,191.4	2,045.8
Contenido de aire (%)		2.0	5.0	2.6	3.3
Temperatura Concreto (°C)		22.5	22.0	22.0	21.0
Temperatura Ambiente (°C)		24.0	24.0	24.0	24.0
Relación A/C		0.60	0.69	0.55	0.59
Velocidad de endurecimiento (min)	Tiempo inicial (= 35.0 kg/cm ²)	270.0	280.0	250.0	220.0
	Tiempo final (= 280.0 kg/cm ²)	575.0	610.0	490.0	515.0

Figura 9. Gráfica velocidad de endurecimiento C-ARB y CMC1

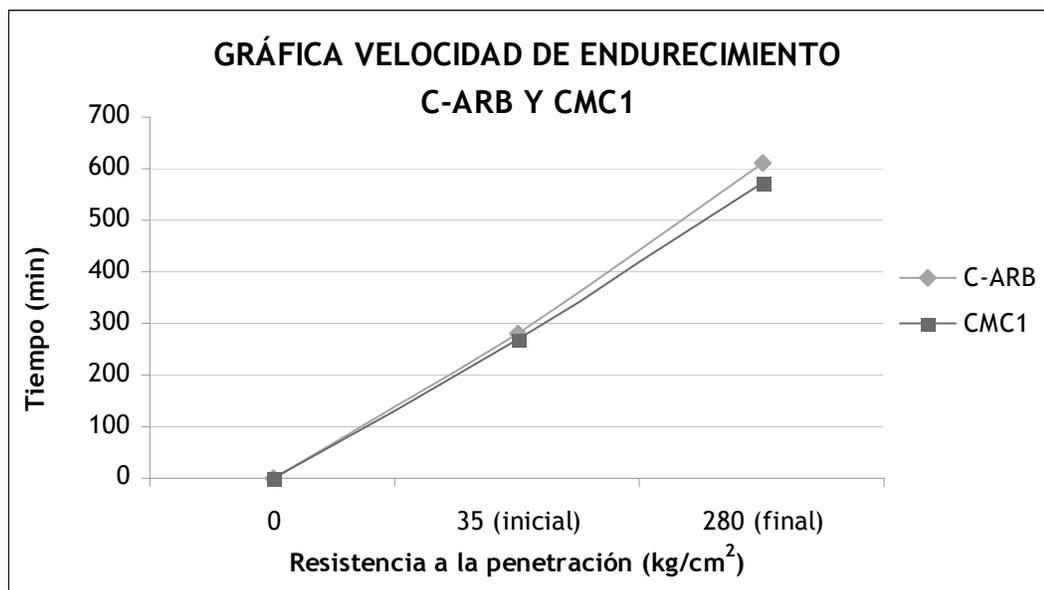
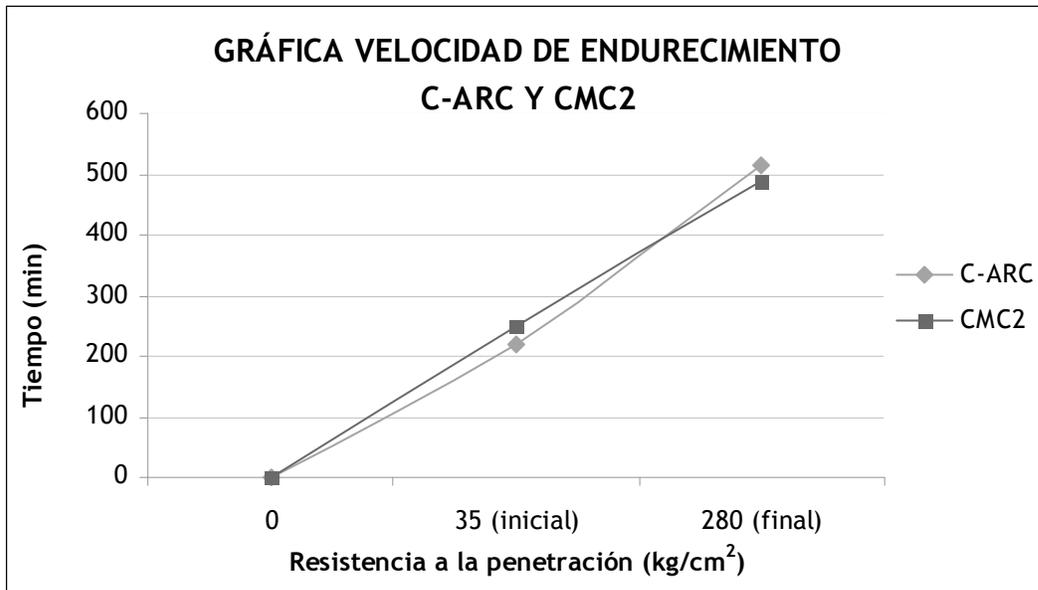


Figura 10. Gráfica velocidad de endurecimiento C-ARC y CMC2



5.2.2.2. Estado endurecido

5.2.2.2.1. Resistencia a la compresión

Tabla XIII. Resultados de resistencia a la compresión.

ENSAYO	EDAD (días)	TIPO DE CONCRETO			
		C-ARB	CMC1	C-ARC	CMC2
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	1	14.0	29.2	45.0	92.5
	3	24.8	70.8	50.9	101.8
	7	47.7	114.47	80.0	150.2
	14	74.5	161.6	117.0	190.1
	28	119.5	184.6	170.6	253.9
	56	151.6	211.7	206.1	299.5

Figura 11. Especímenes, cilindros para ensayo a compresión



5.2.2.2. Resistencia a la flexión

Figura 12. Ensayo de vigas para resistencia a la flexión.



Tabla XIV. Resultados de resistencia a la flexión.

ENSAYO	EDAD (días)	TIPO DE CONCRETO			
		C-ARC	CMC1	C-ARC	CMC2
Módulo de rotura (kg/cm ²)	7	17.0	23.0	23.0	26.0
	28	23.0	37.5	39.5	42.5

5.2.2.2.3. Módulo de elasticidad

Se tomaron lecturas de acuerdo a la resistencia de cada concreto, la deformación se midió en el sentido transversal de la probeta (4"x8").

Tabla XV. Resultados módulo de elasticidad C-ARB.

Cálculo del módulo de elasticidad					
Tipo de concreto	Fuerza (lb)	Esfuerzo (PSI)	Deformación (mm*10 ⁻²)	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad (PSI)
C-ARB	0	0	0	0	84,955.61
	1,500.0	119.43	11	1.08E-03	
	3,000.0	238.85	22	2.17E-03	
	4,500.0	358.28	35	3.44E-03	
	6,000.0	477.71	48	4.72E-03	
	7,500.0	597.13	62	6.10E-03	
	9,000.0 (40 % f'c)	716.56	78	7.68E-03	
	Carga máxima f'c 22,500.0				

Tabla XVI. Resultados módulo de elasticidad CMC1.

Cálculo del módulo de elasticidad					
Tipo de concreto	Fuerza (lb)	Esfuerzo (PSI)	Deformación (mm*10 ⁻²)	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad (PSI)
CMC1	0	0	0	0	206,762.20
	3,000.0	238.85	10	9.84E-04	
	6,000.0	477.71	21	2.07E-03	
	9,000.0	716.56	33	3.25E-03	
	12,000.0	955.41	45	4.43E-03	
	13,000.0 (40 % f'c)	1,035.03	49	4.82E-03	
	15,000.0	1,194.27	57	5.61E-03	
	Carga máxima f'c 32,500.0				

Figura 13. Gráfica módulo de elasticidad C-ARB y CMC1.

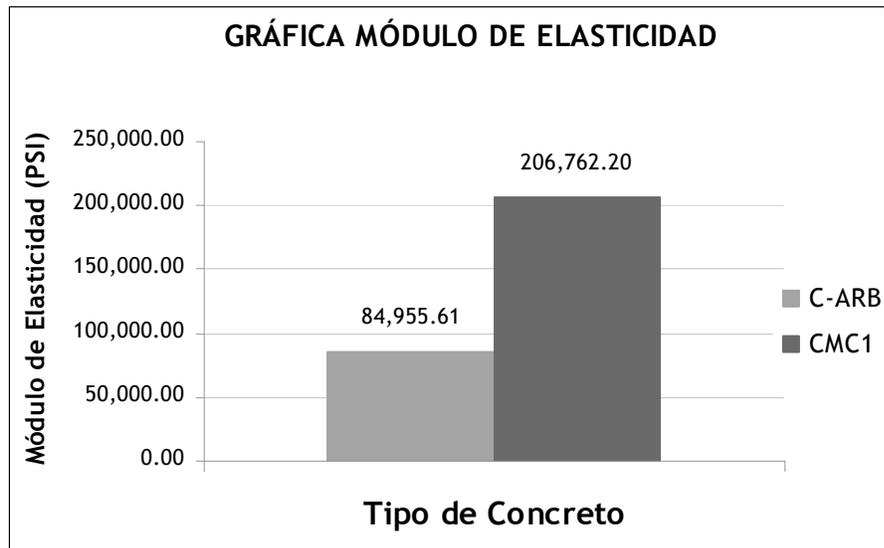


Figura 14. Ensayo de módulo de elasticidad.

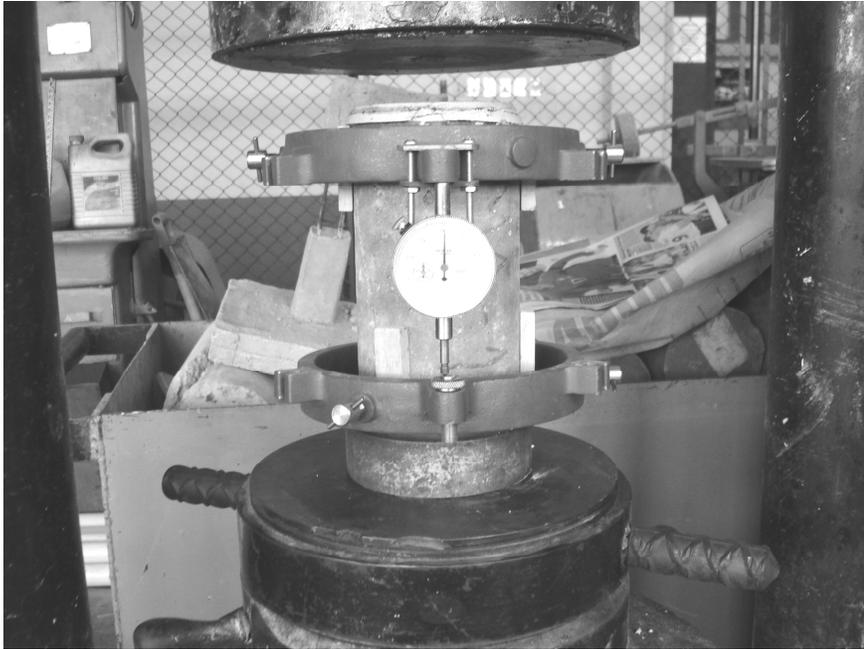


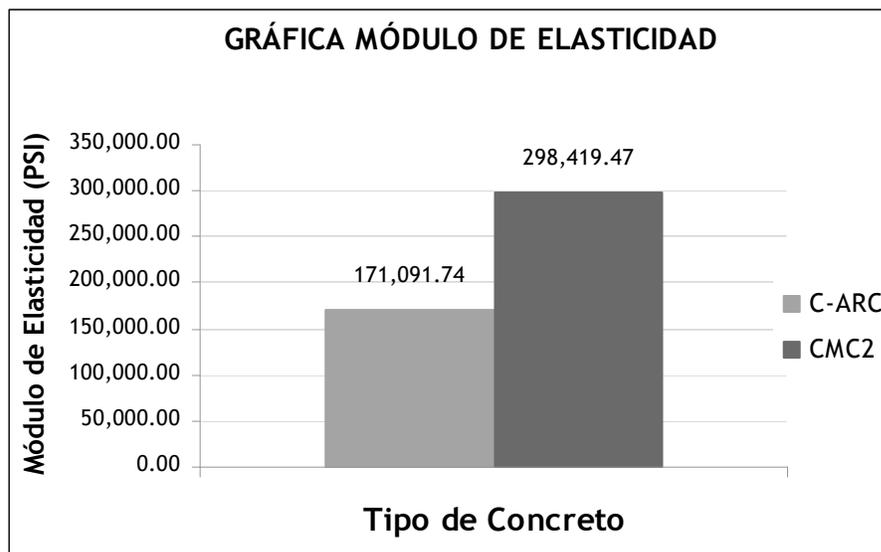
Tabla XVII. Resultados módulo de elasticidad C-ARC.

Cálculo del módulo de elasticidad					
Tipo de concreto	Fuerza (lb)	Esfuerzo (PSI)	Deformación (mm*10⁻²)	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad (PSI)
C-ARC	0	-	0	0.00E+00	171,091.74
	2,000.0	159.24	8	7.87E-04	
	4,000.0	318.47	15	1.48E-03	
	6,000.0	477.71	24	2.36E-03	
	8,000.0	636.94	34	3.35E-03	
	10,000.0	796.18	45	4.43E-03	
	10,800.0 (40 % f'c)	859.87	49	4.82E-03	
	12,000.0	955.41	55	5.41E-03	
	Carga máxima f'c 27,000.0				

Tabla XVIII. Resultados módulo de elasticidad CMC2.

Cálculo del módulo de elasticidad					
Tipo de concreto	Fuerza (lb)	Esfuerzo (PSI)	Deformación (mm*10⁻²)	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad (PSI)
CMC2	0	-	0	0	298,419.47
	3,000.0	238.85	5	0.00E+00	
	6,000.0	477.71	12	4.92E-04	
	9,000.0	716.56	20	1.18E-03	
	12,000.0	955.41	26	1.97E-03	
	15,000.0	1,194.27	34	2.56E-03	
	16,000.0 (40 % f'c)	1,273.89	41	3.35E-03	
	18,000.0	1,433.12	43	4.04E-03	
	Carga máxima f'c 40,000.0				

Figura 15. Gráfica módulo de elasticidad C-ARC y CMC2.



5.2.2.2.4. Fuerza de adherencia concreto-varilla de refuerzo

Tabla XIX. Resultados fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARB y CMC1.

Resultados ensayo adherencia concreto-acero de refuerzo			
Tipo de concreto	Tipo de falla	Valor carga de adherencia (kgf)	
		Resultado	Promedio
CMC1	Adherencia	2,400.0	2,500.0
	Adherencia	2,600.0	
	Adherencia	2,500.0	
C-ARB	Adherencia	1,650.0	1,780.0
	Adherencia	1,650.0	
	Adherencia	2,040.0	

Figura 16. Gráfica fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARB y CMC1.

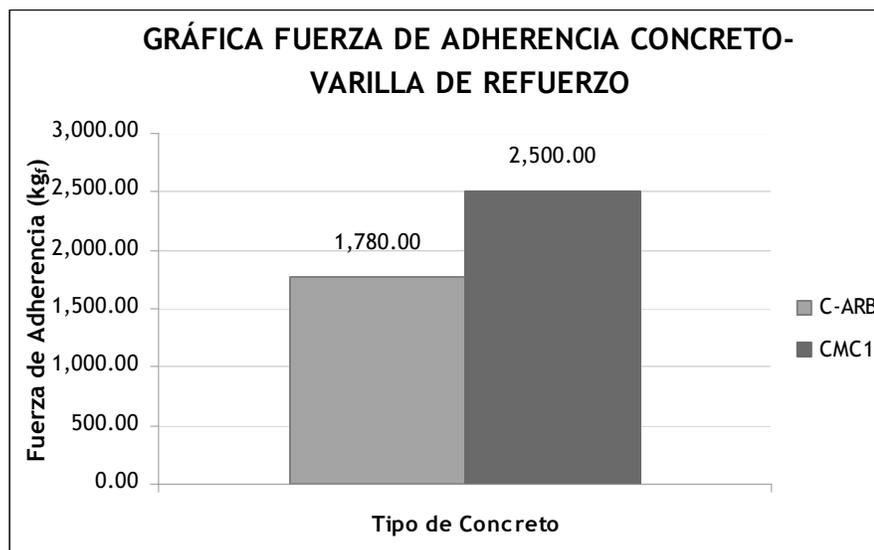


Tabla XX. Resultados fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARC y CMC2.

Resultados ensayo adherencia concreto-acero de refuerzo			
Tipo de concreto	Tipo de falla	Valor carga de adherencia (kg_f)	
		Resultado	Promedio
CMC2	Adherencia	2,850.0	2,450.0
	Adherencia	2,500.0	
	Adherencia	2,000.0	
C-ARC	Adherencia	2,696.0	2,599.0
	Adherencia	2,600.0	
	Adherencia	2,500.0	

Figura 17. Gráfica fuerza de adherencia concreto-varilla C-ARC y CMC2.

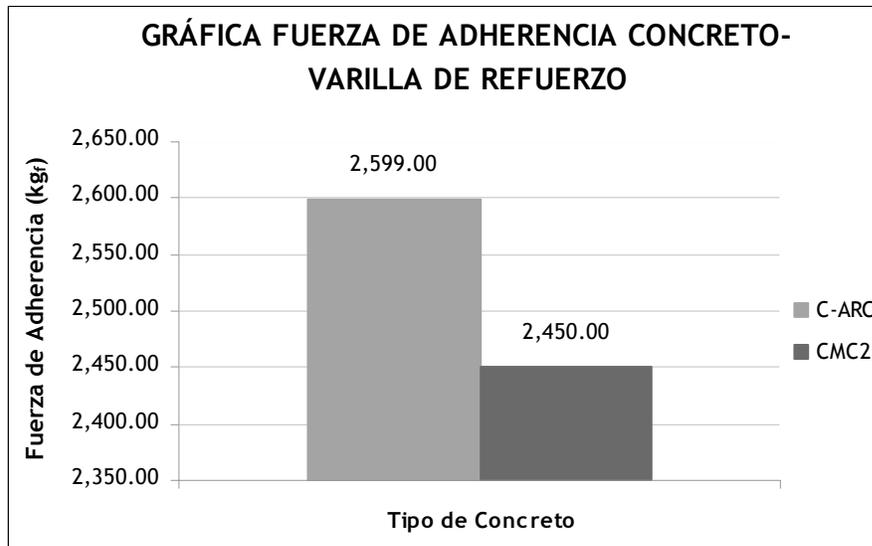


Figura 18. Tipo de falla ensayo de adherencia concreto-varilla.



6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Materiales

6.1.1. Agregado fino

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera adecuada para elaborar mezclas de concreto.

6.1.2. Agregado grueso

6.1.2.1. Peso unitario y porcentaje de vacíos

De acuerdo a los resultados obtenidos, los valores del peso unitario suelto **AN**(1,524.67 kg/m³) > **ARC**(1,320.67 kg/m³) > **ARB**(837.19 kg/m³); **ARB** no cumple con lo indicado en la norma. Los valores del porcentaje de vacíos **ARB**(44.18%) > **AN**(38.10%) > **ARC**(37.71%), los tres se encuentran dentro del intervalo especificado (30-50% de vacíos).

Figura 19. Gráfica peso unitario suelto de los agregados.

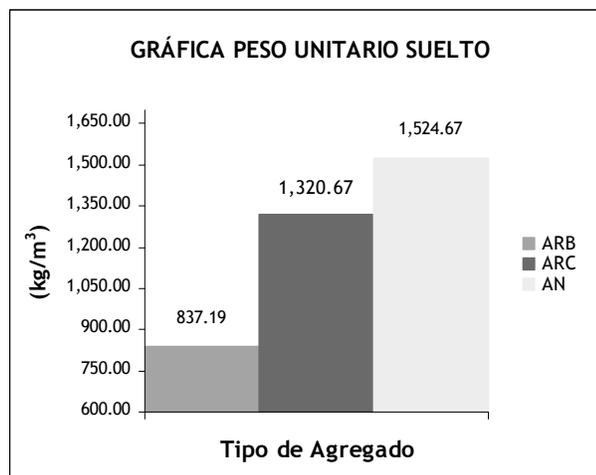
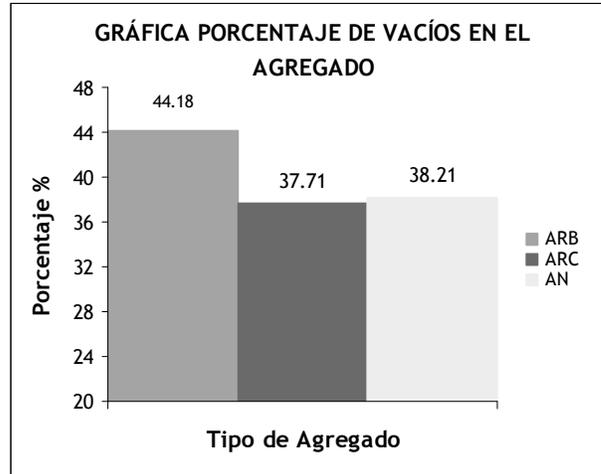


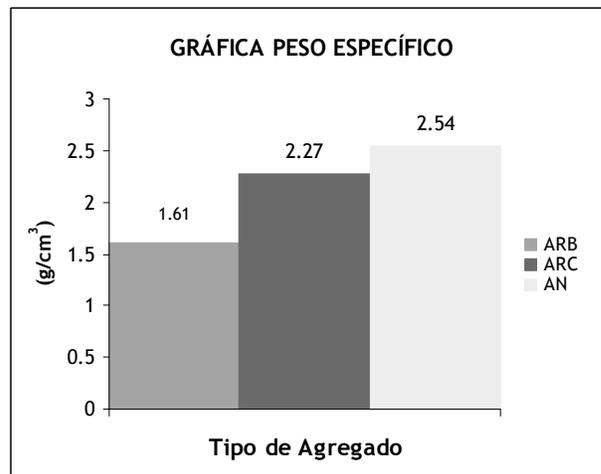
Figura 20. Gráfica porcentaje de vacíos en el agregado.



6.1.2.2. Peso específico y porcentaje de absorción

De acuerdo a los resultados obtenidos, los valores del peso específico **ARB**(1.6) < **ARC**(2.27) < **ARB**(2.54), **ARB** no cumple con lo indicado en la norma. Los valores del porcentaje de absorción **ARB**(23.3%) > **ARC**(6.8%) > **AN**(0.5%), para **ARB** y **ARC** se deben de considerar los resultados dentro del diseño de mezclas de concreto.

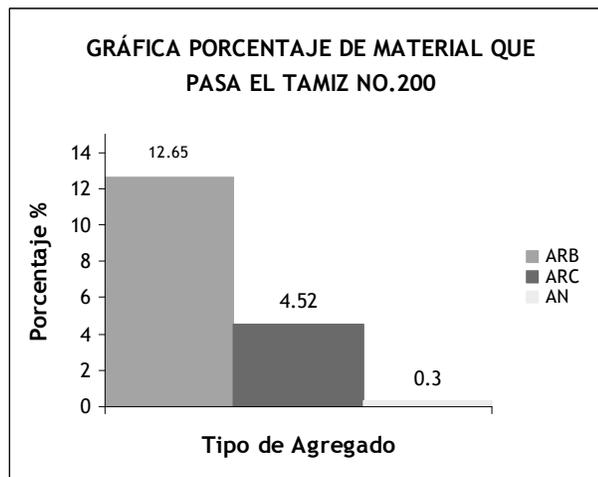
Figura 21. Gráfica peso específico de los agregados.



6.1.2.3. Porcentaje de material que pasa tamiz Núm.200

De acuerdo a los resultados obtenidos, **ARB**(12.65%) > **ARC**(4.52%) > **AN**(0.3%), **ARB** y **ARC** no cumplen con la especificación (límite 1.5% para agregados gruesos triturados), **ARB** no cumple la especificación para agregado fino (límite 5% para agregados finos triturados), para **ARB** y **ARC** se deben de considerar los resultados dentro del diseño de mezclas de concreto.

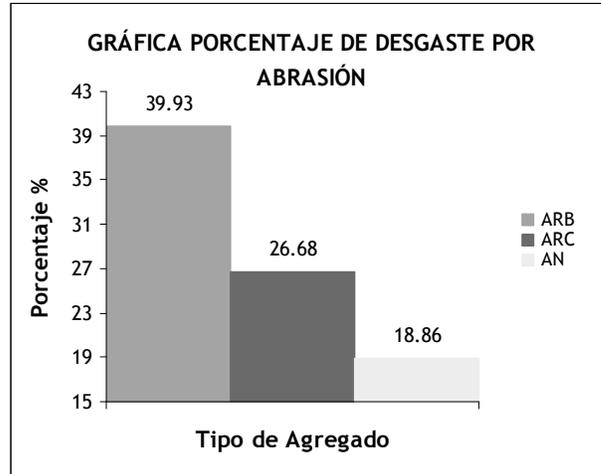
Figura 22. Gráfica porcentaje que pasa el tamiz Núm. 200.



6.1.2.4. Porcentaje de desgaste por abrasión

De acuerdo a los resultados obtenidos, **ARB**(39.93%) > **ARC**(26.68%) > **AN**(18.86%), **ARB** no cumple con la especificación para agregados sujetos a abrasión, (desgaste máximo 35% para concreto sujeto a abrasión, 50% demás concretos). Esto puede influir en su durabilidad y desempeño para ciertas aplicaciones.

Figura 23. Gráfica porcentaje de desgaste por abrasión.



6.1.2.5. Granulometría y módulo de finura

De acuerdo a los resultados obtenidos, los valores del módulo de finura **AN**(4.85) > **ARC**(3.63) > **ARB**(3.35), es el índice de la finura del agregado, un indicador del grosor o la finura global del mismo, menor módulo de finura puede requerir mayor cantidad de agua, hay que considerar la distribución de tamaño por tamiz en la granulometría. La granulometría de **AN** es adecuada para su uso en mezclas de concreto, para **ARB** y **ARC** no se consideran adecuadas, para un mejor desempeño habría que ajustarlas de acuerdo a lo indicado en la especificación aplicable.

6.2. Concretos

Para la dosificación, mezclado y curado de las mezclas de concreto se siguieron los mismos procedimientos. Las proporciones utilizadas fueron en peso.

6.2.1. Estado fresco

6.2.1.1. Asentamiento

Todas las mezclas estuvieron dentro del rango esperado (10.2 ± 2.5 cm), **CMC1**(10.8), **C-ARB**(10.2), **CMC2**(10.5), **C-ARC**(10.8), respectivamente.

6.2.1.2. Contenido de aire

De acuerdo a los resultados obtenidos, **CMC1**(2%) < **C-ARB**(5%), **CMC2**(2.6%) < **C-ARC**(3.3%) respectivamente, esto es debido al origen y composición de cada agregado.

6.2.1.3. Masa unitaria

De acuerdo a los resultados obtenidos, **CMC1**($2,154.8\text{kg/m}^3$) > **C-ARB**($1,881.8\text{kg/m}^3$), **CMC2**($2,191.4\text{kg/m}^3$) > **C-ARC**($2,045.8\text{kg/m}^3$) respectivamente, debido al origen y composición de cada agregado.

Figura 24. Gráfica masa unitaria del concreto C-ARB y CMC1.

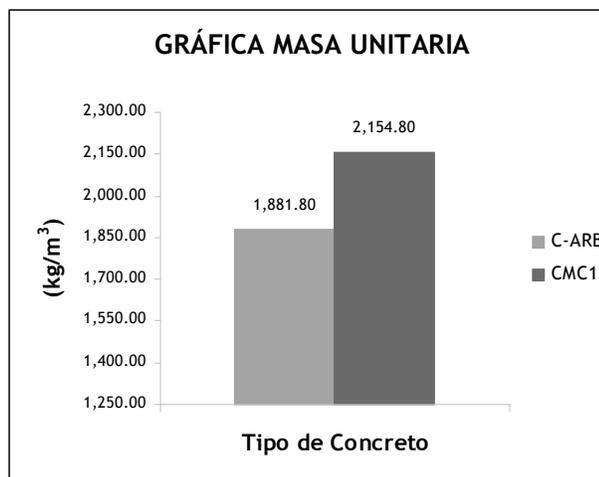
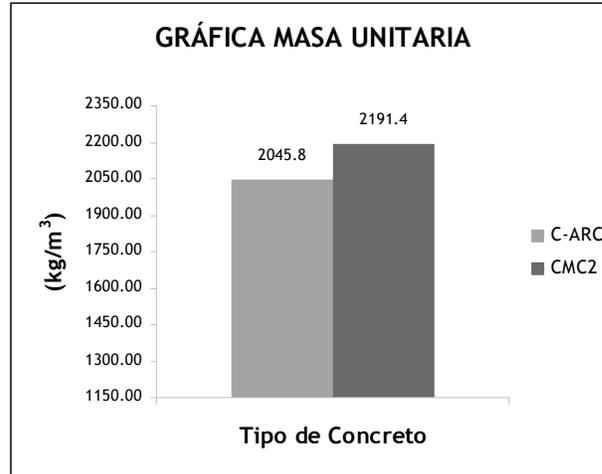


Figura 25. Gráfica masa unitaria del concreto C-ARC y CMC2.



6.2.1.4. Temperatura

Este parámetro no se ve afectado por el tipo de agregado utilizado en la mezcla, **CMC1**(22.5 °C), **C-ARB**(22.0 °C), **CMC2**(22.0 °C) y **C-ARC**(21.0°C) respectivamente, a una temperatura ambiente de 24°C.

6.2.1.5. Velocidad de endurecimiento

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tiempos de velocidad de endurecimiento inicial y final, **CMC1**(270, 575 min) y **C-ARB**(280, 610 min), **CMC2**(250, 490 min) y **C-ARC**(220, 515 min) respectivamente. Las diferencias entre ellos son mínimas, debido al origen y composición de cada agregado (los concretos con agregados reciclados tienen tiempo final mayores que las mezclas de control).

6.2.1.6. Relación a-c

De acuerdo a los resultados obtenidos, **CMC1**(60.0%) < **C-ARB**(69.0%), **CMC2**(55.0%) < **C-ARC**(59.0%) respectivamente, debido a las características de físicas y mecánicas de cada agregado (los concretos con agregados reciclados tienen mayor relación a-c).

6.2.2. Estado endurecido

6.2.2.1. Resistencia a compresión

De acuerdo a los resultados obtenidos el desarrollo de resistencia con respecto al tiempo fue el esperado en todos los concretos (a mayor edad, mayor resistencia), $f'c$ **CMC1** > $f'c$ **C-ARB** y $f'c$ **CMC2** > $f'c$ **C-ARC** para todas las edades.

Para el diseño de las mezclas **CMC1** y **C-ARB** se utilizó un valor de $f'c$ a 28 días de 150.0 kg/cm², con los siguientes valores **CMC1** (184.6kg/cm²) > **C-ARB** (119.5kg/cm²).

Para el diseño de las mezclas **CMC2** y **C-ARC** se utilizó un valor de $f'c$ a 28 días de 210.0 kg/cm², con los siguientes valores **CMC2** (253.9kg/cm²) > **C-ARC** (170.6kg/cm²), solo **CMC1** y **CMC2** alcanzaron el $f'c$ de diseño a los 28 días. **C-ARB** y **C-ARC** alcanzaron este valor a los 56 días, debido al origen y composición de cada agregado y mezcla de concreto.

6.2.2.2. Resistencia a flexión

De acuerdo a los resultados obtenidos el desarrollo de resistencia fue el esperado con el tiempo para todos los concretos (a mayor edad, mayor resistencia), $f_f \text{ CMC1} > f_f \text{ C-ARB}$ y $f_f \text{ CMC2} > f_f \text{ C-ARC}$ para todas las edades.

A la edad de 28 días el módulo de ruptura $\text{CMC1}(37.5\text{kg/cm}^2) > \text{C-ARB}(23.0\text{kg/cm}^2)$ y $\text{CMC2}(42.5\text{kg/cm}^2) > \text{C-ARC}(39.5\text{kg/cm}^2)$, **C-ARC** tiene mejor desempeño que **C-ARB**, debido al origen y composición de cada agregado y mezcla de concreto.

6.2.2.3. Módulo de elasticidad

De acuerdo a los resultados obtenidos $E_{\text{CMC1}}(206,762.2) > E_{\text{C-ARB}}(84,955.6)$ y $E_{\text{CMC2}}(298,419.5) > E_{\text{C-ARC}}(171,091.7)$ a 28 días de edad, debido a las características de los agregados y las mezclas de concreto.

6.2.2.4. Fuerza de adherencia

De acuerdo a los resultados obtenidos $f_{adh} \text{ CMC1} > f_{adh} \text{ C-ARB}$ y $f_{adh} \text{ CMC2} > f_{adh} \text{ C-ARC}$ a 28 días de edad, **C-ARC** tiene mejor desempeño que **C-ARB**, debido a las características de cada agregado y la composición los concretos.

6.3. Análisis de costos

Se calculó realizará a los concretos evaluados, tomando en cuenta la proporción y dosificación de las mezclas elaboradas y el tipo de agregado utilizado.

Tabla XXI. Peso unitario agregados.

Material		Resultado kg/m³
Agregado fino		1,410.7
Agregado grueso	AN	1,572.4
	ARB	898.7
	ARC	1,414.0

Tabla XXII. Precios de materiales de concretos evaluados.

Material	Unidad	Precio (Q)
Cemento UGC	Saco	56.25
Agregado fino	m ³	110.00
Agregado grueso	m ³	176.00
ARB	m ³	176.00
ARC	m ³	176.00

Los precios de ARB y ARC se consideraron iguales a AN, la mano de obra no se incluye en el análisis por ser la misma para todos los concretos, se evaluaron las siguientes opciones:

- Incluyendo costo de Agregado Reciclado: se incluyen los costos de **ARB** y **ARC** utilizados para la elaboración de las mezclas., costo **CMC1**(Q.612.22) < **C-ARB**(Q.613.02), con una diferencia entre ellos de Q.0.82/m³, y **CMC2** (Q.715.70) < **C-ARC**(Q.721.51) con una diferencia entre ellos de Q.5.81/m³.

- No incluyendo costo de Agregado Reciclado: no se incluyen los costos de **ARB** y **ARC** utilizados para la elaboración de las mezclas, costo **CMC1**(Q.612.22) > **C-ARB**(Q.534.31), con una diferencia entre ellos de Q.77.91/m³, costo **CMC2**(Q.715.70) > **C-ARC**(Q.622.93), con una diferencia entre ellos de Q.92.77/m³.

Tabla XXIII. Costo de concretos.

Costos concretos									
Tipo de concreto	Proporción peso	Materiales					Costo materiales (Q)	Costo /m ³ concretos (Q)	Costo/m ³ concretos-valor ARC/ARB (Q)
		Tipo	Cantidad		Contenido material %				
			Peso kg	Total kg					
CMC1	1:2.4:2.1	Cemento	347.0 (8.2 sacos)	1917.8	18.2	100.0	461.25	612.22	612.22
		A. fino	839.0		43.6		57.06		
		A. grueso	731.8		38.2		93.91		
C-ARB	1:2.7:1.2	Cemento	347.0 (8.2 sacos)	1685.9	20.0	100.0	461.25	613.02	534.31
		A. fino	937.0		55.0		73.06		
		A. grueso	401.9		25.0		78.71		
CMC2	1:1.8:1.7	Cemento	433.0 (10.2 sacos)	1934.8	25.0	100.0	573.75	715.70	715.70
		A. fino	770.0		45.0		60.04		
		A. grueso	731.8		25.0		81.91		
C-ARC	1:1.8:1.5	Cemento	433.0 (10.2 sacos)	1934.8	23.0	100.0	573.75	721.51	622.93
		A. fino	633.9		42.0		49.43		
		A. grueso	792.0		35.0		98.58		

Figura 26. Gráfica costos C-ARB y CMC1 (incluye valor de ARB).

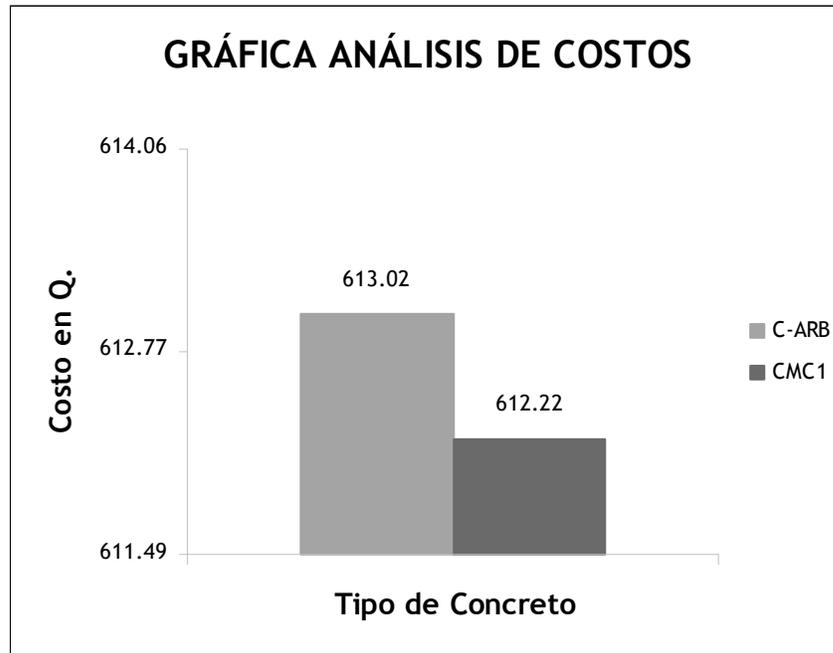


Figura 27. Gráfica de costos C-ARC y CMC2 (incluye valor de ARC).

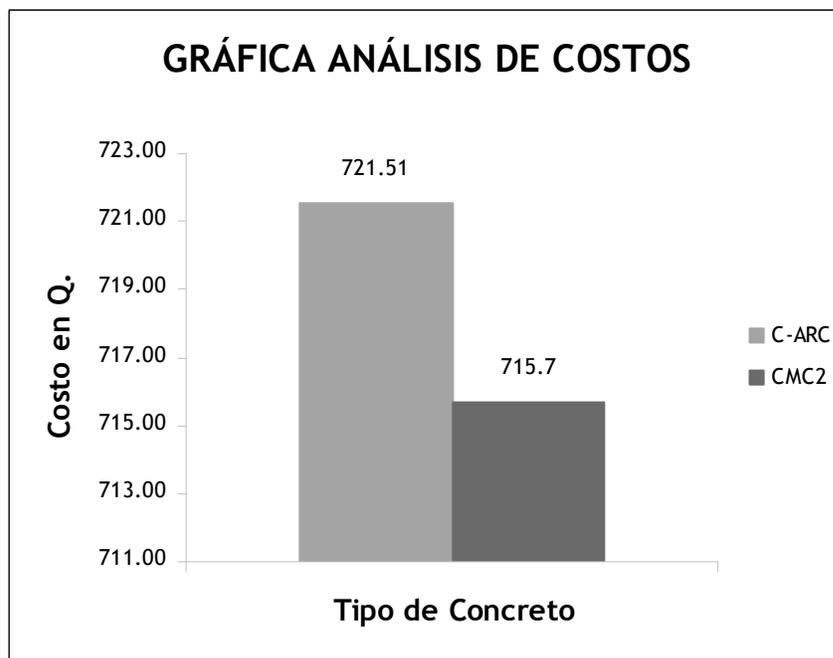


Figura 28. Gráfica de costos C-ARB y CMC1 (no incluye valor de ARB).

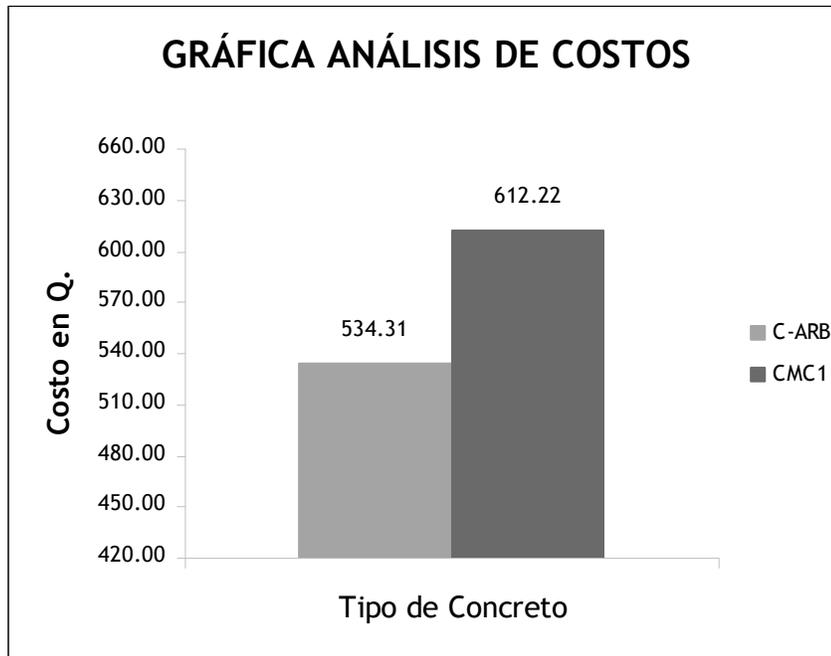
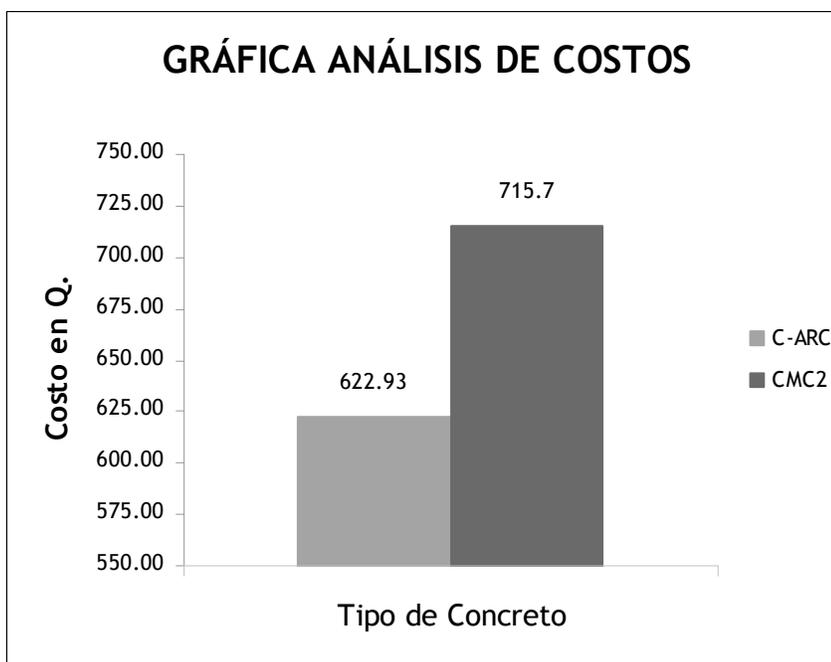


Figura 29. Gráfica de costos C-ARC y CMC2 (no incluye valor de ARC).



6.4. Alternativas de reutilización

Después de conocer los resultados de los agregados y concretos evaluados, las alternativas de reutilización dentro de los procesos de producción que se desarrollan actualmente en MONOLIT son las siguientes:

Tabla XXIV. Alternativas de reutilización en planta MONOLIT Amatitlán.

Evaluación alternativas de reutilización MONOLIT CARB y CARC						
Tipo de concreto	f'c kg/cm ² mezclas evaluadas			Blocks de concreto	Elementos prefabricados	Otros
	Diseño 28 días	28 días	56 días			
C-ARB	210.0	119.5	151.6	No adecuado	No adecuado	<ul style="list-style-type: none"> • De preferencia quitar exceso de finos. • Obras de ornato dentro de la Planta.
C-ARC	210.0	170.6	206.1	<ul style="list-style-type: none"> • f'm 25 • f'm 35 • Bovedilla • Adoquines 	<ul style="list-style-type: none"> • Postes • Bardas perimetrales 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe chequear la granulometría antes de usarlo. • Obras de ornato dentro de la Planta.

CONCLUSIONES

1. El cemento, agregado fino y agregado grueso natural **AN**, son adecuados para su uso en mezclas de concreto, las mezclas fueron evaluadas en las mismas condiciones de mezclado, curado y manejo.
2. El uso de agregados reciclados de desechos sólidos de la construcción ayuda a mitigar el impacto causado al obtener, procesar y utilizar recursos naturales no renovables, aunque es necesario considerar que algunas de sus características físicas varían.
3. El peso específico, peso unitario suelto y apisonado del agregado reciclado de block **ARB** y agregado reciclado de concreto **ARC**, son de acuerdo al tipo de desecho del que se obtienen en la Planta MONOLIT (**ARC > ARB**).
4. El contenido de vacíos y el % absorción del **ARB** y **ARC** son de acuerdo al tipo de desecho del que se obtienen en la Planta MONOLIT (**ARB > ARC**), ambos cumplen con lo indicado en la especificación ASTM para agregado grueso.
5. El porcentaje (%) de material que pasa el tamiz Núm.200 del **ARB** y **ARC** no cumplen con la especificación de la ASTM para agregado grueso
6. La granulometría de **ARB** y **ARC** no cumplen con la especificación de la ASTM para agregado grueso.

7. El porcentaje (%) de desgaste por abrasión del **ARB** no cumple con la especificación de la ASTM para agregado grueso (**ARB > ARC**).
8. El valor de la relación a-c necesaria para un valor de asentamiento entre 9 y 11 cm. depende del tipo de agregado utilizado en la mezcla de concreto evaluado (**C-ARB < CMC1, C-ARC < CMC2**).
9. El tipo de agregado reciclado utilizado en cada mezcla de concreto, define el valor del contenido de aire (**C-ARB < CMC1, C-ARC < CMC2**).
10. La masa unitaria del **C-ARB** y **C-ARC** son de acuerdo al tipo de agregado que se utiliza en cada mezcla (**C-ARC > C-ARB**).
11. De acuerdo al valor f'_c a 28 días, **C-ARC** puede ser utilizado dentro de los procesos de producción en la Planta MONOLIT Amatitlán para blocks de concreto con f'_m de 25 y 35 kg/cm² y bovedillas, elementos prefabricados como postes y bardas perimetrales.
12. De acuerdo al valor f'_c a 28 días, **C-ARB** no puede ser utilizado dentro de los procesos de producción en la Planta MONOLIT para blocks de concreto y elementos prefabricados.
13. Los costos/m³ del **CMC1**(Q.612.22) < **C-ARB**(Q.613.02) y **CMC2**(Q.715.70) < **C-ARC**(Q.721.51), cuando los costo de **ARB** y **ARC** = **AN** (se incluyen).
14. Los costos/m³ del **CMC1**(Q.612.22) > **C-ARB**(Q.534.31) y **CMC2**(Q.715.70) > **C-ARC**(Q.622.93), cuando el costo de **ARB** y **ARC** = Q.0.00 (no se incluyen).

RECOMENDACIONES

1. Impulsar el uso de agregados provenientes de desechos sólidos generados en la industria de la construcción.
2. Cuando se utilicen ARB y ARC ajustar la granulometría lo más que se pueda a lo indicado en la especificación ASTM aplicable.
3. No utilizar C-ARB en blocks de concreto y elementos prefabricados, a menos que se aumente la dosificación de cemento en cada mezcla.
4. Realizar análisis de laboratorio regularmente a los agregados reciclados para conocer sus características físicas y mecánicas, aplicando las especificaciones que se encuentran en las normas ASTM.
5. Utilizar concreto con ARB en elementos dentro de las instalaciones de la Planta MONOLIT Amatlán (no estructurales), el CARC puede ser utilizado en obras civiles con algunas limitaciones.
6. Realizar este tipo de estudio a otros desechos sólidos de la industria de la construcción, que puedan ser aprovechados como agregados en mezclas de concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Microsoft®Encarta®2007[CD]. “Residuos Sólidos”. Microsoft Corporation. 2006.
2. Instituto de Incidencia Ambiental. Universidad Rafael Landivar. Perfil Ambiental de Guatemala, informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, URL. 2004. pp. 213
3. SEMARNAT-INE. **Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos**. México: Subsecretaría para la Protección Ambiental. 2001.
4. Wikipedia. “Concreto”. <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>. Agosto, 2008.
5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Diseño y control de mezclas de concreto**. México: 1992. p.1
6. GRUPO LEZY S.A de C.V. **Manual Bst-Betostyrene**. México: 2007.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, Alfonso. **Reciclado de materiales de construcción**. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html>. 1997.
2. Alvarado Rodríguez, Jassit Neftali. **Características del concreto**. www.construaprende.com/ingtrabajos.html. 2003.
3. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. Volumen 04.02. EEUU.1990, 804 pp.
4. Bedoya Montoya, Carlos Mauricio. **El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles**. Tesis Magíster en hábitat, Guatemala, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2003. 98 pp.
5. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. **Monografía sobre residuos de construcción y demolición**. España: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 2004. 46 pp.
6. Hincapié Henao, Angela y Aguja López, Elisa. **Agregado reciclado para morteros**. Colombia: Revista Universidad EAFIT, año/vol. 39, Núm. 132. 2003. pp. 76-89.
7. Instituto de Incidencia Ambiental. Universidad Rafael Landívar. **Generación y manejo de desechos sólidos en Guatemala**. Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, URL. 2003. 73 pp.

8. Instituto de Incidencia Ambiental. Universidad Rafael Landvar. **Perfil Ambiental de Guatemala, informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática.** Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, URL. 2004. pp. 213-227.
9. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Conceptos básicos del concreto.** México: IMCYC. 2004. 8 pp.
10. Martínez Soto, I.E. y Mendoza Escobedo, C.J. **Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados.** México: INGENIERIA, Investigación y Tecnología VII. 3. 2006. pp. 151-164.
11. Mazariegos Ramírez, Mónica Noemy. **Efectos de protección a la corrosión (pintura anticorrosiva, pintura de aceite y galvanizado) del refuerzo estructural en la adherencia en concreto.** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2003. 112 pp.
12. Ordóñez, Gabriel, Mejicanos, Dilma y Alvarado, Paulino. **Manual de laboratorio de materiales de construcción.** Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2000. 145 pp.
13. Ortiz de León, Evely Elizabeth. **Calidad de Agregados Producidos en Guatemala.** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004. 71 pp.

APÉNDICE 1
Caracterización de agregados



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



AGREGADO FINO PARA CONCRETO

INFORME No.		PROYECTO:	
S.C. 715		Trabajo de Graduación	
Muestra:	Fecha:	O.T. No.	Lab.
Agregado Grueso (25-35-BOV)	07/11/2007	21473	Concretos

INTERESADO:
Laura Maria Ramirez Martinez

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2,27
Peso Unitario (kg/m ³)	898,71
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	837,19
Porcentaje de Vacios	60,49
Porcentaje de Absorcion	23,31
Contenido de Humedad	5,53
% Retenido en Tamiz 6.35	-----
% que pasa Tamiz 200	12,65
% de Material Liviano	-----
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
Modulo de Finura	3,35



Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15
% Que pasa	100,00	99,66	69,07	44,23	26,80	16,08	9,44	0,29	0,15

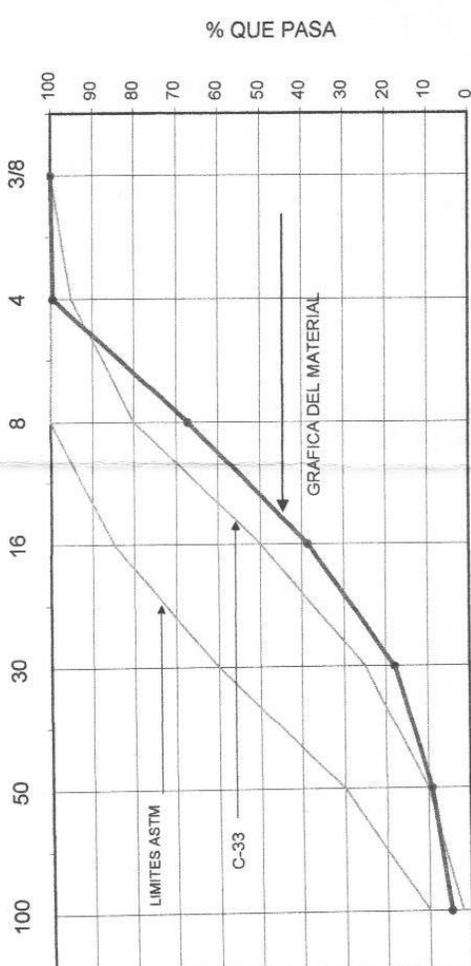
OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado.

Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
DIRECTOR CHUSAC

Ing. Dilia Yajiel Mejicanos Jol
Jefe Sección de Concretos



M.M.

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																																							
AGREGADO FINO PARA CONCRETO	INFORME No. S.C. 716	PROYECTO: Trabajo de Graduación																																						
INTERESADO: Laura Maria Ramirez Martinez	Muestra: Agregado Grueso (50-70-AB)	O.T. No. 21473 Lab. Concretos																																						
Fecha: 07/11/2007																																								
CARACTERISTICAS FISICAS: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: right;">1,61</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1414,00</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1320,67</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td style="text-align: right;">12,23</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorcion</td><td style="text-align: right;">6,80</td></tr> <tr><td>Contenido de Humedad</td><td style="text-align: right;">2,66</td></tr> <tr><td>% Retenido en Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">-----</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">4,52</td></tr> <tr><td>% de Material Liviano</td><td style="text-align: right;">-----</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Sulfato de Sodio</td><td style="text-align: right;">-----</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">3,63</td></tr> </table>	Peso Especifico	1,61	Peso Unitario (kg/m ³)	1414,00	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1320,67	Porcentaje de Vacios	12,23	Porcentaje de Absorcion	6,80	Contenido de Humedad	2,66	% Retenido en Tamiz 6.35	-----	% que pasa Tamiz 200	4,52	% de Material Liviano	-----	% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----	Modulo de Finura	3,63	 <p style="text-align: center;">% QUE PASA</p> <p style="text-align: center;">Tamaño en Milimetros</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>9,40</td> <td>4,76</td> <td>2,38</td> <td>1,19</td> <td>0,59</td> <td>0,29</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>99,50</td> <td>67,12</td> <td>38,54</td> <td>17,86</td> <td>9,20</td> <td>0,15</td> </tr> </table>	Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15	% Que pasa	100,00	99,50	67,12	38,54	17,86	9,20	0,15
Peso Especifico	1,61																																							
Peso Unitario (kg/m ³)	1414,00																																							
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1320,67																																							
Porcentaje de Vacios	12,23																																							
Porcentaje de Absorcion	6,80																																							
Contenido de Humedad	2,66																																							
% Retenido en Tamiz 6.35	-----																																							
% que pasa Tamiz 200	4,52																																							
% de Material Liviano	-----																																							
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																																							
Modulo de Finura	3,63																																							
Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15																																	
% Que pasa	100,00	99,50	67,12	38,54	17,86	9,20	0,15																																	
OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.																																								
Vo.Bo.	 Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez DIRECTOR CIJUSAC	 Inga. Dilma Yanez Mejicanos Jol Jefe Sección de Concretos																																						
		M.M.																																						



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

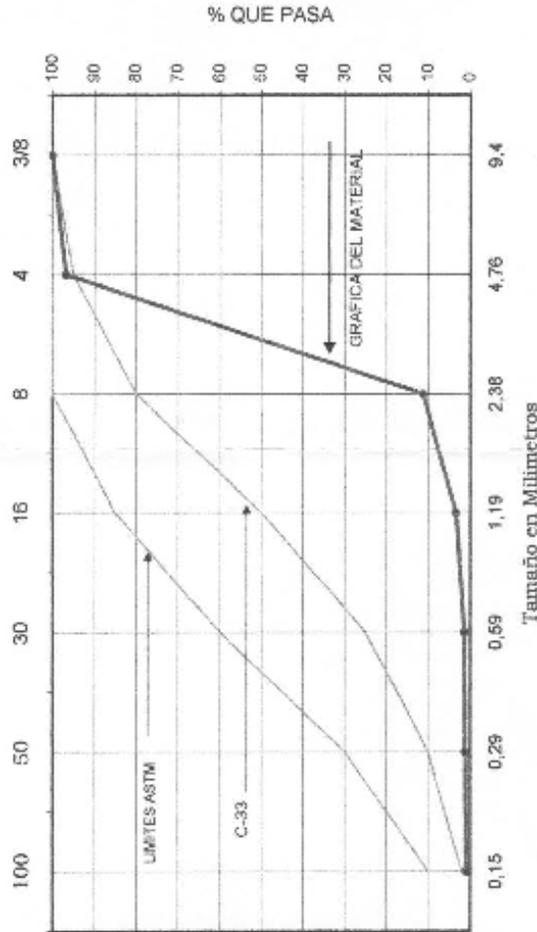


AGREGADO FINO PARA CONCRETO

INTERESADO: Laura Maria Ramirez Martinez		INFORME No. S.C. 717		PROYECTO: Trabajo de Graduacion	
Muestra: Agregado Grueso (3/8")		Fecha: 07/11/2007		O.T. No. 21473	
				Lab. Concretos	

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2,54
Peso Unitario (kg/m ³)	1572,38
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1524,67
Porcentaje de Vacios	38,21
Porcentaje de Absorcion	0,51
Contenido de Humedad	0,38
% Retenido en Tamiz 6.35	---
% que pasa Tamiz 200	0,30
% de Material Liviano	---
% Desgaste por Sulfato de Sodio	---
Modulo de Finura	4,85



Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15
% Que pasa	100,00	96,76	11,23	3,33	1,38	1,21	1,04

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

Vo.Bo.

Ing. Oswaldo Remijn-Esobar Alvarez
DIRECTOR CIJUBAC

Inga. Ulma Yaniel Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos

M.M.

APÉNDICE 2
Resistencia a compresión y flexión del concreto



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 10088-1

FECHA: -

PÁGINA: 1/6

Cilindro No.:

Ubicación Mezcla:

Asent. (mm):

Rel. A/C:

%Aire:

M.U. (kg/cm³):

Fecha de Hechura:

Fecha de Ensayo:

Edad (días):

Tipo de Concreto:

Masa (kg):

Área (mm²):

Resistencia N/mm²:

Resistencia lb/pulg²:

Tipo de Falla:

Procedencia: -

Proyecto: TESIS LAURA RAMIREZ

Analista(s): LAURA RAMIREZ

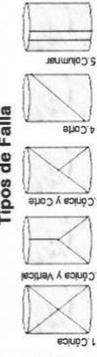
EDUARDO OLIVA

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

ASTM C-39

Lab.	Cilindro No. Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Falla
													N/mm ²	lb/pulg ²	
1	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	12.350	18241.51	1.50	218	1
2	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	10.300	18241.51	1.20	174	1
3	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	10.300	18120.10	1.43	207	1
4	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	10.450	18241.51	2.46	357	1
5	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	10.500	18271.93	2.56	371	1
6	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	10.500	18271.93	2.29	332	1
7	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	10.500	18241.51	4.54	659	1
8	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	10.500	18302.37	5.10	740	1
9	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	10.500	18302.37	4.38	636	1
10	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	10.550	18271.93	7.11	1032	1
11	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	10.550	18302.37	7.52	1091	1
12	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	10.500	18271.93	7.29	1057	1

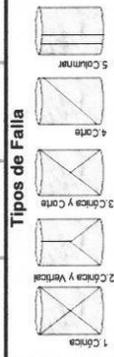
Tipos de Falla:



Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

CEMENTOS PROGRESO S. A.										OT:	10088-2						
CENTRO TECNOLÓGICO										FECHA:	-						
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera										PÁGINA:	2/6						
Tel: 22864178 Fax: 22864181										 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio							
Cilindro No.	RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO											ASTM C-39					
Lab.	Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)			Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Falla
															N/mm ²	lb/pulg ²	
13	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	10.650	18332.83	11.48	1665	1		
14	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	10.650	18211.12	12.23	1774	1		
15	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	10.600	18271.93	11.44	1660	2		
16	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	10.650	18241.51	14.53	2107	1		
17	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	10.600	18241.51	14.98	2172	1		
18	BLOCK POMEZ	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	10.650	18241.51	15.10	2190	1		
19	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	11.950	18150.42	2.90	420	1		
20	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	12.050	18120.10	2.68	388	1		
21	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-15	1	-	12.050	18120.10	3.01	436	1		
22	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	12.150	18271.93	6.98	1013	1		
23	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	12.100	18363.32	6.86	994	1		
24	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-17	3	-	12.100	18271.93	6.98	1013	1		



Tipos de Falla

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT:	10088-3
FECHA:	-
PÁGINA:	3/6
Cilindro No. Lab.	25
Cilindro No. Lab.	26
Cilindro No. Lab.	27
Cilindro No. Lab.	28
Cilindro No. Lab.	29
Cilindro No. Lab.	30
Cilindro No. Lab.	31
Cilindro No. Lab.	32
Cilindro No. Lab.	33
Cilindro No. Lab.	34
Cilindro No. Lab.	35
Cilindro No. Lab.	36

Cilindro No. Lab.	Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Falla
													N/mm ²	lb/pulg ²	
25	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	12.150	18271.93	10.95	1588	1
26	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	12.150	18302.37	11.53	1673	1
27	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-21	7	-	12.100	18180.76	11.25	1631	2
28	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	12.150	18302.37	15.99	2319	1
29	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	12.150	18302.37	16.76	2431	1
30	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-11-28	14	-	12.050	18302.37	14.79	2145	1
31	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	12.100	18302.37	18.10	2625	1
32	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	12.100	18241.51	17.56	2547	1
33	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2007-12-12	28	-	12.000	18271.93	18.64	2704	1
34	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	12.100	18241.51	19.06	2764	1
35	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	12.150	18241.51	21.86	3170	1
36	PIEDRIN 1	-	-	-	-	-	2007-11-14	2008-01-09	56	-	12.150	18241.51	21.36	3098	1

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C-39

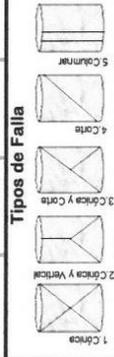
Tipos de Falla:

1. Cónica
 2. Cónica y Vertical
 3. Cónica y Carre
 4. Carre
 5. Columnar

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

 CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181										OT:	10088-4				
										FECHA:	-				
										PÁGINA:	4/6				
Cilindro No.	RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO										ASTM C-39				
Lab.	Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm²)	Resistencia N/mm²	Resistencia lb/pulg²	Tipo de Falla
43	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	11.450	18120.10	4.88	708	1
44	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	11.450	18180.76	3.27	475	1
45	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	11.450	18120.10	5.09	738	2
46	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	11.400	18241.51	4.94	717	1
47	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	11.350	18241.51	4.98	723	1
48	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	12.000	18241.51	5.06	734	1
49	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	11.450	18302.37	7.69	1115	1
50	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	11.450	18271.93	7.67	1112	1
51	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	11.450	18271.93	8.18	1187	1
52	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	11.450	18241.51	10.90	1581	1
53	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	11.500	18211.12	11.20	1624	1
54	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	11.450	18302.37	12.32	1787	1
Observaciones:															
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.															



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 10088-5
 FECHA: -
 PÁGINA: 5/6

Cilindro No. CENTRO TECNOLÓGICO **Procedencia:** -

Lab. **Obra** **Ubicación Mezcla** **Asent. (mm)** **Rel. A/C** **%Aire** **M.U. (kg/cm³)** **Fecha de Hechura** **Fecha de Ensayo** **Edad (días)** **Tipo de Concreto** **Masa (kg)** **Área (mm²)** **Resistencia N/mm²** **Resistencia lb/pulg²** **Tipo de Falla**

Dirección: - **Proyecto:** TESIS LAURA RAMIREZ

Contacto: LAURA RAMIREZ **Analista(s):** EDUARDO OLIVA

Teléfono: -

[Signature]
 Ing. Mario de León M.
 Jefe de Laboratorio

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO **ASTM C-39**

Cilindro No.	Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia N/mm ²	Resistencia lb/pulg ²	Tipo de Falla
55	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	11.500	18241.51	16.30	2364	1
56	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	11.400	18271.93	17.11	2481	1
57	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	11.650	18302.37	16.77	2433	1
58	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	11.550	18271.93	20.27	2939	1
59	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	11.600	18241.99	20.27	2940	1
60	BLOCK CONCRETO	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	11.600	18271.93	20.10	2915	1
64	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	12.050	18241.51	9.57	1387	1
65	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	12.050	18180.76	9.29	1347	1
66	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-11-29	1	-	12.050	18120.10	8.36	1213	1
67	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	12.200	18211.12	10.12	1468	1
68	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	12.000	18241.51	10.21	1480	1
69	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-01	3	-	11.850	18302.37	9.63	1397	1

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

Tipos de Falla

1. Cónica

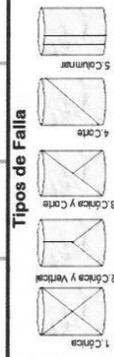
2. Cónica y Vertical

3. Cónica y Certe

4. Certe

5. Cálumnar

CEMENTOS PROGRESO S. A.										OT: 10088-6						
CENTRO TECNOLÓGICO										FECHA: -						
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera										PÁGINA: 6/6						
Tel: 22864178 Fax: 22864181																
CLIENTE			PROYECTO			ANALISTA(S)				INGENIERO						
CENTRO TECNOLÓGICO			TESIS LAURA RAMIREZ			EDUARDO OLIVA				 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio						
RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO																
ASTM C-39																
Cilindro No.	Lab.	Obra	Ubicación Mezcla	Asent. (mm)	Rel. A/C	%Aire	M.U. (kg/cm ³)	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Tipo de Concreto	Masa (kg)	Área (mm ²)	Resistencia		Tipo de Falla
														N/mm ²	lb/pulg ²	
70	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	12.200	18271.93	14.30	2074	1
71	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	12.200	18271.93	15.18	2202	1
72	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-05	7	-	12.200	18271.93	14.71	2134	1
73	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	12.150	18241.51	18.60	2698	1
74	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	12.200	18424.38	18.57	2694	1
75	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-12	14	-	12.200	18241.51	18.76	2722	1
76	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	12.250	18302.37	22.47	3259	1
77	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	12.250	18211.12	25.88	3754	1
78	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2007-12-26	28	-	12.250	18241.51	26.36	3824	1
79	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	12.200	18271.93	30.00	4351	1
80	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	12.250	18302.37	29.74	4313	1
81	PIEDRIN 2	-	-	-	-	-	-	2007-11-28	2008-01-23	56	-	12.150	18241.51	28.37	4115	1



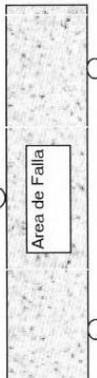
Tipos de Falla

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT: 10088 FECHA: - PÁGINA: 1/4											
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: - Contacto: LAURA RAMIREZ Teléfono: -	Procedencia: - Proyecto: TESIS LR Analista(s): -	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio											
RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGUETAS DE CONCRETO													
ASTM C-78													
Viga No. Lab.	Obra	Localizacion estructura	Toma de Viguetas		Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (dias)	Masa (kg)	Medidas (mm)			Modulo de Rotura (MR)	
			Por	Lugar					Largo	Ancho	Espesor	N/mm ²	kg/cm ²
1	1	Mezcla Block Tipo I	Cliente	Proyecto	2007-11-14	2007-12-12	28	23.960	533.00	157.27	150.74	2.346	24
2	2	Mezcla Block Tipo I	Cliente	Proyecto	2007-11-14	2007-12-12	28	26.620	535.00	153.37	152.33	2.191	22
3	3	Mezcla Block Tipo I	Cliente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	23.780	535.00	154.86	150.42	1.624	17
4	4	Mezcla Block Tipo I	Cliente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	23.840	535.00	154.56	151.53	1.689	17
Observaciones:													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													
													

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT: 10088 FECHA: - PÁGINA: 2/4											
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: - Contacto: LAURA RAMIREZ Teléfono: -	Procedencia: - Proyecto: TESIS LR Analista(s): -	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio											
RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGUETAS DE CONCRETO													
ASTM C-78													
Viga No. Lab.	Obra	Localizacion estructura	Toma de Viguetas		Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Masa (kg)	Medidas (mm)			Modulo de Rotura (MR)	
			Por	Lugar					Largo	Ancho	Espesor	N/mm ²	kg/cm ²
5	5	Mezcla Control Block Tipo I	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	26.800	533.00	152.59	151.23	2.193	22
6	6	Mezcla Control Block Tipo I	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	27.180	535.00	152.83	151.95	2.340	24
7	7	Mezcla Control Block Tipo I	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2008-01-02	28	27.720	537.00	154.31	152.41	3.612	37
8	8	Mezcla Control Block Tipo I	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2008-01-02	28	27.510	535.00	153.40	152.39	3.756	38
Observaciones:													
													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT:	10088											
		FECHA:	-											
		PÁGINA:	4/4											
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio												
Dirección: -		Procedencia: - Proyecto: TESIS LR												
Contacto: LAURA RAMIREZ		Analista(s): -												
Teléfono: -														
RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGUETAS DE CONCRETO														
ASTM C-78														
Viga No.	Lab.	Obra	Localizacion estructura	Toma de Viguetas		Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (dias)	Masa (kg)	Medidas (mm)			Modulo de Rotura (MR)	
				Por	Lugar					Largo	Ancho	Espesor	N/mm ²	kg/cm ²
13		13	Mezcla Control Block Tipo II	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	27.520	540.00	152.23	151.58	2.567	26
14		14	Mezcla Control Block Tipo II	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2007-12-12	7	27.660	535.00	154.21	151.21	2.529	26
15		15	Mezcla Control Block Tipo II	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2008-01-02	28	27.690	535.00	154.31	151.32	3.916	40
16		16	Mezcla Control Block Tipo II	Ciente	Proyecto	2007-12-05	2008-01-02	28	28.160	533.00	155.10	152.78	4.369	45
Observaciones:														
														
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.														

APÉNDICE 3
Fuerza de adherencia y módulo de elasticidad



O.T. 22635

INFORME No. S. C. - 701

Interesado: Laura María Ramírez Martínez
Asunto: Ensayos de módulo de elasticidad y adherencia concreto-acero de refuerzo a 4 mezclas de concreto.
Proyecto: Trabajo de Graduación "Caracterización de los desechos sólidos generados en la planta Monolit Amatitlán y factibilidad de uso en la elaboración de concretos"
Fecha de ensayo: 23 de Julio de 2009

Hoja 1/7

1. Características concretos evaluados

Se evaluaron concretos elaborados bajo las siguientes condiciones:

ENSAYO	CONCRETO			
	C-ARB	CMC1	C-ARC	CMC2
Proporción en peso	1:2.7:1.2	1:2.4:2.1	1:1.8:1.5	1:1.8:1.7
Asentamiento (cm)	10.16	10.79	10.79	10.47
Masa Unitaria (kg/m ³)	1881.8	2154.7	2045.8	2191.4
Contenido de aire (%)	5	2	3.3	2.6
Temperatura Concreto (°C)	22	22.5	21	22
Temperatura Ambiente (°C)	24	24	24	24
Relación A/C	0.69	0.60	0.59	0.55

Las mezclas se identificaron de la siguiente manera

- C-ARB: concreto agregado reciclado de block
- CMC1: mezcla control 1
- C-ARC: concreto agregado reciclado de concreto
- CMC2: mezcla control 2



2. Evaluación del módulo de elasticidad (E)

Se elaboraron probetas cilíndricas de concreto de 4" x 8", se ensayaron a una edad de 28 días, para su cálculo se utilizó la siguiente expresión:

$$E = \frac{(S2 - S1)}{(E2 - E1)}$$

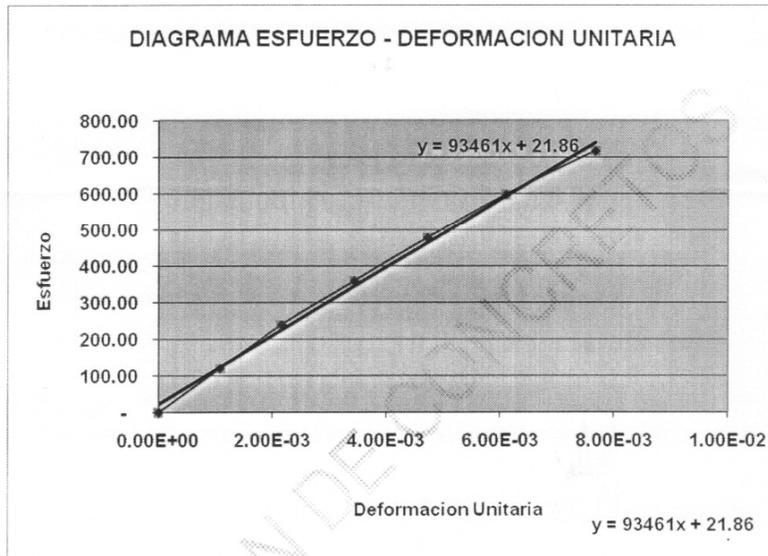
- S2 = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima
- S1 = esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005
- E2 = deformación unitaria correspondiente a S2
- E1 = 0.00005

2.1. Mezcla de concreto C-ARB

Módulo de elasticidad C-ARB					
Tipo de concreto	Fuerza lb	Esfuerzo lb/plg ²	Deformación mm*10 ⁻²	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad lb/plg ²
C-ARB	0	0	0	0	84,955.61
	1500.0	119.43	11	1.08E	
	3000.0	238.85	22	2.17E	
	4500.0	358.28	35	3.44E	
	6000.0	477.71	48	4.72E	
	7500.0	597.13	62	6.10E	
	9000.0 (40 % f _c)	716.56	78	7.68E	
	Carga máxima f _c 22500.0 lb				

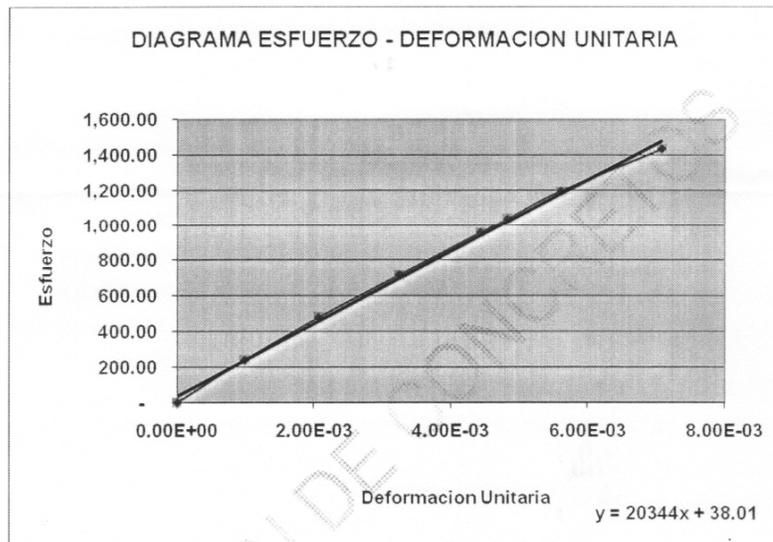


Hoja 3/7



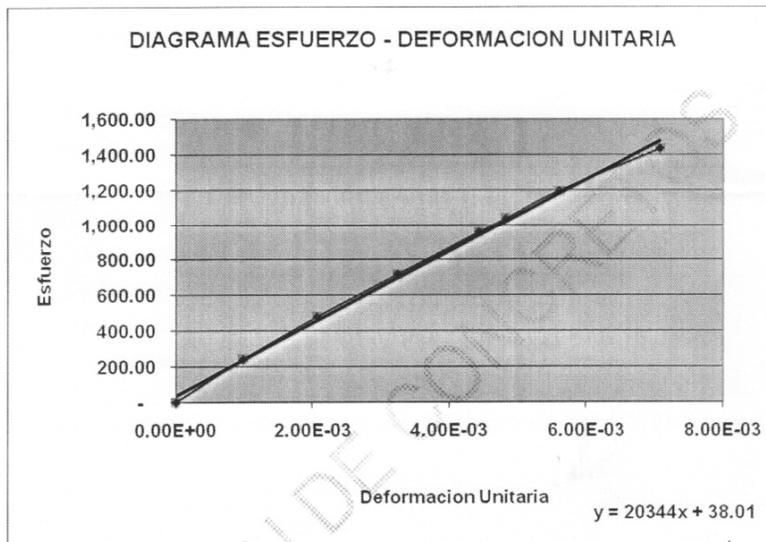
2.2. Mezcla de concreto CMC1

Módulo de elasticidad CMC1					
Tipo de concreto	Fuerza lb	Esfuerzo lb/plg ²	Deformación mm*10 ⁻²	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad lb/plg ²
CMC1	0	0	0	0	206,762.20
	3000.0	238.85	10	9.84E-04	
	6000.0	477.71	21	2.07E-03	
	9000.0	716.56	33	3.25E-03	
	12000.0	955.41	45	4.43E-03	
	13000.0 (40 % f'c)	1,035.03	49	4.82E-03	
	15000.0	1,194.27	57	5.61E-03	
Carga máxima f'c 32500.0 lb					



2.3. Mezcla de concreto C-ARC

Módulo de elasticidad C-ARC					
Tipo de concreto	Fuerza lb	Esfuerzo lb/plg ²	Deformación mm*10 ⁻²	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad lb/plg ²
C-ARC	0	-	0	0.00E+00	171091.746
	2000.0	159.24	8	7.87E-04	
	4000.0	318.47	15	1.48E-03	
	6000.0	477.71	24	2.36E-03	
	8000.0	636.94	34	3.35E-03	
	10000.0	796.18	45	4.43E-03	
	10800.0 (40 % f'c)	859.87	49	4.82E-03	
	12000.0	955.41	55	5.41E-03	
Carga máxima f'c 27000.0 lb					

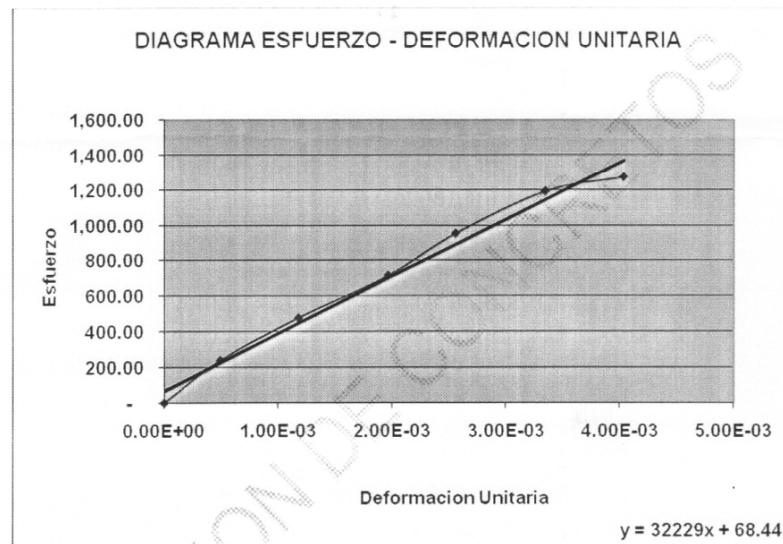


2.3. Mezcla de concreto C-ARC

Módulo de elasticidad C-ARC					
Tipo de concreto	Fuerza lb	Esfuerzo lb/plg ²	Deformación mm*10 ⁻²	Deformación unitaria	Módulo de elasticidad lb/plg ²
C-ARC	0	-	0	0.00E+00	171091.746
	2000.0	159.24	8	7.87E-04	
	4000.0	318.47	15	1.48E-03	
	6000.0	477.71	24	2.36E-03	
	8000.0	636.94	34	3.35E-03	
	10000.0	796.18	45	4.43E-03	
	10800.0 (40 % f'c)	859.87	49	4.82E-03	
	12000.0	955.41	55	5.41E-03	
Carga máxima f'c 27000.0 lb					



Hoja 6/7





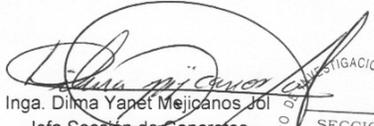
Hoja 7/7

3. Evaluación adherencia concreto-acero de refuerzo

Se elaboraron probetas cilíndricas de concreto de 4" x 8", se ensayaron a una edad de 28 días, se utilizaron varillas de ϕ 3/8".

Resultados ensayo adherencia concreto-acero de refuerzo			
Tipo de concreto	Tipo de falla	Valor carga de adherencia (kg)	
		Resultado	Promedio
CMC1	Adherencia	2400.0	2500.0
	Adherencia	2600.0	
	Adherencia	2500.0	
C-ARB	Adherencia	1650.0	1780.0
	Adherencia	1650.0	
	Adherencia	2040.0	
CMC2	Adherencia	2850.0	2450.0
	Adherencia	2500.0	
	Adherencia	2000.0	
C-ARC	Adherencia	2696.0	2599.0
	Adherencia	2600.0	
	Adherencia	2500.0	

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos




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

