



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

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO
AGREGADO ORGÁNICO, EN CONCRETOS LIGEROS**

Danny Gerardo Flores Ibáñez

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, abril de 2010.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO
AGREGADO ORGÁNICO EN CONCRETOS LIGEROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR:

DANNY GERARDO FLORES IBÁÑEZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2010.

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. Luís Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO
AGREGADO ORGÁNICO, EN CONCRETOS LIGEROS,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 17 de noviembre de 2008.


DANNY GERARDO FLORES IBÁÑEZ



Guatemala, 26 de Enero de 2 010

Ingeniero José Gabriel Ordoñez Morales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Área de Materiales de Construcción y Obras Civiles
Coordinador

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **"EVALUACION DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"**, elaborado con el estudiante universitario Danny Gerardo Flores Ibáñez, quien conto con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"



Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol

Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala,
22 de febrero de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

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


Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGÁNICO EN CONCRETOS LIGEROS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Danny Gerardo Flores Ibáñez, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Flores Ibáñez, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Danny Gerardo Flores Ibáñez, titulado EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGÁNICO, EN CONCRETOS LIGEROS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGÁNICO, EN CONCRETOS LIGEROS**, presentado por el estudiante universitario **Danny Gerardo Flores Ibañez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a vertical stroke.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2010

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por brindarme vida, salud y fortaleza para alcanzar hoy este triunfo.

**LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por darme la oportunidad de ser un profesional y una mejor persona, fortaleciendo mis principios y valores.

**LA FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Por brindarme los conocimientos que me permitirán desenvolverme como profesional. Siendo el lugar donde he recibido las mayores satisfacciones de mi vida.

INGA. DILMA MEJICANOS

Por el asesoramiento brindado para la realización de esta investigación.

ING. TELMA CANO

Por su apoyo y ayuda brindada en las etapas preliminares a la realización de este trabajo.

DEDICATORIA A:

MIS PADRES

José Rolando Flores y especialmente a mi madre Maria Anita Ibáñez, que es responsable que el día de hoy pueda estar aquí, este triunfo es para ella.

MI ABUELA

Maria del Carmen García, por todo el apoyo, cariño y esfuerzo que me ha entregado durante toda mi vida.

MIS ABUELOS

Natalio Ibáñez y Braulio Flores, quienes con su ejemplo de vida me han enseñado a ser mejor cada día.

MIS HERMANOS

Williams Alexander, Karen Marisol y Ana Beatriz, pilares de mi vida por estar siempre a mi lado ayudándome aconsejándome y brindándome su cariño incondicional.

MIS TÍOS

Eulalio, Santiago, Julio, Luís y Jorge Ibáñez, además a Fernando Sim y Carlos Santos, por su ayuda en el recorrido de mi camino.

MIS TÍAS

Ileana Ibáñez, Maria Melgar e Isabel Álvarez, por brindarme su ayuda y apoyo cuando lo he necesitado.

MIS PRIMOS

Con quienes comparto además una amistad, por toda su ayuda y estar siempre conmigo en los momentos buenos y en los más difíciles.

MIS SOBRINOS

Diana, José, Rolando, Tony y Allison, por ser fuente de inspiración, que tomen de mi el ejemplo del logro alcanzado y lo apliquen en su vida de la mejor forma posible.

MIS AMIGOS

Con los cuales he tenido la suerte de poder contar desde hace mucho tiempo, por todo el apoyo, la ayuda y los momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. RESIDUOS AGRÍCOLAS	1
1.1 Definición	1
1.2 Tipos	1
1.3 Características	3
1.4 Usos y ventajas	4
2. CASCARILLA DE ARROZ	5
2.1 Definición	5
2.2 Características físicas y químicas	5
2.3 Usos, ventajas y limitantes	7
2.4 Rendimiento	9
2.5 Requerimientos para trabajar como agregado orgánico	9
2.6 Normas aplicables	10

3. CONCRETOS LIGEROS	13
3.1 Definición	13
3.2 Tipos	13
3.3 Características	19
3.4 Composición	26
3.5 Normas aplicables	
4. AGREGADOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO	35
4.1 Definición	35
4.2 Tipos	35
4.3 Características	35
4.4 Normas aplicables	41
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	43
5.1 Definición de muestra de estudio	43
5.2 Muestreo	43
5.3 Caracterización de materiales	44
5.3.1 Cemento portland (puzolanico)	44
5.3.2 Cascarilla de arroz	44
5.3.2.1 Limpieza	44
5.3.2.2 Análisis químico	45
5.3.2.3 Manejo y preparación	46
5.3.2.3.1 Mineralización	46
5.3.3 Agregados	51
5.3.3.1 Físico	51
5.3.3.1.1 Peso específico	51
5.3.3.1.2 Peso unitario	54

	5.3.3.1.3	Granulometría	57
	5.3.3.1.4	Materia orgánica	61
5.4		Definición de proporciones de cascarilla de arroz	62
5.5		Elaboración de concretos	63
	5.5.1	Trabajabilidad	63
	5.5.2	Proporciones	64
	5.5.3	Resistencia a compresión $f'c$	64
5.6		Evaluación de concretos	70
	5.6.1	Estado Fresco	70
		5.6.1.1 Trabajabilidad	70
		5.6.1.2 Contenido de aire	71
		5.6.1.3 Masa unitaria	72
		5.6.1.4 Velocidad de endurecimiento	73
	5.6.2	Estado endurecido	78
		5.6.2.1 Resistencia a la compresión	78
		5.6.2.2 Flexión	81
5.7		Elaboración y evaluación de elementos de mampostería	84
	5.7.1	Elaboración de elementos	84
	5.7.2	Caracterización de los elementos	87
		5.7.2.1 Mecánica	87
		5.7.2.2 Física	88
6.		ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
	6.1	Concretos	89
	6.2	Elementos de mampostería	93

CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS	101
BIBLIOGRAFÍA	105
APÉNDICES	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Relación peso específico – contenido de cemento	20
2. Relación resistencia – peso específico	21
3. Relación resistencia a compresión – peso específico	22
4. Lavado de cascarilla	45
5. Manejo de la cascarilla	46
6. Cascarilla curada con lechada de cal	47
7. Colocación del material en bandejas para secado	48
8. Secador de planta piloto	48
9. Porcentaje de humedad	49
10. Toma de datos para peso unitario	50
11. Equipo para ensayo peso específico agregado fino	51
12. Probetas para ensayo peso específico agregado grueso	53
13. Equipo para ensayo peso unitario agregado grueso	55
14. Equipo para ensayo peso unitario fino	55
15. Tamices para ensayo granulometría agregado fino	58
16. Tamices para ensayo granulometría agregado grueso	60
17. Equipo para ensayo de asentamiento	70
18. Equipo para ensayo de contenido de aire	71
19. Equipo para ensayo de peso unitario concreto fresco	72
20. Equipo para ensayo de velocidad de endurecimiento	74
21. Moldes para probetas	77
22. Curado de probetas por inmersión	78
23. Maquina para ensayo a compresión	79
24. Equipo para la nivelación de cilindros	79

25. Máquina universal para ensayo a flexión	82
26. Moldes para vigas	83
27. Mezcladora	85
28. Moldes para block de 15*20*40 cm	85
29. Máquina para ensayo a compresión	86
30. Elementos prefabricados de 15*20*40 cm	87

TABLAS

I.	Características de algunos residuos agrícolas
II.	Valores típicos de retención de humedad de la cascarilla de arroz
III.	Poder calorífico en función de la humedad
IV.	Composición de la cascarilla de arroz
V.	Composición mineral de la cascarilla de arroz
VI.	Requisitos granulométricos para el agregado grueso
VII.	Requisitos granulométricos para el agregado fino
VIII.	Porcentajes permisibles de sustancias dañinas
IX.	Porcentajes permisibles de agregado global
X.	Propiedades químicas y físicas de la cascarilla de arroz
XI.	Datos peso unitario cascarilla de arroz
XII.	Datos para el cálculo del peso específico agregado fino
XIII.	Datos para el cálculo del peso específico agregado grueso
XIV.	Datos peso específico agregado fino
XV.	Datos peso específico agregado grueso
XVI.	Granulometría del agregado fino
XVII.	Granulometría del agregado grueso
XVIII.	Características físicas del agregado fino
XIX.	Características físicas del agregado grueso
XX.	Consistencia en base al asentamiento

- XXI. Datos para el diseño de mezcla control
- XXII. Valores de mezcla control
- XXIII. Valores de mezcla con 5% de cascarilla de arroz
- XXIV. Valores de mezcla con 15% de cascarilla de arroz
- XXV. Datos cilindros mezcla control
- XXVI. Datos cilindros mezcla con 5% de cascarilla de arroz
- XXVII. Datos cilindros mezcla con 15% de cascarilla de arroz
- XXVIII. Datos de vigas a flexión
- XXIX. Resistencia de elementos de mampostería
- XXX. Características físicas de los elementos de mampostería

LISTA DE SÍMBOLOS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales)
A.O.	Agregado orgánico
cm	Centímetros
g	Gramos
kg	Kilogramos
ml	Mililitros
σ	Esfuerzo
%	Porcentaje
kg/cm^2	Kilogramos por centímetro cuadrado
PSI	Libras por pulgada cuadrada
l	Litros
γ	Peso específico

GLOSARIO

Absorción	Es la cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad o espécimen, expresada en unidades de masa/volumen (Aa) o como un % de la masa (peso) seca de la unidad o espécimen (Aa%).
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.
Alveolo	Vacío con contenido de aire o gas, creado dentro del concreto artificialmente con el propósito de hacerlo más ligero.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.

Concreto	Mezcla constituida por material cementante, agua, agregado fino, agregado grueso con o sin aditivos empleada para obras de construcción, como material constituyente de las estructuras.
Contenido de humedad	Cantidad de agua presente en una unidad o espécimen en el momento de evaluarlo, expresado, por lo general, como un porcentaje del peso del espécimen secado al horno.
Control de calidad	Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.
Densidad	Relación entre el volumen bruto y la masa (peso) de una unidad o espécimen.
Flexión	Esfuerzo inducido a un elemento estructural el cual lo somete a reaccionar tanto a compresión como a tensión.
Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.

Norma	Documento de aplicación voluntaria aprobado por un organismo de normalización reconocido que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico.
Porosidad	Está dada por su estructura física de la roca que presenta numerosos poros perceptibles a simple vista.
Relación a/c	Es el resultado de dividir la masa del agua entre la masa del cemento utilizados en un concreto o mortero.
Resistencia a la compresión	Es la carga axial aplicada en un mismo sentido que resiste una unidad o espécimen, dividida por el área de la sección transversal que la soporta, pudiendo ser esta el área bruta o el área neta.
Sílice	Existe normalmente como un óxido en forma soluble, insoluble y coloidal que se encuentra en casi todas las rocas, siendo el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc.
Trabajabilidad	Característica de una mezcla o mortero en cuanto a la facilidad que presenta para ser colocado.

RESUMEN

En la actualidad, Guatemala cuenta con una producción agrícola muy grande que puede ser aprovechable en diferentes formas, entre las más representativas se encuentran las de la caña de azúcar, el café, el arroz entre otras, todos son productos que en su proceso generan desechos orgánicos conocidos como biomasa, este material es reutilizado como generador de calor, de vapor y en algunos casos como abono. Lo antes mencionado limita el aprovechamiento de estos materiales, si se toma en cuenta la estructura física y composición química de estos, se pueden encontrar nuevas fuentes de materiales útiles en el área de la construcción.

El concreto es utilizado a nivel mundial debido a sus características físicas como mecánicas, dicho material puede ser modificado agregando diferentes materiales o sustancias químicas al momento de mezclarlo. Esta es la base para poder crear lo que se conoce como concretos ligeros cuya característica principal es la de tener un peso específico menor al del concreto tradicional, esto representa una disminución en el peso total de las estructuras así como el incremento de la impermeabilidad.

En el presente trabajo se evaluó la cascarilla de arroz como un agregado orgánico en concretos ligeros sustituyendo los materiales que comúnmente se utilizan (pómez, arcillas, etc.) elaborando para el efecto mezclas de Cemento Pórtland con la cascarilla en distintas dosificaciones, sometiendo las probetas a los ensayos mecánicos de acuerdo a las especificaciones de las normas ASTM.

Dichos ensayos fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, para detallar los usos que pueden tener los concretos mezclados con este material se elaboraron elementos de mampostería los cuales se sometieron a los ensayos que indican las normas ASTM.

Los resultados obtenidos presentan las características físicas y mecánicas del concreto así como de los elementos de mampostería mezclados con la cascarilla, indicando las ventajas y desventajas de su utilización de acuerdo a los procedimientos y especificaciones de las normas ASTM.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el uso de cascarilla de arroz como agregado orgánico en concretos ligeros

ESPECÍFICOS:

1. Conocer los diferentes residuos agrícolas y como pueden ser aprovechados.
2. Evaluar alternativas de uso para la cascarilla de arroz en la construcción.
3. Preparar y manejar adecuadamente la cascarilla de arroz de acuerdo a procedimientos técnicos.
4. Caracterizar los materiales utilizados de acuerdo a las normas ASTM.
5. Elaborar y evaluar concretos ligeros con diferentes contenidos de agregado orgánico (cascarilla de arroz) de acuerdo a las normas ASTM.
6. Vincular a la iniciativa privada en proyectos de investigación, de este tipo.
7. Elaborar y evaluar unidades de mampostería que utilicen la cascarilla de arroz como agregado.

INTRODUCCIÓN

Al evaluar la situación de la construcción a nivel regional en Guatemala, se pueden notar dos características básicas, el incremento en los costos y la falta de alternativas para los usuarios. A nivel mundial existen estudios sobre materiales nuevos que brindan mejoras, reducen costos y además ayudan a mitigar el impacto ambiental que significa la producción de concreto.

Los agregados orgánicos (cascarilla de arroz) brindan al concreto características físicas como: aumentar la capacidad de trabajar como aislante, la facilidad para ser penetrado por clavos, la posibilidad de ser cortado con serrucho y la disminución en la fragilidad, pudiéndose emplear en la elaboración de ladrillos ligeros con adiciones del residuo.

Considerando que los residuos agrícolas no son utilizados de manera más conveniente y beneficiosa en el país, se debe revalorizar su reutilización y reciclarlos para poder obtener materiales con condiciones que beneficien a la construcción. La producción de arroz en Guatemala es en promedio de 25 a 30 mil toneladas métricas anuales y se concentra en ciertas áreas, contando con beneficios para su procesamiento en el occidente y región central del país donde el material orgánico de desecho (cascarilla de arroz) se utiliza como abono, en camas de gallineros y como combustible en los propios beneficios de arroz para el secado del grano ya procesado. La cascarilla de arroz puede ser utilizada en la construcción con buenos resultados, existen estudios en países latinoamericanos como Perú y Argentina en donde se muestran las características que este material brinda a un concreto ligero.

Contando con el apoyo de la Asociación Guatemalteca del Arroz (Arrozgua) se plantea el presente estudio, que evalúe el uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en concretos ligeros, para lo cual se deberá de someter a un tratamiento que permita su aprovechamiento en esta área y brinde de esta manera beneficios al concreto.

Realizando una comparación entre una muestra control de concreto sin adición y otras con un porcentaje en masa del material orgánico tratado.

1. RESIDUOS AGRÍCOLAS

1.1 Definición

Son todos los materiales de desecho que se generan de las actividades del llamado sector primario de la economía (agricultura, ganadería, actividad forestal, pesca). Estos se obtienen de los restos de cultivos o de limpiezas que se realizan en el campo para evitar las plagas o los incendios.

Son materiales que no tienen calidad suficiente para otras aplicaciones que no sean las energéticas, sin embargo se pueden someter a procesos prácticos y económicos que brinden la posibilidad de ser reutilizados de una manera distinta, que pueden ser aprovechados en la construcción.

1.2 Tipos

La diversidad de cultivos e industrias que existen en Guatemala producen una amplia gama de residuos orgánicos. En la producción de los granos de consumo básico existe más de un tipo de residuo como el bagazo, la cascarilla, los tallos de dichas plantaciones e incluso la ceniza que se genera de la práctica de técnicas de cultivo. Este tipo de desecho es biodegradable y se cuenta con un fácil acceso al mismo. En Guatemala se cuenta con los siguientes tipos de residuos:

1.2.1 Residuos de cascarilla

1.2.1.1 Industria del café

La producción de café genera una gran cantidad de cascarilla, que generalmente se incinera como combustible en el propio beneficio. Una pequeña parte se incorpora al suelo de forma directa.

1.2.1.2 Arroceras

El residuo que genera esta industria es la cascarilla de arroz, que puede ser utilizada como combustible o como abono en algunos cultivos.

1.2.2 Residuos de Bagazo

1.2.2.1 Cervecerías

Los lodos procedentes de las industrias cerveceras son depositados en vertedero en su mayor parte, aunque en algunos casos se utilizan como abono orgánico para sembradillos específicos y en la alimentación animal.

1.2.2.2 Frutos secos

Los restos de cáscaras rotas, trituradas o tostadas se utilizan principalmente como combustible en la generación de vapor.

1.2.2.3 Oleícolas

En el proceso de extracción del aceite de soya y de girasol se obtiene un residuo consistente en restos de semillas las cuales tienen forma de cascabillo.

1.2.3 Residuos de tallo

1.2.3.1 Textil

Los residuos textiles principales proceden del algodón o del lino. El subproducto del algodón consiste en fibras cortas, semillas y restos de hoja.

1.2.3.2 Hoja de maíz

En la cosecha del maíz las plantas se quiebran y las hojas son desechadas, todo este material se utiliza para generar energía con su incineración.

1.3 Características

Estos materiales presentan un contenido de humedad muy variable, elevado contenido de materia orgánica, una fracción mineral variable en concentración total y equilibrio (según el órgano o fracción de que se trate). La biodegradabilidad de estos materiales esta en función del contenido relativo en biomoléculas fácilmente degradables (azúcares solubles de bajo peso molecular y celulosa) y en componentes de lenta degradación (ceras, ligninas y otros).

Debe señalarse que los residuos de las cosechas pueden presentar contenidos variables de las materias activas utilizadas en los tratamientos fitosanitarios del cultivo. Otra de las características que deben de señalarse particularmente en los residuos de cascarilla es la impermeabilidad y su alto aislamiento térmico, debido a su estructura física. En contraste se puede obtener una alta cantidad de energía calorífica, si se incineran estos residuos.

Tabla I. Características de algunos residuos agrícolas

Características residuos agrícolas		
Tipo de residuo	Características	
	Físicas	Químicas
Bagazo de la caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> • 50% de humedad • 2-3% de azúcar residual • Cerca de 50% de fibra. • La médula constituye el 35% del volumen seco de la fibra de bagazo. 	Se asemeja a la fibra de madera de latifoliadas, especialmente por su contenido de lignina.
Paja (varios cereales, la del arroz y los tallos del maíz)	Tienen fibras cuya longitud media es de alrededor de 1,5 mm y una proporción significativa de fibras largas	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen poca lignina: cereales alrededor de 17-19%, arroz alrededor de 12%. • El contenido de celulosa: de cereales de Europa y de América del Norte es de 36 a 42%, y el de la paja de arroz, de 34 a 38%. • Todas tienen un alto contenido de hemicelulosa

Fuente: Residuos agrícolas <http://www.estrucplan.com.ar/>

1.4 Usos y ventajas

Existen diferentes usos para los cuales se han destinado los residuos agrícolas, principalmente en su aprovechamiento energético calorífico en la propia industria agrícola así como abono en ciertos cultivos. Las posibles utilidades de estos materiales se ven restringidas por los distintos tratamientos a los que se deben de someter para poder ser útiles en otras áreas. Los usos en construcción son diversos, pero hasta el momento todo esto se ha limitado a los laboratorios debido a las dificultades que se presentan al momento de introducirlo industrialmente.

1.4.1 Residuos de vegetales

Se trata de residuos de cultivos que presentan alto contenido en humedad y generalmente son fácilmente degradables, idóneos para ser utilizados como abonos.

1.4.1.1 Residuos forrajeros recolectables

Se reciclan para la alimentación del ganado por lo que en la práctica no constituyen un residuo propiamente dicho.

1.4.1.2 Residuos de la horticultura comestible

Pueden ser incorporados al suelo para facilitar su posterior descomposición si existe tiempo suficiente antes de iniciar el próximo cultivo.

1.4.2 Residuos de poda

Estos residuos son los que se obtienen al momento de realizar la cosecha de los diferentes cultivos, de estas actividades se obtienen cascarillas, tallos y hojas. Generalmente se les utiliza como generadores de calor para poder secar los granos o en el caso de la caña de azúcar, el bagazo es incinerado en las calderas para poder procesar el producto final. En las arroceras la cascarilla se destina en algunos casos como abono para ciertos cultivos así mismo se le utiliza en granjas avícolas como cama para gallineros.

2. CASCARILLA DE ARROZ

2.1 Definición

La cascarilla de arroz es un material con un alto contenido de dióxido de silicio, el cual se genera en la cosecha del arroz. Dicho material es utilizado en la actualidad de una forma muy limitada, no tomando en cuenta su composición química y estructura física. De la cosecha anual de arroz en Guatemala se obtienen aproximadamente 200 kg de cascarilla por cada tonelada del grano procesado.

2.2 Características físicas y químicas

2.2.1 Características físicas

La cascarilla de arroz es un material básicamente fibroso, con una estructura física como una matriz de vidrio cavernosa que lo torna impermeable además cuando se le aplica fuego esta estructura protege la materia orgánica que lleva en su interior retardando de esta forma la flama. Siendo un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje y buena aireación.

Tabla II. Valores típicos de retención de humedad de la cascarilla de arroz

Material	Retención % v/v
Cascarilla de arroz Cruda	9.0
Cascarilla de arroz Quemada	10-13
Cascarilla de Arroz Caolinizada	25-35

Fuente: Vargas G, Emilio y Murillo R., Mario. **Composición química de sub productos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo.** Agroindustria Costarricense, 1978.

2.2.1.1 Poder calorífico

Una de las características más aprovechadas de la cascarilla de arroz es su poder para generar energía calorífica, esta dependerá de la cantidad de humedad que presente el material al someterlo a la combustión, afectando directamente la eficiencia.

Tabla III. Poder calorífico en función de la humedad

Contenido de Humedad	Poder Calorífico (kj/kg)
0	19,880
10	17,644
20	15,412
30	13,180
40	10,947
50	8,715
60	6,413

Fuente: Vargas G. Emilio y Murillo R. Mario. **Composición química de sub productos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo.** Agroindustria Costarricense, 1978.

2.2.2 Características Químicas

Esta básicamente constituida por carbohidratos complejos insolubles. Otros materiales que constituyen la cascarilla de arroz son la lignina, hemicelulosa y la celulosa, en las siguientes cantidades:

Tabla IV. Composición química de la cascarilla de arroz

Parámetros	% en la cascarilla de arroz
Celulosa	33.47
Lignina	18.8
Hemicelulosa	21.03
Otros	26.7
Total	100

Fuente: Residuos agrícolas <http://www.estrucplan.com.ar/>

La lignina al ser sometida a temperaturas altas produce una propiedad aglomerante en el material, transformándolo en una pasta sólida, difícil de romper.

Tabla V. Composición mineral de la cascarilla de arroz

Compuesto	% en Peso
SiO ₂	42.08
K ₂ O	0.47
MgO	0.05
CaO	0.13
Perdida en peso	57.27

Fuente: Gonzáles de la Cotera, Manuel. **Morteros Ligeros de Cáscara de Arroz**. Lima, Perú.

La aparición del SiO₂ en la cascarilla la hacen compatible con el concreto, simplemente sometiéndola a un tratamiento sencillo previo a mezclarla con el concreto.

2.3 Usos, ventajas y limitantes

A nivel mundial este material se utiliza en la propia industria agrícola, aprovechándose como abono en algunos cultivos debido a su composición mineral. En otros casos las granjas avícolas lo reutilizan como piso en los gallineros, en algunos casos se incinera para generar energía calorífica que sirve para secar el grano de arroz cosechado, en menor escala y solo en algunos países se ha procesado para optimizar y comercializar este último uso. Uno de los últimos experimentos realizados en México sugiere que se reutilice desarrollando un material aglomerado a base de cascarilla de arroz, que puede utilizarse para la fabricación de muebles, paneles, y otros artículos, aprovechando su bajo coeficiente de dilatación, por lo que no se deforma con los cambios de temperatura. En cuanto a la industria constructora solamente se han realizado algunos estudios en los cuales se ha trabajado este material, obteniendo resultados variados. En Perú se realizó un estudio en el cual se propuso el uso de este material como agregado en concreto para fabricar ladrillos blocks y tejas. En China se estudio la posibilidad de obtener sílice con la incineración de este material para poderlo añadir al concreto.

2.3.1 Ventajas

Una razón para utilizar este material es el actual crecimiento a nivel mundial de la producción de grano de arroz, ya que es un alimento de gran demanda, por otra parte un alto porcentaje de este material se desecha causando contaminación al medio ambiente y si se crean nuevas formas para reutilizarlo se puede disminuir el material de desecho.

En el área que nos interesa que es el de la construcción podemos mencionar las siguientes:

- a. Estructura física
- b. Composición mineral
- c. Bajo costo
- d. Disponibilidad en áreas específicas
- e. Manejable
- f. Fácil de transportar

En los siguientes años, se espera un crecimiento sustancial en la industria arrocera por tanto se contara con cascarilla en diferentes zonas de Guatemala y podrá ser aprovechada por las constructoras nacionales y extranjeras.

2.3.2 Limitantes

Para este tipo de material se presentan algunas situaciones que pueden significar obstáculos para su total aprovechamiento. En la construcción se requiere de materiales prácticos, eficaces y económicos. Tomando en cuenta lo anterior cabe mencionar las siguientes posibles limitantes del material:

- a. Requiere de un tratamiento previo
- b. Baja capacidad de absorción
- c. Cambio en volumen en función del contenido de humedad

Las anteriores serian las principales limitantes de la cascarilla, lo cual ha significado la escasa utilización de esta en el área de la construcción.

2.4 Rendimiento

El rendimiento de la cascarilla es de aproximadamente el 20% del peso que se obtiene de grano ya procesado, el cual podría tener variaciones no significativas debido al proceso de separación del grano.

2.5 Requerimientos para trabajar como agregado orgánico

Un agregado orgánico debe proveerle al concreto propiedades benéficas afectando su desempeño en lo más mínimo. En la práctica debemos cerciorarnos de los cambios que un agregado le puede significar a una mezcla de concreto, tomando las debidas precauciones y aplicar técnicas previas a la realización de este. Deberán de controlarse los siguientes puntos antes de agregar la cascarilla a una mezcla:

- a. Limpieza de la cascarilla
- b. Mineralización

2.5.1 Limpieza

La cascarilla de arroz se obtiene de un proceso industrial, el cual es realizado en una maquina que trabaja a base de aire. Los granos de arroz pasan sometidos a presión por rodillos los cuales separan el grano y aplicándole aire la cascarilla sale impulsada hacia los depósitos (bodegas) donde se acumula en pequeñas montañas (3 metros de altura aproximadamente).

Todo este proceso permite que grandes cantidades de polvo y residuos se adhieran al material, lo cual afecta ampliamente sus características, siendo por lo tanto indispensable su limpieza para evitar cambios en la absorción ya que el polvo puede absorber mayor cantidad de agua variando negativamente la dosificación de un concreto.

2.5.2 Mineralización

Un agregado orgánico puede afectar un concreto si no se controla debidamente ya que es un material biodegradable, el desempeño y la durabilidad de un concreto dependen del control que tengamos sobre la descomposición que sufre este material. Existen algunos procedimientos que se pueden aplicar para que la descomposición no signifique ningún riesgo al momento de curar una mezcla. El lavado exhaustivo de la cascarilla da como resultado un material libre de contaminantes y polvo que puedan significar cambios en el concreto pero es necesario someter el material a un procedimiento más para garantizar su buen funcionamiento.

La mineralización es un proceso sencillo en el cual el material se sumerge en lechada de cal por 24 horas aproximadamente lo cual evitará que en el proceso de curado del concreto este se descomponga afectando la mezcla. Una mineralización busca llenar los poros abiertos que pueda tener la cascarilla y evitar de esta manera variaciones en la capacidad de absorción del material. Cubriendo los pasos anteriores con un control adecuado, la cascarilla no significara ninguna dificultad para poder trabajar como agregado orgánico en un concreto ligero.

2.6 Normas aplicables

Para poder trabajar materiales de construcción que tengan el desempeño esperado o calculado debemos someterlos a pruebas o ensayos establecidos en las diferentes normas que se encargan de regular la calidad y propiedades de los mismos.

Generalmente se trabaja en base a lo establecido en las Normas ASTM, COGUANOR, entre otras.

Para poder señalar una norma que pueda ser aplicada al material en estudio deberán ser solamente aquellas que se refieren a los agregados gruesos cuando la cascarilla trabaje como tal, por ejemplo: la norma ASTM C-127 que se refiere al peso específico de los agregados, debido a la necesidad de conocer esta información de la cascarilla al momento de trabajarla como un agregado en concreto, la norma ASTM C-128 que se refiere a la absorción de los agregados siendo importante conocer esta propiedad de la cascarilla puesto que puede afectar la cantidad de agua que requiere la proporción del diseño de la mezcla de concreto. Debido a que este es un material trabajado netamente en los laboratorios, no se cuenta con normas que regulen sus características y propiedades, existen sin embargo normas referentes a los desechos orgánicos pero no son específicas para el área de la construcción por tanto no se refiere alguna.

3. CONCRETOS LIGEROS

3.1 Definición

Un concreto ligero es sencillamente el que presenta una baja densidad o peso específico, otra de las características físicas que se pueden observar en este tipo de concreto es su alta capacidad aislante. Estas características variaran en función de los materiales o técnicas que se utilicen en la fabricación final del concreto. El peso de un concreto ligero oscila entre los 16 a 53 kg/m³.

3.2 Tipos

Dentro de los concretos ligeros al igual que en los utilizados comúnmente en la construcción, se encuentran diferentes tipos los cuales presentan distintas propiedades. Encontramos tres tipos que se diferencian entre si por el método que se utilizó para alcanzar las propiedades deseadas del concreto:

3.2.1 Concreto ligero celular

Este concreto es el resultado de trabajar una mezcla de cemento con una mínima cantidad de agregado fino, sometiendo esta a un proceso mecánico o químico que permita la creación de una gran cantidad de vacios o cavidades de forma esférica en la estructura física del concreto. Dichas cavidades se les conoce con el nombre de alvéolos, al crear estos en el concreto se debe garantizar que sean indeformables con dimensiones aproximadamente iguales ya que estos vacios serán los que sustituyan a los agregados gruesos dando de esta manera la densidad deseada para trabajar. De igual forma esto permite respetar la definición de concreto la cual nos indica que es la mezcla de cemento con agregado grueso y fino con una dosificación de agua.

3.2.1.1 Concreto ligero gaseoso

Estos se obtienen por desprendimiento de gases en el interior de la mezcla debido a una reacción química. Esto se logra añadiendo a la mezcla productos químicos que reaccionan con el agua permitiendo el desprendimiento de gases que crean los vacíos. Esto se puede realizar agregando dos productos o bien uno solo dependiendo de la disponibilidad de los mismos. Se utilizan con más frecuencia la combinación de ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio, el cual genera un desprendimiento de gas carbónico, otra de las combinaciones utilizadas es la del cloruro de cal y agua oxigenada generando oxígeno, se pueden utilizar productos sin necesidad de combinarlos como las sales y los polvos metálicos, los cuales reaccionan sin necesidad de mezclarlos con otros productos químicos.

3.2.1.2 Concreto ligero de espuma

Lo que se busca en estos concretos es la creación de los alvéolos con la única diferencia que el método que se utilizara se basa en hacer reaccionar un producto químico por agitación al momento de la mezcla de los materiales del concreto, de esta manera produzca espuma con gran cantidad de burbujas las cuales finalmente fabrican los alvéolos de una dimensión aproximadamente igual.

Los productos que se pueden utilizar para alcanzar la reacción pueden ser: detergentes, jabones resinosos, colas animales o vegetales, resinas vinílicas entre otros.

3.2.2 Concretos ligeros con agregados livianos

Para obtener un concreto ligero de este tipo se sustituyen los agregados minerales densos utilizados comúnmente para elaborar la mezcla por agregados de origen orgánico o inorgánico con una menor densidad o menor peso específico aparente.

Los alvéolos que se requieren para que el concreto sea liviano son aportados por dichos materiales, estando distribuidos de una manera mas heterogénea, estos presentaran una estructura semejante a la de los concretos comunes.

Para clasificar a un concreto de este tipo se requiere que los agregados livianos estén repartidos de manera regular en la mezcla, que no se concentren en un solo punto debido al mortero del cemento y que no presenten un alto porcentaje de absorción. Por tanto, se pueden clasificar en base al tipo de material que se utilice para su fabricación.

3.2.2.1 Concretos ligeros con agregados inorgánicos

Los agregados de este tipo pueden tener dos orígenes, natural o artificial. En ambos casos deberán de cumplir con las características de trabajabilidad antes mencionadas.

3.2.2.1.1 Agregados naturales

Estos agregados los podemos encontrar en bancos o yacimientos naturales sometiéndolos a un proceso previo de molido y clasificación para poder utilizarlos. Las rocas de origen sedimentario pueden ser procesadas para poder trabajar en estos concretos, teniendo como las más recomendables las diatomitas que no son más que residuos microscópicos de esqueleto silíceo de un organismo fósil. Este material presenta en su estructura una gran cantidad de poros y canales, su densidad es muy reducida por lo cual se debe de controlar cuidadosamente la cantidad de agua que se utilizará, ya que puede significar una alta retracción en el fraguado y endurecimiento del concreto.

Otras rocas que se pueden utilizar con el debido proceso de triturado son las ígneas las cuales presentan una estructura celular esponjosa, la mas común es la piedra pómez la cual se encuentra en bancos de un metro de espesor aproximadamente se encuentran mezcladas con ceniza volcánica, detritos y esquistos, que deben ser eliminados por medio de un lavado y flotación reduciendo en un gran porcentaje su peso específico, el cual se encuentra entre 500 y 700 kg/m³.

Las escorias volcánicas son materiales de células más grandes menos numerosas y más irregulares que la pómez, su peso específico se encuentra entre los 700 y 1,500 kg/m³.

3.2.2.1.2 Agregados artificiales

Para obtener este tipo de agregados se deben de someter los materiales a procesos del tipo industrial. Entre los principales encontramos las arcillas y pizarras, sometiéndolas a un calentamiento rápido a una temperatura adecuada se dilatan dando origen a un material poroso de estructura celular ideal para disminuir el peso específico del concreto. Este material se encuentra en canteras en donde es triturado, molido y debidamente mezclado, luego se introduce en hornos a una temperatura que oscila entre los 1100 y 1400 °C. En este proceso se da la formación de alvéolos que son generalmente de dimensiones mayores a los de la piedra pómez esto puede ser controlado regulando el tiempo de enfriado. El peso específico de este puede ser de 350 hasta 1200 kg/m³.

La escoria proveniente de la quema del carbón puede ser utilizada ya que posee una estructura celular sufriendo en algunos casos vitrificación, se requieren precauciones para poder trabajarlas en concretos ligeros ya que la presencia de carbón sin quemar puede crear una inestabilidad dando origen a eflorescencias. Así mismo el porcentaje de sulfatos no debe sobrepasar el 1% para evitar la expansión del producto.

Las escorias granuladas de altos hornos son otro tipo de material que se puede utilizar, estas se originan en la industria siderúrgica debido al enfriamiento brusco de las escorias en fusión este fenómeno se debe a la cantidad de agua que se utiliza para lograr el enfriamiento. Obteniendo de esta forma un material amorfo con una contextura vítrea con un tamaño de 0 a 5 mm. La resistencia varia de acuerdo a la temperatura y la velocidad de enfriamiento a la salida del horno presentando un peso específico que se encuentra entre 900 y 2000 kg/m³.

Escorias expandidas son las originadas en los altos hornos de la industria siderúrgica a diferencia de las granuladas, estas son específicamente las que salen a una temperatura de 1400 °C sometiéndolas posteriormente a chorros de agua a presión en una cantidad limitada provocando de esta manera la formación de burbujas en el material dando como resultado final una gran cantidad de poros uniformes bien formados.

Este material se somete a un triturado y cribado obteniendo partículas de un tamaño que oscila entre 0 y 3 mm recibiendo el nombre de arena de escorias. Finalmente podemos hacer mención de los desechos o residuos de ladrillo, los cuales provienen de los hornos o de la recuperación de escombros. Este material presenta un peso específico que varía entre 900 a 1200 kg/m³ su porosidad dependerá únicamente de los materiales y método de fabricación utilizados. El material proveniente de escombros será triturado y cribado clasificándolo exclusivamente por el tamaño de los granos obtenidos. Los granos menores a 3 mm deberán desecharse debido a que son los que presentan la mayor cantidad de impurezas.

3.2.2.2 Concretos ligeros con agregados orgánicos

Por su naturaleza, los materiales orgánicos dan como resultado concretos extremadamente livianos con cualidades aislantes muy buenas, pero viendo reducida la resistencia en un porcentaje muy alto a las reacciones físicas así como las químicas.

Para garantizar el funcionamiento de este tipo de materiales en las mezclas con cemento se somete a un proceso previo conocido como mineralización, que no es más que lograr que el elemento orgánico se constituya como un mineral y de esta forma no se descomponga en el proceso de curado debido a la presencia de agua.

Este proceso consiste en agregar productos químicos a los componentes orgánicos, teniendo diferentes opciones para poder garantizar el correcto funcionamiento del agregado orgánico.

Una de las opciones más prácticas es impregnar el agregado con una lechada de cal que evitara la descomposición de este, se puede utilizar una mezcla con una relación de 1:6 en peso de cal con agua. En algunas ocasiones se puede agregar soluciones salinas como cloruros, sulfatos o silicato de sodio, dependiendo esto de la disposición de dichos productos. Entre estos concretos podemos encontrar los siguientes que se diferencian por el tipo de material utilizado en sustitución de los gruesos.

3.2.2.2.1 Concretos con aserrín y virutas

Dependiendo de la madera utilizada estos concretos presentan diversas características debido a la composición de la madera, en general toda fibra de madera contiene un alto porcentaje de tanino en su composición el cual es un agente que reacciona con el concreto y por esta razón se debe evitar trabajar maderas que contienen un mayor porcentaje de este en su composición. Entre las maderas que contienen mayor cantidad de tanino están: el roble, el sauce, el olmo, el castaño entre otros, siendo por contrario los mas recomendables: el pino, el abeto y el álamo.

3.2.2.2.1.1 Concreto ligero con aserrín

El aserrín a utilizar debe ser preparado y secado previo a mezclarlo con el cemento, tomando en cuenta realizar una granulometría que nos garantice un tamaño entre 1 y 5 mm. Para trabajar este concreto se mezcla el aserrín directamente con el cemento en una relación que puede ser 1:1 hasta de 1:5 pudiendo decir que la relación intermedia de estas es la que muestra un mejor rendimiento siendo esta la de 1:3.

Las características principales que deben de tomarse en cuenta para elaborar concretos ligeros con este tipo de material son: el aserrín deberá tener un porcentaje de humedad menor al cincuenta por ciento, mezclar el cemento con el aserrín hasta obtener una mezcla con color homogéneo, el curado será de un mínimo de siete días finalmente no se le aplicaran cargas en un periodo no menor a tres semanas.

3.2.2.2.1.2 Concreto ligero con virutas

Este material proviene de las máquinas de aserraderos (cepillos), al cual se le debe de eliminar cualquier cantidad de aserrín contenido debido al proceso industrial, posteriormente se le someterá al proceso de mineralización mas conveniente luego se mezcla con el cemento agregando la cantidad de agua requerida para la resistencia esperada en el diseño previo de la dosificación.

3.2.3 Concretos ligeros sin finos

Fundamentalmente estos concretos trabajaran en la ausencia total de los agregados finos utilizando solamente agregados gruesos. Estos concretos trabajan con una cantidad reducida de cemento en comparación a los utilizados comúnmente y debido a la ausencia de agregado fino se propicia la creación de huecos llenos de aire en la estructura ya que el aglomerante se limita a enlazar los gruesos.

3.3 Características

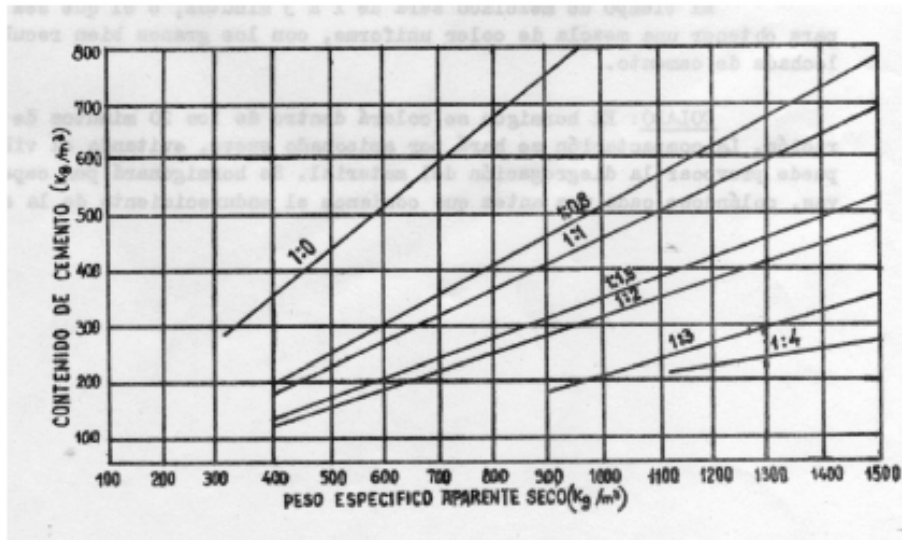
Esencialmente, los concretos ligeros presentan una reducción significativa en su peso específico aparente, lo cual le permite un mejor aislamiento térmico como acústico. Debido a las diferencias que existen entre las técnicas para la elaboración y los materiales utilizados de estos concretos, se deberán analizar individualmente sus características.

3.3.1 Concretos ligeros celulares

3.3.1.1 Peso específico

Una de las característica principales es la del peso específico ya que es la que permitirá al concreto ser utilizado en diferentes partes de un obra brindando las propiedades esperadas a la estructura en construcción y en este tipo de concretos se presentará en un rango que va de 300 a 1400 kg/m³.

Figura 1. Relación peso específico - contenido de cemento



Fuente: Aramayo, Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

La gráfica muestra los valores que existen en la relación entre el peso específico seco de los concretos ligeros celulares y la cantidad de cemento de la mezcla.

3.3.1.2 Resistencia

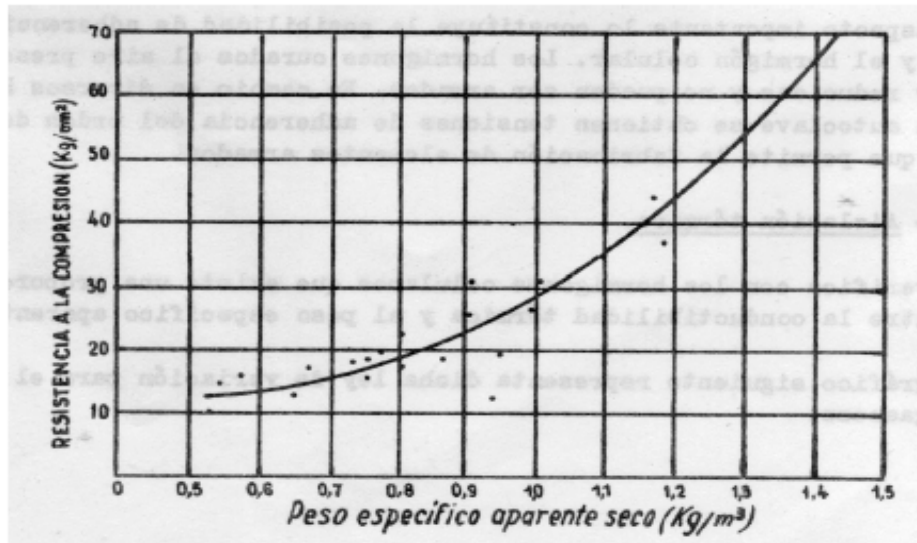
La resistencia en este tipo de concretos se vera afectada debido a las siguientes condiciones:

- a. Homogeneidad del concreto
- b. Dosificación (cemento, agregados y agua)
- c. Peso específico
- d. Procedimiento de curado

Para poder tener un control de las propiedades de la mezcla final, deberán de tomarse medidas de control al momento de elaborar el concreto de esta manera garantizar un producto homogéneo. La resistencia podrá variar significativamente debido al grado de fineza del cemento así como la dosificación del mismo.

Si el peso específico del concreto aumenta la resistencia será mayor variando esta última condición en base a los materiales que se utilicen para su fabricación.

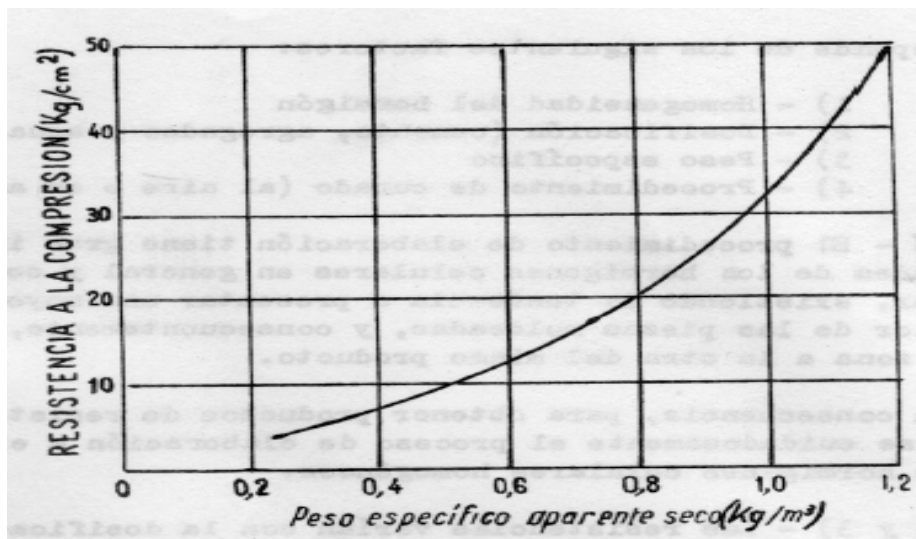
Figura 2. Relación resistencia – peso específico



Fuente: Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

En la gráfica se puede ver la relación que existe entre el peso específico y la resistencia de un concreto ligero celular a base de polvo de aluminio.

Figura 3. Relación resistencia a compresión – peso específico



Fuente: Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

La gráfica muestra la relación que existe entre el peso específico y la resistencia de un concreto ligero celular de espuma.

3.3.1.3 Aislamiento térmico

Esta es una de las mejores cualidades que brinda un concreto ligero (celular), debido a que su estructura guarda gran cantidad de vacíos llenos de aire que se encuentra prácticamente en reposo.

3.3.1.4 Retracción

Se presenta en un alto porcentaje debido a la falta de control al momento de elaborar la mezcla, los concretos no homogéneos serán los que mayor retracción presenten. Si se obtiene un concreto con peso específico de 600 a 800 kg/m³ la retracción puede llegar a 5 mm/m.

Se puede evitar este fenómeno sometiendo al concreto a un curado en autoclave pero además de esto existen consideraciones sencillas que pueden reducir los efectos de la retracción:

- a. Garantizar homogeneidad al momento de realizar la mezcla de materiales
- b. Realizar un curado al aire lento y progresivo

3.3.1.5 Absorción

Debido a la cantidad de gases o aire que se encuentran en el interior del concreto y que los alvéolos están distribuidos a lo largo de toda la estructura y si se garantiza que no existe intercomunicación entre ellos la penetración del agua se da en un porcentaje muy bajo. La higroscopicidad es mínima y el aumento del peso es aproximadamente de un 13% a los 60 días y de 21% a los 360.

3.3.1.6 Resistencia al fuego

La composición de este tipo de concretos es en su totalidad de materiales inertes minerales, lo cual le permite un buen comportamiento en presencia de fuego.

3.3.1.7 Aislamiento acústico

La estructura del concreto a base de alvéolos que contienen aire indica que es altamente resistente al paso de las ondas del sonido.

3.3.1.8 Poder ser clavados y serruchados

Un concreto homogéneo y que sea curado correctamente presentará una mayor facilidad para ser clavado y serruchado.

3.3.1.9 Fragilidad

Debido a que el peso específico es bajo, la fragilidad de estos concretos es alta y deberán de manejarse con precauciones especiales para evitar su deterioro o destrucción.

3.3.2 Concretos ligeros con agregados livianos

3.3.2.1 Peso específico

En estos concretos el valor del peso específico se verá afectado directamente por el tipo de materiales que se utilicen para fabricarlos. Cada material proveerá características de peso diferentes buscando finalmente la reducción de este.

3.3.1.2 Resistencia

Esta varía respecto a los materiales que se utilicen en la mezcla, si se trabajan materiales con granulometría variada que no presenten diámetros similares dará como resultado una disminución en la resistencia. Por lo contrario, si los agregados son de dimensiones aproximadamente iguales la resistencia será mayor.

3.3.1.3 Aislamiento térmico

El peso específico determinara el gradiente de conductibilidad térmica, si se utilizan materiales muy porosos este se aumentaría considerablemente. La media del gradiente en estos concretos es de $0.2 \text{ kcal./m}^{\circ}\text{Ch}$ para un peso específico de 1200 kg/m^3 , siendo aproximadamente un cuarto del que se observa en un concreto ordinario.

3.3.1.4 Retracción

La retracción en estos concretos puede llegar a ser el doble que la de un concreto común debido a la naturaleza de los materiales utilizados ya que estos están sometidos a tensiones internas provocadas por la lechada del cemento dando lugar a su deformación. El agua a utilizar en la mezcla de estos es considerablemente mayor a la utilizada en concretos comunes dando como resultado un material poroso. Todo esto puede variar de acuerdo a los agregados que se utilicen observando que algunos de estos pueden producir concreto con una alta capacidad de deformación sin sufrir fisuras.

3.3.1.5 Absorción

Este valor puede llegar a ser elevado debido a los materiales que se utilizan para fabricarlos, un valor puede encontrarse entre el 18 y 30% mientras que el valor de un concreto común oscila entre el 7.5 y 23%.

3.3.1.6 Resistencia al fuego

Generalmente, estos concretos presentan una resistencia alta al fuego teniendo a los agregados silicios como los más resistentes a dicho elemento.

3.3.1.7 Aislamiento acústico

Los agregados livianos proveen al concreto una alta resistencia al paso del sonido, tomando en cuenta el peso específico final que presente el concreto.

3.3.1.8 Poder ser clavados y serruchados

Esta propiedad la definirá la dureza del material empleada como agregado, los concretos con arcillas y que tengan una presencia de arena en su composición serán más difíciles de trabajar con sierras y clavos. Al contrario los elaborados con materiales livianos presentan mayor facilidad para trabajar con estas herramientas.

3.3.3 Concretos ligeros cavernosos o sin finos

3.3.3.1 Peso específico

Estos pueden ser fabricados con materiales ordinarios dando como resultado un material con un peso específico que oscila entre 1600 y 1900 kg/m³ así mismo se pueden elaborar con agregados livianos dando pesos específicos de 700 a 1000 kg/m³.

3.3.1.2 Resistencia

Estos pueden proporcionar una resistencia a compresión aproximadamente de 12 a 90 kg/cm² y tener un ¼ de este valor en la resistencia a flexión por tracción.

3.3.1.3 Aislamiento térmico

Dependerá de la porosidad del concreto, la estructura del agregado y de la relación agua cemento de la mezcla.

3.3.1.4 Retracción

Debido a la cantidad menor de agua que se requiere para fabricarlos la retracción en estos puede llegar a ser la mitad de los concretos comunes. Los valores pueden estar entre los 0.4 y 0.5 mm/m, pudiendo observarse en los primeros 10 días de fraguado.

3.3.1.8 Poder ser clavados y serruchados

Los que se fabrican con materiales ordinarios presentaran dificultad para poder ser clavados y aserrados no así los que se elaboren con agregados livianos.

3.4 Composición

Para poder fabricar concretos ligeros que garanticen trabajabilidad así como calidad en las propiedades esperadas, es importante emplear materiales y los métodos adecuados para elaborarlos tomando como base el uso que se requiere buscando finalmente elaborar un concreto económico.

3.4.1 Concreto ligero gaseoso

En este tipo de concreto se crea una reacción química dentro de la mezcla para la creación de alvéolos logrando de esta manera alcanzar un peso específico aparente menor al del concreto común. Esto se puede alcanzar aplicando distintos procesos.

3.4.1.1 Incorporación de productos químicos

Para crear burbujas internas en el concreto es necesario agregar dos químicos que reaccionen entre si o uno solo que al ser mezclado con el cemento y el agua reaccione dando el mismo resultado que con lo ya mencionado anteriormente. La selección de los productos a utilizar dependerá específicamente de la disponibilidad de estos así como su economía.

Una de las combinaciones más utilizadas es la del ácido clorhídrico con bicarbonato de sodio, la mezcla de estos productos genera el desprendimiento de gas carbónico generando los alvéolos.



Se puede trabajar con un químico que genere la reacción esperada por si solo, es el caso de las sales (carbonatos y bicarbonatos) y los polvos metálicos (aluminio, zinc, magnesio, calcio, bario y litio) que reaccionaran con la presencia del cemento y el agua.

3.4.1.2 Incorporación de levaduras orgánicas

Se buscará un producto que genere una fermentación debido al calor de hidratación del cemento y de esta manera se desprendan los gases que dan forma a los alvéolos. Se puede agregar una levadura orgánica la cual trabajara de acuerdo a lo antes señalado. Este método es de menos uso ya que no está establecida la cantidad y calidad de las burbujas generadas en la práctica.

Los productos pueden incorporarse antes del mezclado una vez que este haya sido concluido. El desprendimiento de los gases se espera para el momento en que la mezcla esta colocada en el molde final.

3.4.2 Concreto ligero de espuma

Se obtienen incorporando a la mezcla un producto que con el efecto de la agitación genere los alvéolos. Los materiales mas utilizados son los jabones resinosos, detergentes, saponina y las resinas vinílicas. La espuma se puede generar al momento de mezclar los materiales del concreto junto con el agente espumoso, para esto se debe de tomar en cuenta la velocidad de la mezcladora procurando trabajar a no mas de 90 revoluciones por minuto o bien crear la espuma en un lugar diferente al de la mezcla e incorporarla luego como un agregado más.

Los aspectos que controlan la cantidad de agente espumoso utilizar son los siguientes:

- a. Tipo de mezcladora utilizada
- b. Consistencia de la mezcla
- c. Proporciones de la mezcla
- d. Velocidad de mezclado
- e. Duración del período del mezclado
- f. Cantidad de materiales mezclados

El peso específico de la espuma deberá estar entre 30 y 80 kg/m³.

3.4.3 Concretos ligeros con agregados livianos

Las diferentes fuentes de materiales orgánicos e inorgánicos para formar estos concretos es muy amplia y la composición dependerá del origen de estos. Si el material es inorgánico su origen será ígneo o sedimentario, entre las más comunes se encuentran las tierras diatomáceas, las conchillas calcáreas, la piedra pómez, escorias volcánicas y las tobas siendo todos estos materiales naturales. Se pueden utilizar materiales llamados artificiales como las pizarras y los silicatos expandidos (perlita, vermiculita).

Pueden utilizarse escorias granuladas de altos hornos, escorias expandidas y cascotes de ladrillos, siendo todos estos subproductos de procesos industriales establecidos.

3.4.3.1 Materiales naturales

3.4.3.1.1 Tierras diatomáceas

Básicamente se conforman de residuos microscópicos del esqueleto silíceo de un organismo fósil. Este material posee una textura acanalada y porosa en su superficie con una densidad aparente muy baja lo que permite obtener un concreto muy ligero aunque con una resistencia muy baja.

3.4.3.1.2 Piedra pómez

Es una roca ligera bastante fuerte y son utilizadas como agregado ligero sin necesidad de someterlas a ningún proceso previo a su uso. Esta piedra es muy porosa y posee un color amarillento generalmente aunque se le puede encontrar en color rojo café o inclusive negro en bancos o camas de gran tamaño. El concreto fabricado con este material llega a pesar de 41 a 45 kg/m³.

3.4.3.1.3 Escorias volcánicas

Esta es una roca volcánica de textura vidriosa con estructura vesicular se encuentra generalmente en color rojo mezclado con negro, el concreto que se obtiene con este material es considerablemente ligero llegando a pesar de 41 a 50 kg/m³.

3.4.3.1.4 Tobas

Estas rocas se forman de la consolidación de ceniza volcánica dando como resultado final un material poroso ideal para trabajar como agregado liviano dando una densidad aparente muy baja al concreto.

3.4.3.2 Materiales artificiales

3.4.3.2.1 Arcillas y pizarras expandidas

Para poder obtener un material poroso de estructura celular se debe de calentar rápidamente la arcilla o las pizarras a una temperatura adecuada. Para esto el material obtenido en las canteras se tritura y se somete luego a una temperatura de 1100 a 1400 °C la reacción esperada es un desprendimiento gaseoso en el interior creando de esta manera alvéolos distribuidos uniformemente en todo el material. El peso específico aparente de este tipo de material esta entre 350 a 1200 kg/m³. Se pueden encontrar estos materiales en el medio de la construcción con nombres comerciales como: lytag, porag, nodulite, cravelite así como clinker de arcilla.

3.4.3.2.2 Escorias granuladas de altos hornos

Este tipo de agregado proviene del enfriamiento brusco de las escorias en fusión de las siderúrgicas, este enfriamiento se induce a través de agregar una cantidad grande de agua dando como producto final un material amorfo de contextura vidriosa. El peso específico aparente oscila entre 900 y 2000 kg/m³.

3.4.3.2.3 Cascotes de ladrillos

Son los restos o desperdicios que quedan en los hornos donde se fabrican los ladrillos comunes. Las características de este tipo de agregado dependen de los materiales utilizados en la fabricación de los ladrillos. Su peso específico aparente oscila entre 900 y 1200 kg/m³.

El único tratamiento previo será la trituración para alcanzar una granulometría menor, de acuerdo a la necesidad que se tenga en la construcción o proyecto.

3.4.3.3 Materiales orgánicos

Actualmente, se tiene experiencia con materiales orgánicos provenientes básicamente de los desechos generados en la agricultura así como de procesos industriales establecidos como el procesamiento de la madera en aserraderos. Principalmente se ha experimentado con los desechos de la madera proveniente del cepillado o acabado de esta, el aserrín, viruta y las fibras representan materia prima con características ideales para trabajar como agregado liviano en un concreto ligero. En cuanto a los desechos de la cosecha de productos como el arroz, caña de azúcar e inclusive la de maíz, son igualmente materiales que pueden ser aprovechados en la producción de concreto ligero, necesitando un tratamiento previo para poder desempeñar esta función.

3.4.3.3.1 Aserrín

Este material necesita un tratamiento previo que consiste en tamizarlo para poder obtener partículas no mayores a los 5 mm, luego debe secarse de tal manera que la humedad contenida naturalmente en la madera procesada afecte la relación agua cemento calculada previamente esta se estima de un 50%. El aserrín procesado se mezcla con el cemento y el agua hasta obtener una mezcla consistente y uniforme. Este tipo de concreto no trabajará con agregados gruesos ya que esto limita las propiedades deseadas.

Este concreto debe colocarse en su formaleta final de tal forma que este forme capas de no mas de 7.5 cm, se cura por un período no menor a siete días, evitando la aplicación de cargas en un período de 2 a 3 semanas.

Este concreto presenta facilidad de ser clavado y aserrado con un peso específico aparente que oscila entre los 900 y 1200 kg/m³. Las proporciones recomendables para este material son de 1:1 y 1:5 obteniendo concretos mas resistentes y durables si se aumenta la relación cemento-aserrín disminuyendo de esta manera su aislamiento térmico y la absorción.

3.4.3.3.2 Fibras de madera

Son las generadas en los cepillos de los aserraderos estas presentan una forma alargada (en forma de listón) de 4 a 5 mm de ancho, 0.2 mm de espesor y de largo variable. Las fibras deben someterse al proceso de mineralización, luego se sumergen en una lechada de cemento evitando el exceso de esta. Este material se coloca en moldes previamente fabricados en donde se le aplica presión a todas las fibras para poder formar los elementos de concreto ligero.

3.4.3.3.3 Virutas de madera

Estas a diferencia de las fibras de madera que provienen de los cepillos de los aserraderos, debido a su tamaño menor al de las primeras estas son las que provienen de las carpinterías, para poder trabajar como agregado se les da un tratamiento de mineralización luego se mezclan con el cemento hasta quedar completamente cubiertas con una cantidad de cemento que represente el peso específico del concreto que se desea obtener, el curado que se le aplica puede ser de los utilizados comúnmente.

3.4.4 Concretos ligeros sin finos

La composición de este es el cemento mezclado con un solo tipo de agregado el cual no debe de sobrepasar los 30 mm de radio o de lado si las partículas son cúbicas. El agregado puede ser muy liviano o pesado según las necesidades requeridas en el proyecto. Se mezcla el agregado con el cemento y el agua necesaria para proveer una capa fina de aglomerante a todas las partículas mezcladas cuidando no excederse en la cantidad de agua para evitar el lavado de cemento en la superficie de estas, la relación para esto puede ser de 0.25 hasta 0.5. El tiempo de mezclado no debe exceder los 3 minutos o hasta obtener una mezcla de color uniforme.

La colocación de este debe de realizarse dentro de los siguientes 20 minutos de su elaboración formando capas consecutivas hasta llegar al peralte deseado, no se compactara o apisonara de una manera brusca para evitar el disgregado del material

4. AGREGADOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO

4.1 Definición

En la elaboración de concreto se debe cumplir con los elementos que lo conforman por definición, cemento, agua, agregados y aditivos. Los agregados son partículas de origen natural o artificial que forman la estructura rígida interna del concreto, evitando de esta manera el exceso de pasta cementante brindando a la mezcla resistencia a las acciones mecánicas como la abrasión producida por el intemperismo.

4.2 Tipos

Los agregados se clasifican por su origen en naturales y artificiales, por sus características físicas en angulares, sub angulares, sub redondeados, redondeados y muy redondeados, por su superficie pueden ser lisos, ásperos, granulares, vítreos y cristalinos. Por su densidad estos pueden ser livianos con pesos específicos menores a 2.5, normales con pesos específicos que oscilan entre 2.5 a 2.75 y pesados con pesos mayores a 2.75.

Por su tamaño pueden ser agregados finos (arenas) o agregados gruesos (gravas), la forma el tamaño y la textura de los gruesos puede influir directamente en la resistencia del concreto así como la humedad y textura que presentan los finos puede cambiar la dosificación de agua calculada previamente.

4.3 Características

Las características que presentan los agregados definen si este es adecuado para ser utilizado en determinadas obras, debido a que su influencia en la resistencia del concreto es directa por tanto es de suma importancia tener presente las siguientes y determinarlas antes de elegir un material:

4.3.1 Características físicas

4.3.1.1 Densidad

Estará definida por los minerales constituyentes, afectara directamente en el peso unitario del concreto. Si el agregado presenta una densidad baja significa que posee un porcentaje de absorción muy alto y una superficie porosa.

4.3.1.2 Porosidad

Esta define la superficie del agregado, especificando la cantidad de espacios vacios que este posee. Influirá principalmente en las propiedades mecánicas así como en la absorción y la permeabilidad del concreto.

4.3.1.3 Porcentaje de vacios

Es el espacio que se encuentra entre las diferentes partículas del agregado expresado en porcentaje este dependerá del acomodo de las partículas.

4.3.1.4 Peso unitario

Este dato se utiliza para poder transformar los datos de volumen a peso, se obtiene de dividir el peso total entre el volumen incluyendo los vacios. Si un agregado presenta un peso unitario alto se interpreta que la cantidad de cemento y agregado fino requerido para rellenar los vacios será menor.

4.3.1.5 Humedad

Representa la cantidad de agua retenida por las partículas, esta influye directamente en la cantidad de agua que se necesita para producir el concreto. Se obtiene de dividir la diferencia que existe entre el peso húmedo y el seco del material entre el peso seco y todo esto multiplicarlo por cien para poder expresarlo en porcentajes.

Tabla VI. Requisitos granulométricos para el agregado grueso

Tamaño Nominal	% Pasa por los tamices normalizados												
	100mm (4")	90mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50mm (2")	37.5mm (1½")	25mm (1")	19mm (¾")	12.5mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)
90 mm a 37.5 mm (3½" a 1½")	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
63 mm a 37.5 mm (2½" a 1½")	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
50 mm a 25 mm (2" a 1")	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--
50 mm a 4.75 mm (2" a Nº4)	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--
37.5 mm a 19 mm (1½" a ¾")	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--
37.5 mm a 4.75 mm (1½" a Nº4)	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--
25 mm a 12.5 mm (1" a ½")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--
25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--
25 mm a 4.75 mm (1" a Nº4)	--	--	--	--	--	100	95 a 100	--	25 a 65	--	0 a 10	0 a 5	--
19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--
19 mm a 4.75 mm (¾" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--
12.5 mm a 4.75 mm (½" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	--
9.5 mm a 2.36 mm (3/8" a Nº8)	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

Al clasificar el tamaño del agregado se debe tomar en cuenta la mayor cantidad de partículas que están presentes en la muestra analizada, la designación del tamaño comercial esta determinada por el porcentaje más alto. La cantidad de granos pequeños dentro del agregado es importante debido a que la cantidad de vacios dentro de la mezcla depende de ellos.

Tabla VII. Requisitos granulométricos del agregado fino

Tamiz	Límites Totales	% Pasa por los tamices normalizados		
		C	M	F
9.5 mm (3/8")	100	100	100	100
4.75 mm (N°4)	89 – 100	95 – 100	85 – 100	89 – 100
2.38 mm (N°8)	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.20 mm (N° 16)	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm (N° 30)	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm (N° 50)	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm (N° 100)	0 – 12	2 – 10	0 – 12*	0 – 12*

Fuente: Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

4.3.2 Características mecánicas

4.3.2.1 Resistencia

La resistencia de un agregado depende de la composición química, textura, estructura y forma de este, si el material es de textura rugosa proveerá de una mayor adherencia a la mezcla, los minerales dentro del material pueden afectar el desempeño así como la forma ya que un agregado cúbico o angular presenta mayor resistencia al contrario de bordes redondeados.

4.3.2.2 Tenacidad

Esta propiedad en los agregados es sumamente importante ya que puede afectar la resistencia al impacto del concreto. Se puede definir en gran parte por la textura, la flexión y la estructura del material. Una estructura poco resistente puede producir fallas en el concreto debido a la separación de sus partículas.

4.3.3 Características químicas

4.3.3.1 Relación alcali-sílice

Es la reacción del sílice en el cemento que no es más que el óxido de sodio o de potasio al momento de realizar la mezcla, dependiendo de la temperatura y humedad del ambiente siendo 30°C y 80% respectivamente las ideales para la reacción.

4.3.4 Otras características

4.3.4.1 Sustancias dañinas

Existen sustancias que pueden estar presentes en los agregados, los cuales deben estar presentes en porcentajes, de acuerdo a lo establecido, según normas o control de calidad.

Tabla VIII. Porcentajes permisibles de sustancias dañinas

Descripción	Agregados	
	Fino	Grueso
Partículas deleznable	3%	5%
Material más fino que el tamiz N° 200	5%	1%
Carbón y lignito	0.5	0.5%

Fuente: Gonzáles de la Cotera, Manuel. **Morteros Ligeros de Cáscara de Arroz**. Lima, Perú.

Se recomienda que los porcentajes establecidos no se rebasen, ya que esto influye directamente en la resistencia del concreto.

4.3.4.2 Materia orgánica

Esta se evalúa a través del ensayo del colorímetro, si el material cumple con los límites admisibles no afectará la resistencia si es lo contrario se utilizará solamente si la reducción de la resistencia a los siete días no es mayor al 5%.

4.3.4.3 Agregado global

Es el material que conforma el total de finos y gruesos cuya granulometría debe cumplir ciertos parámetros.

Tabla IX. Porcentajes de agregado global permisible

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa		
	Tamaño nominal 37.5 mm (1 ½ in)	Tamaño nominal 19.0 mm (¾ in)	Tamaño nominal 9.5 mm (3/8 in)
50 mm (2")	100	---	---
37.5 mm (1 ½")	95 a 100	100	---
19 mm (¾")	45 a 80	95 a 100	---
12.5 mm (½")	---	---	100
9.5 mm (3/8")	---	---	95 a 100
4.75 mm (Nº 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (Nº 8)	---	---	20 a 50
1.18 mm (Nº 16)	---	---	15 a 40
600 µm (Nº 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (Nº 50)	---	---	5 a 15
150 µm (Nº 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

Fuente: Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con Agregados Livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

4.3.4.4 Canteras

La selección de la cantera de donde se obtiene el material para producir el concreto dependerá de las características del proyecto, la disponibilidad del material y accesibilidad tomando en cuenta siempre el renglón económico.

4.4 Normas aplicables

Dentro de las normas de control de calidad que existen para el concreto están definidas las específicas para los materiales que trabajan como agregados. En general se trabaja con normas que dictan o definen los procedimientos para poder determinar las características de los materiales, esperando obtener resultados correctos cada vez que se realicen dichos procedimientos. Puesto que normalizar no es más que seguir una serie de especificaciones técnicas deben de seguirse tal como se dicten las mismas.

En el medio guatemalteco se encuentran las normas propuestas revisadas y autorizadas por la comisión de normas de Guatemala (COGUANOR) dichas normas son en algunos caso de carácter obligatorio por tanto deben seguirse fehacientemente. En el laboratorio donde se realizan la gran mayoría de ensayos para los agregados, se siguen comúnmente las normas ASTM las cuales tienen definidos los procedimientos para alcanzar los resultados deseados.

Las normas que se refieren al control de calidad del concreto se identifican con la letra C seguido del número que identificara dicha norma pudiendo encontrar un último número que indica el año en el cual fue aprobada dicha norma. Dichas normas serán detalladas en el capítulo siguiente.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Definición de muestra de estudio

El agregado ligero ha evaluar es de origen orgánico, la disponibilidad del material lo hacen un potencial recurso para la elaboración de concretos ligeros. La producción de arroz en Guatemala tiene una proyección de crecimiento en porcentajes muy altos generándose en consecuencia una gran cantidad de cascarilla además esta se encuentra en casi todas las zonas geográficas.

Para el efecto de la investigación se eligió la zona central del país, debido a la accesibilidad del material, pese a que la solución principal se enfoca a las zonas donde el agregado utilizado comúnmente es considerablemente escaso.

5.2 Muestreo

Los beneficios de arroz en la zona central de Guatemala, se localizan principalmente en Villa Nueva, así como en Chinautla, la muestra que se evalúa se obtuvo del beneficio Amanecer ubicado en la zona doce de la capital. El procedimiento para la toma de la muestra es simple ya que la cascarilla se puede recoger por medio de palas manuales y luego ser colocada en sacos plásticos.

Los sacos completamente llenos alcanzan un peso aproximado de 25 libras, los cuales fueron trasladados al centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ubicada en la zona 12 de la ciudad capital.

5.3 Caracterización de materiales

5.3.1 Cemento mezclado (puzolanico) ASTM C-595

El uso del cemento puzolanico se debe específicamente ha que es el cemento que se comercializa en Guatemala. El cemento utilizado es el cemento UGC 4000, cuyas especificaciones de dicho material las definen por los productores con una resistencia esperada de 4000 PSI.

No se selecciono el uso de un cemento de 5000 PSI ya que el uso estructural no esta contemplado para trabajar con el agregado orgánico.

5.3.2 Cascarilla de arroz

5.3.2.1 Limpieza

La cascarilla proveniente de la cosecha del arroz lleva un proceso sencillo el cual consta de los siguientes pasos:

- a. Corte de la planta de arroz con la segadora
- b. Los granos con cascarilla pasan por cilindros con superficie de hule que separan la cascarilla del grano
- c. Por medio de la aplicación de aire a presión la cascarilla pasa a ductos que la llevan a bodegas que se encuentran el los patios de los beneficios en algunos casos esta se deposita a la intemperie con el inconveniente de que se vuela una gran cantidad del material

En este proceso la cascarilla retiene una cantidad alta de desechos y polvillo, el cual se puede separar sometiéndola a un lavado prolongado ya que dicho polvillo afectaría su utilización en el concreto.

La muestra en estudio se sometió a un lavado prolongado de una hora aproximadamente, posteriormente se coloco en sacos para secarla bajo los rayos del sol esto para su posterior mineralización.

Figura 4. Lavado de la cascarilla



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

5.3.2.2 Análisis químico

El análisis realizado busca detallar las características que son útiles para que el material trabaje como agregado orgánico en el concreto ligero. Carbono fijo, porcentaje de humedad y el porcentaje de cenizas son los valores que se encontraron en el material, de acuerdo a los procedimientos del laboratorio de química industrial del centro de investigaciones de ingeniería (CII).

Tabla X. Propiedades químicas y físicas de la muestra

Muestra	Carbono Fijo (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)
1	3.79±0.036	7.96±0.713	85.82±0.117

Ensayo de reacciones químicas, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

5.3.2.3 Manejo y preparación

El manejo del material es muy práctico ya que se coloca fácilmente en sacos, los cuales si bien tienen un volumen grande presentan un peso muy reducido. El único inconveniente es el polvillo que se desprende al momento del llenado y vaciado.

Figura 5. Manejo de la cascarilla



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

5.3.2.3.1 Mineralización

El método de mineralización a utilizar se seleccionó debido a la disponibilidad de la cal así como su economía. Lo que se busca con este tratamiento es que la cascarilla adquiera una mayor resistencia al proceso de descomposición en la presencia de humedad. La cantidad de cascarilla tratada fue de 25 libras aproximadamente por carga. Se realizó un lavado prolongado previo a la mineralización solamente con agua a la misma cantidad de cascarilla por carga.

La cascarilla lavada se colocó en una pileta donde se encontraba la lechada de cal con proporción de 1:6 en volumen de cal y agua. Permaneciendo sumergida en dicha lechada 24 horas para su posterior secado ya que al momento de ser mezclada con los agregados y cemento el exceso de agua retenida afectaría la dosificación del concreto.

Para poder obtener un secado uniforme y rápido se colocó el material en bandejas de acero inoxidable, las cuales se introdujeron en el secador de la planta piloto del CII.

El tiempo para alcanzar el secado fue de aproximadamente 48 horas secando 25 libras de material por carga aproximadamente. El porcentaje de humedad que presentó al momento de salir de la lechada fue de 53% en contraste del 73% que presentó posterior al lavado.

Figura 6. Cascarilla curada con lechada de cal



Mineralización de la cascarilla de arroz, Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII Marzo del 2009.

El material luego de ser extraído de la lechada se colocó en bandejas para ser transportado.

Figura 7. Colocación del material en bandejas para secado



Figura 8. Secador de planta piloto



Secado de cascarilla en horno de planta piloto, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

El material se coloca en bandejas de acero inoxidable para secado.

Figura 9. Porcentaje de humedad



Toma de humedad en planta piloto, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

En la figura se puede observar el porcentaje de humedad de la cascarilla sometida a la temperatura de 105 °C.

5.3.2.4 Peso unitario

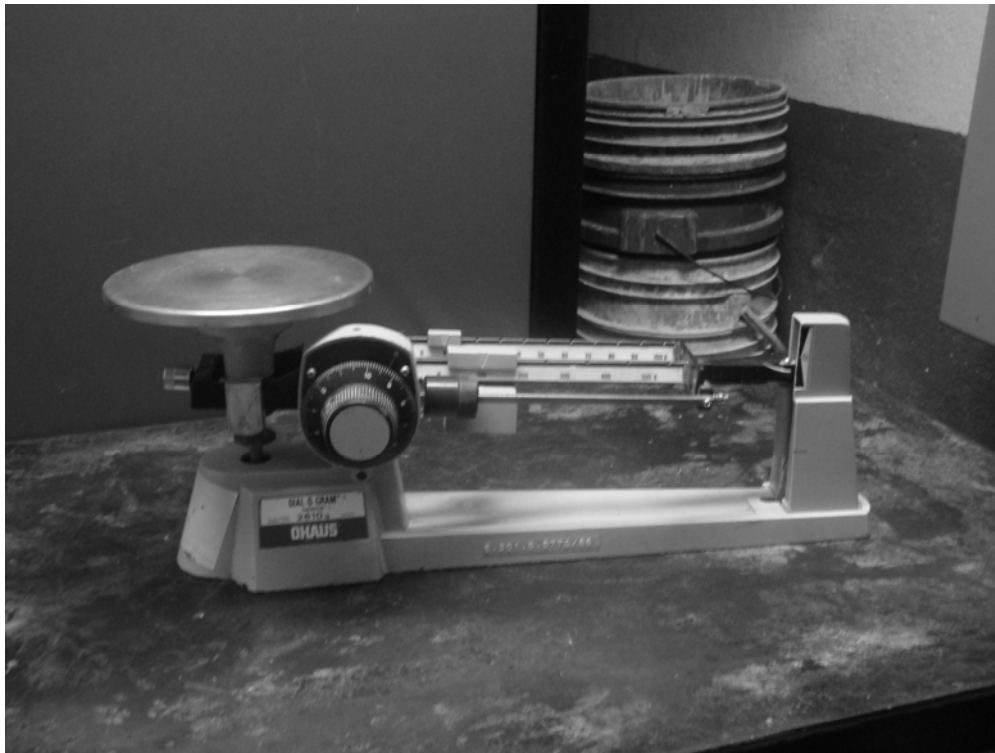
Para poder definir con precisión el peso que este material le proveerá al concreto, se realizo el procedimiento indicado en la norma ASTM C-29, la cual es para los agregados finos y gruesos que trabajan en mezclas para concreto. Debido a que los materiales orgánicos específicamente la cascarilla de arroz no esta normada aun como agregado, se aplico el método por ser el que más se adecua a las necesidades de la investigación.

Tabla XI. Peso unitario cascarilla de arroz

Peso unitario compactado kg/m^3	Peso Unitario Suelto kg/m^3
159.44	124.85

Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Septiembre del 2009

Figura 10. Toma de datos para peso unitario



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Para poder tomar lectura de estos se utilizo la báscula de mayor precisión.

5.3.3 Agregados

5.3.3.1 Físico

5.3.3.1.1 Peso específico

5.3.3.1.1.1 Agregado fino ASTM C-128

Es la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupa incluyendo los poros. El peso específico aparente es el que se calcula debido a que es más útil ya que con este dato se determina la cantidad requerida para producir un metro cúbico de concreto. Este puede afectar la dureza, resistencia mecánica y la durabilidad.

Figura 11. Equipo para ensayo peso específico agregado fino



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

El ensayo se realiza con 200 g de material seco-saturado, con una probeta de 500 ml la cual se pesa vacía, luego en conjunto con el agua y el material hasta los 500 ml, la probeta se debe agitar para evitar los vacíos entre las partículas del material por último se pesa la probeta solamente con agua hasta los 500 ml.

Tabla XII. Datos para el cálculo del peso específico agregado fino

Peso probeta	Peso prob+mat	Peso prob+mat+agua	Peso prob+agua	Peso mat
156.00	356.00	770.20	654.50	200.00
161.00	361.40	772.50	659.70	200.00
159.20	359.20	770.70	357.90	200.00

Datos para el peso específico, centro de investigaciones de ingeniería CII. Marzo del 2009.

Los datos permiten el cálculo del peso específico de acuerdo a la norma ASTM C-128. Tomando tres datos diferentes para hacer el promedio representativo y obtener el dato final a utilizar. El peso específico se puede representar por γ .

$$\gamma = \frac{\text{Peso material}}{\text{Peso material} + \text{Peso (material+probeta)} + \text{Peso (material+probeta+agua)}}$$

De esta manera se calculan los tres valores haciendo un promedio,

$$\gamma = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3}{3}$$

5.3.3.1.1.2 Agregado grueso ASTM C-127

El procedimiento para este es similar al del agregado fino, diferenciándose en la probeta solamente y que este no se agita, solamente se busca un acomodo de las partículas.

Figura 12. Probeta para ensayo peso específico agregado grueso



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010

Tabla XIII. Datos para el cálculo del peso específico agregado grueso

Peso probeta	Peso prob+mat	Peso prob+mat+agua	Peso prob+agua	Peso mat
334.10	536.20	1457.50	830.60	202.10
331.10	533.20	1453.00	826.10	202.10
330.70	531.70	1452.60	824.10	202.10

Datos para el peso específico, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

Se realiza el cálculo de igual manera que el efectuado anteriormente al agregado fino de esta manera se obtienen los tres datos para luego promediarlos.

$$\gamma = \frac{\text{Peso material}}{\text{Peso material} + \text{Peso (material+probeta)} + \text{Peso (material+probeta+agua)}}$$

De esta manera se calculan los tres valores haciendo un promedio,

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 / 3$$

5.3.3.1.2 Peso unitario ASTM C-29

Este ensayo esta bajo la misma norma para agregado fino como para el grueso, se diferencia en el volumen del recipiente que se utiliza para el llenado. Para el agregado fino se utiliza un volumen de 2.867 l en cuanto al grueso uno de 7 l.

Figura 13. Equipo para ensayo peso unitario agregado grueso



Figura 14. Equipo para ensayo peso unitario agregado fino



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Para realizar el ensayo se seca el material a utilizar, el cual se coloca en el recipiente tomando su peso, se pesa el recipiente vacío luego se pesa solamente el material. Este ensayo proporciona el peso en dos condiciones: suelto y compactado, calculando de esta manera el porcentaje de vacíos entre las partículas.

La manera correcta para colocar el material en el recipiente y compactarlo es colocar capas de 1/3 de la altura total, aplicando 25 golpes en cada una de las capas, luego se pesa.

5.3.3.1.2.1 Agregado fino

Para calcular el valor final se tomaron dos diferente series de datos para luego hacer un promedio.

Tabla XIV. Datos peso unitario agregado fino

	Suelto	Suelto	Compactado	Compactado
Peso recipiente	1706	1706	1706	1706
Peso rec + mat	5257	5224	5567	5547
Peso material	3551	3518	3861	3841
Volumen de rec	2.84	2.84	2.84	2.84

Datos para el peso unitario, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

Con los datos obtenidos se procede a calcular,

$$PU = \frac{\text{Peso material}}{\text{Volumen}}$$

Peso material en kg,
Volumen en m³

$$PU \text{ suelto} = 1244.5 \text{ kg/m}^3$$

$$PU \text{ compactado} = 1355.98 \text{ kg/m}^3$$

5.3.3.1.2 Agregado grueso

Realizando el mismo procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XV. Datos peso específico agregado grueso

	Suelto	Suelto	Compactado	Compactado
Peso recipiente	3630	3630	3630	3630
Peso rec + mat	1,3870	1,3885	15,290	13,315
Peso material	1,0240	1,0255	11,660	9,685
Volumen de rec	7	7	7	7

Datos para el peso unitario, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

$$PU = \frac{\text{Peso material}}{\text{Volumen}} \quad \begin{array}{l} \text{Peso material en kg,} \\ \text{Volumen en m}^3 \end{array}$$

$$PU \text{ suelto} = 1,464.00 \text{ kg/m}^3$$

$$PU \text{ compactado} = 2,043.20 \text{ kg/m}^3$$

5.3.3.1.3 Granulometría

5.3.3.1.2.1 Agregado fino ASTM C-136

Lo que se busca con este procedimiento es la distribución del tamaño de las partículas que componen la muestra representativa del material. Se logra haciendo pasar el material por una serie tamices ordenados de manera descendente en cuanto al tamaño de las aberturas.

Las propiedades determinadas en este ensayo son importantes ya que estas afectan el desempeño del concreto producido en su resistencia a la compresión, desgaste, tracción, impermeabilidad y modulo de elasticidad al momento de llegar a su estado endurecido. En estado fresco puede afectar su consistencia y segregación.

El ensayo se realiza con 500 gramos de material previamente secado al horno por 24 horas, colocándolo posteriormente en los tamices 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Luego se pesa el material retenido en cada tamiz.

Figura 15. Tamices para ensayo granulometría agregado fino



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

5.3.3.3.1.2 Modulo de finura

Este parámetro se determina para el agregado fino y no es más que el índice de finura de la muestra, indica de manera global la cantidad de finos contenidas en el material. Se puede representar a través de las letras MF.

Tabla XVI. Granulometría del agregado fino

Tamiz No.	% acumulado que pasa	% Retenido acumulado
3/8 " (9.4 mm)	100.00	0.00
4 (4.76 mm)	98.48	1.52
8 (2.38 mm)	86.40	13.6
16 (1.19 mm)	68.22	31.78
30 (0.59 mm)	45.26	54.74
50 (0.29 mm)	20.10	79.90
100 (0.15 mm)	5.40	94.60

Datos para granulometría, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

De acuerdo a la granulometría obtenida se procede a calcular el módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentajes retenidos del tamiz 4 al 100}}{100}$$

$$100$$

$$MF = \frac{1.52+13.6+31.78+54.74+79.90+94.60}{100}$$

$$100$$

$$MF = 2.76$$

5.3.3.1.2.2 Agregado grueso ASTM C-33

Se trabaja con material el cual debe secarse veinticuatro horas, se coloca en la tamizadora por cinco minutos. Pesando el material retenido en cada uno de los tamices.

Figura 16. Tamices para ensayo granulometría agregado grueso



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

5.3.3.3.1.2 Módulo de finura

Para poder detallar el tamaño de las partículas en el material se calcula este dato, ya que es de suma importancia para el desempeño del concreto fabricado con este. El tamaño de las partículas se representa a través de porcentajes acumulados de las partículas que pasan por los tamices.

Tabla XVII. Granulometría del agregado grueso

Tamiz No.	% acumulado que pasa	% Retenido acumulado
1 ½ "	100.00	0.00
1 "	96.41	3.59
¾ "	62.60	37.40
½ "	13.70	86.30
3/8 "	7.80	92.20
4	5.50	94.50
Fondo	0	100

Datos para granulometría, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

De acuerdo a la granulometría obtenida se procede a calcular el modulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentajes retenidos del tamiz } 1 \frac{1}{2} \text{ " al } 4}{100}$$

$$MF = \frac{3.59+37.40+86.30+92.20+94.50}{100}$$

$$MF = 3.14$$

5.3.3.1.4 Materia orgánica ASTM C-40

Este procedimiento se le aplica específicamente al agregado fino ya que la procedencia de este puede conllevar contaminación de elementos que afectarían al concreto, principalmente el fraguado, la resistencia y la durabilidad.

El procedimiento establecido en la norma indica que deben de colocarse 150 ml del agregado en estado seco en la probeta, luego se le agregan 50 ml de hidróxido de sodio, dejándolo reposar por veinticuatro horas. Cumplido el reposo se toma una muestra del agua comparándola con el colorímetro que graduar la turbiedad indicando con esto la contaminación que posee el material.

Tabla XVIII. Características físicas del agregado fino

Peso específico	3.32
Peso unitario (kg/m ³)	1,354.56
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1,243.23
Porcentaje de vacíos	41.61
Porcentaje de absorción	3.95
Contenido de materia orgánica	2
% retenido en tamiz 6.35	14.37
% que pasa tamiz 200	5.42
Modulo de finura	2.76

Datos agregado fino, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

Tabla XIX. Características físicas del agregado grueso

Peso específico	2.71
Peso unitario (kg/m ³)	1,667.50
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1,463.00
Porcentaje de vacíos	38.47
Porcentaje de absorción	1.34

Datos agregado grueso, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2009.

5.4 Definición de proporciones de cascarilla de arroz

La selección de una cantidad de cascarilla se basa en gran parte a la cantidad de agua que esta podría requerir al momento de realizar la mezcla con el agua, por tanto se han escogido dos diferentes las cuales son 15% y 5% en peso en relación al agregado grueso, debido que al reducir la cantidad de gruesos el peso del concreto se reduce ampliamente.

Haciendo la observación siguiente: En un inicio se propuso experimentar con 15% y 30%, el cambio se determinó al momento de realizar la mezcla con el primer porcentaje, el cual presento grandes inconvenientes para ser mezclado debido a la cantidad de agua que absorbió además no presentó asentamiento alguno debido al volumen que ocupa la cascarilla.

Por tanto, la reducción de la cascarilla era la solución para poder experimentar con un material trabajable que no requiera cantidades exageradas de agua.

5.5 Elaboración de concretos

5.5.1 Trabajabilidad

Esta es una propiedad del concreto en estado fresco de suma importancia, esta determina la facilidad que tendrá la mezcla para ser manejada y colocada en obra. La resistencia de un concreto se puede determinar hasta cierto punto a través de esta, ya que esta directamente ligada a la relación agua cemento la cual controla la resistencia que alcanzara el concreto. Un material muy fluido es de mala o baja trabajabilidad, la cantidad en exceso de agua denota la baja resistencia que este desarrollara en el futuro. Para experimentar se eligió un asentamiento de ocho centímetros para un concreto no estructural.

Debido a que la trabajabilidad esta ligada directamente al asentamiento que presente el concreto en su estado fresco se puede clasificar en base a esto, como:

Tabla XX. Consistencia en base al asentamiento

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

Fuente: Frederick S. Medrilth. **Enciclopedia de la construcción arquitectura e ingeniería**. México: Océano/centrum, 1990.

5.5.2 Proporciones

La determinación de las proporciones para producir un concreto es de suma importancia, ya que la resistencia que alcance depende de estas. Las tablas utilizadas para poder determinar dichas cantidades son del método ACI debido a que se cuenta con los datos necesarios, tales como las características de los agregados tanto finos como gruesos así como la resistencia deseada. El diseño de la mezcla se basó principalmente en el tamaño de los agregados y la resistencia que se desea alcanzar.

5.5.3 Resistencia a compresión $f'c$

La resistencia teórica escogida para la mezcla de estudio es de 4000 PSI que son el equivalente a 281 kg/cm^2 utilizando un factor de seguridad de 36 kg/cm^2 (valor obtenido de tabla del método ACI). El diseño de mezcla se desarrollo de la siguiente manera:

1. Con base a los datos de los agregados se tiene:

Tabla XXI. Datos para el diseño de mezcla control

Material	% de absorción	Peso volumétrico
Arena	3.81	1,400
Piedrin	1.32	1,600

Datos de los agregados, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Marzo del 2010.

$$f'c = 4000 \text{ psi} = 281 \text{ kg/cm}^2 = 281 + 36 = 317 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Factor de seguridad de tabla}$$

Tamaño de agregado

Porcentaje más representativo de la granulometría (retenidos)

$$\underline{TMA = \frac{3}{4} \text{''}}$$

$$Pu = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Asentamiento} = 8-10 \text{ cm''}$$

$$2400 = C + \text{Agua} + \text{Agregados}$$

$$A/C = 0.50 \quad ; \quad 200 \text{ lt} \quad \text{por tabla}$$

$$200/0.50 = C$$

$$C = 400 \text{ kg}$$

$$2400 = 400 + 200 + \text{Agregados}$$

$$\text{Agregados} = 2400 - (400 + 200)$$

$$\text{Agregados} = 1800 \text{ kg/m}^3$$

$$A.F. = 0.44 (1800) \quad A.F. = 792 \text{ kg/m}^3$$

$$A.G. = 0.56 (1800) \quad A.G. = 1008 \text{ kg/m}^3$$

1.- Cemento

$$400 * 0.062 = 24.8 \text{ kg}$$

2.- A.F.

$$792 * 0.062 = 49.10 \text{ kg}$$

3.- A.G.

$$1008 * 0.062 = 62.5 \text{ kg}$$

4.- Agua

$$200 * 0.062 = 12.4 \text{ lt}$$

Correcciones:

$$\text{Absorción total} = 3.81 + 1.32 = 5.13\%$$

Agua

$$A = 12.4 + 0.636$$

$$\text{Agua} = 13.04 \text{ litros}$$

$$13.04 \text{ lt} / 3.78 = 3.45 \text{ galones} = 13.04 \text{ kg}$$

Cantidades reales:

$$\text{Cemento} \quad \mathbf{24.8 \text{ kg}} = 54.56 \text{ lb} = 0.58 \text{ sacos}$$

$$\text{A.F.} \quad \mathbf{49.10 \text{ kg}} = 0.035 \text{ m}^3$$

$$\text{A.G.} \quad \mathbf{62.5 \text{ kg}} = 0.039 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} \quad 13.04 \text{ lt} = 3.45 \text{ galones} = \mathbf{13.04 \text{ kg}}$$

Proporción real:

$$24.8/24.8 : 49.1/24.8 : 62.5/24.8 : 13.04/24.8$$

$$\mathbf{1 : 1.98 : 2.52 : 0.52}$$

Diseño de mezcla (15% de cascarilla de arroz)

Cantidades reales:

Cemento	$24.8 \text{ kg} = 54.56 \text{ lb} = 0.58 \text{ sacos}$
A.F.	$49.10 \text{ kg} = 0.035 \text{ m}^3$
A.G.	$62.5 \text{ kg} * 0.15 = 9.4 \text{ kg}$ de cascarilla de arroz $62.5 - 9.4 = 53.1 \text{ kg} = 0.033 \text{ m}^3$ de agregado grueso
Agua	$13.04 + 7.32 = 20.36 \text{ lt}$ de agua por el %de absorción de la cascarilla de arroz aumenta $20.36 \text{ lt} = 5.4 \text{ galones} = 20.36 \text{ kg}$

Diseño de mezcla (5% de cascarilla de arroz)

Cantidades reales:

Cemento	$24.8 \text{ kg} = 54.56 \text{ lb} = 0.58 \text{ sacos}$
A.F.	$49.10 \text{ kg} = 0.035 \text{ m}^3$
A.G.	$62.5 \text{ kg} * 0.05 = 3.125 \text{ kg}$ de cascarilla de arroz $62.5 - 3.125 = 59.37 \text{ kg} = 0.04 \text{ m}^3$ de agregado grueso
Agua	$13.04 + 7.32 = 20.36 \text{ lt}$ de agua por el %de absorción de la cascarilla de arroz aumenta $20.36 \text{ lt} = 5.4 \text{ galones} = 20.36 \text{ kg}$

La cantidad de materiales se incremento en un 50 % al momento de realizar la mezcla debido a la cantidad de material que se requería para la elaboración de todas las probetas, vigas y el desarrollo del ensayo de velocidad de endurecimiento. Para las mezclas con cascarilla se incremento la cantidad de agua así como la de cemento, debido a la absorción del agregado orgánico.

Dando como resultado las siguientes cantidades:

1. Mezcla control

Cemento	37.2 kg
A.F.	70.65 kg
A.G.	93.75 kg
Agua	19.56 litros

2. Mezcla con 15% de cascarilla de arroz con el 50 % adicionado en cada uno de los materiales, además el incremento de agua y cemento,

Cemento	$37.2 \text{ kg} + 5.2 \text{ kg} = \mathbf{42.4 \text{ kg}}$
A.F.	70.65 kg
A.G.	79.70 kg
Agua	$26.94 \text{ l} + 10 \text{ l} = \mathbf{36.94 \text{ litros}}$
A.O.	14.05 kg

3. Mezcla con 5% de cascarilla de arroz con el 50 % adicionado en cada uno de los materiales ademas el incremento de agua y cemento,

Cemento	$37.2 \text{ kg} + 5.2 \text{ kg} = \mathbf{42.4 \text{ kg}}$
A.F.	70.65 kg
A.G.	90.22 kg
Agua	$26.94 \text{ l} + 10 \text{ l} = \mathbf{36.94 \text{ litros}}$
A.O.	4.70 kg

5.6 Evaluación de concretos

5.6.1 Estado fresco

5.6.1.1 Trabajabilidad ASTM C-143

La trabajabilidad se determinara con la prueba del asentamiento del cono de abrams, cuyo procedimiento según norma es: llenar el cono por tercios de su altura total dando 25 golpes a cada una con la varilla de 5/8" de punta redondeada. Luego de llenar el cono este se retira suavemente y de forma vertical hacia arriba luego toma la medida del asentamiento con una cinta métrica.

Figura 17. Equipo para ensayo de asentamiento



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Los asentamientos obtenidos para cada una de las mezclas son los siguientes:

- | | |
|--|--------|
| 1. Mezcla control | 8 cm |
| 2. Mezcla con 5% de agregado orgánico | 8.5 cm |
| 3. Mezcla con 15% de agregado orgánico | 0 cm |

5.6.1.2 Contenido de aire ASTM C-231

Para realizar este ensayo se utiliza el recipiente en el cual se toma el peso unitario, se coloca un mecanismo que tiene una bomba de succión con la que se le inyecta aire a la mezcla, indicando de esta manera la cantidad de aire que se encuentra en ella.

Figura 18. Equipo para ensayo de contenido del aire



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Los valores en porcentaje obtenidos para cada una de las mezclas son los siguientes:

1. Mezcla control	2.2 %
2. Mezcla con 5% de agregado orgánico	3.5 %
3. Mezcla con 15% de agregado orgánico	15.1 %

5.6.1.3 Masa unitaria ASTM C-138

Se utiliza un recipiente de siete litros de capacidad, el cual se llena a cada 1/3 de su altura aplicando 25 golpes por cada capa con una varilla de 5/8" en espiral. Se llena el recipiente hasta rasarlo, luego se pesa dando como resultado el peso o masa unitaria.

Figura 19. Equipo para ensayo de peso unitario concreto fresco



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Los datos obtenidos y la determinación para cada una de las dosificaciones son las siguientes:

1. Mezcla control

$$\text{PU} = \frac{16.21 \text{ kg}}{71}$$

$$71$$

$$\text{PU} = 2.32 \text{ kg/m}^3$$

2. Mezcla con 5% de cascarilla de arroz

$$\text{PU} = \frac{15.22 \text{ kg}}{71}$$

$$71$$

$$\text{PU} = 2.17 \text{ kg/m}^3$$

3. Mezcla con 15% de cascarilla de arroz

$$\text{PU} = \frac{10.98 \text{ kg}}{71}$$

$$71$$

$$\text{PU} = 1.57 \text{ kg/m}^3$$

5.6.1.4 Velocidad de endurecimiento ASTM C-403

Con este ensayo se busca el tiempo en el que se lleva a cabo el fraguado inicial del concreto, lo cual es de gran utilidad ya que de esta manera podremos determinar el periodo en el cual este es manejable. El procedimiento de este es sencillo aunque por el tiempo en el cual debe de realizarse es considerablemente grande, no se realiza comúnmente.

Obtendremos dos datos diferentes, el endurecimiento inicial y final, para poder determinar estos valores se vacía mezcla en estado fresco en moldes para vigas de 15 cm de ancho*15 cm de alto*53 cm de longitud llenadas hasta la mitad.

A este material luego de pasada media hora aproximadamente se le inserta una aguja con forma circular con un área de 1 in², la cual esta conectada con el penetrómetro el cual indica la cantidad de fuerza realizada para poder insertar la aguja. Esto se realiza en intervalos de media hora en cuanto la aguja no penetre la mezcla es cambiada por otra de menor área así sucesivamente hasta llegar a la aguja de 1/20 in².

Figura 20. Equipo para ensayo velocidad de endurecimiento



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Abril del 2009.

Para poder determinar los tiempos se calcula el esfuerzo para cada tiempo respecto al área utilizada. Observando cambios significativos en intervalos cortos de tiempo, los valores en minutos se marcan, tanto el tiempo inicial como final ya que es aquí donde el concreto muestra un cambio apreciable en su dureza o resistencia a ser penetrado.

Tabla XXII. Valores de mezcla control

Tiempo (min)	Carga (lb)	Área (in ²)	Esfuerzo (PSI)
30	55	1	55
60	66	1	66
90	60	½	120
120	65	½	130
150	85	½	170
180	70	¼	280
210	78	¼	312
240	80	¼	320
270	55	1/10	550
300	65	1/10	650
330	58	1/20	1,160
360	64	1/20	1,280

Datos velocidad de endurecimiento, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Abril del 2009.

Tabla XXIII. Valores de mezcla con 5% de cascarilla de arroz

Tiempo (min)	Carga (lb)	Área (in ²)	Esfuerzo (PSI)
30	0	0	0
60	0	0	0
90	17	1	17
120	30	1	30
150	36	1	36
180	50	1	50
210	55	1	55
240	60	½	120
270	65	½	130
300	75	¼	300
330	95	¼	380
360	70	1/10	700
390	85	1/10	850

Datos velocidad de endurecimiento, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Abril del 2009.

Tabla XXIV. Valores de mezcla con 15% de cascarilla de arroz

Tiempo (min)	Carga (lb)	Área (in²)	Esfuerzo (PSI)
30	60	1	60
60	70	1	70
90	60	½	120
120	65	½	130
150	85	½	170
180	64	¼	256
210	80	¼	320
240	80	¼	320
270	48	1/10	480
300	65	1/10	650
330	53	1/20	1,060
360	58	1/20	1,160

Datos velocidad de endurecimiento, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Abril del 2009.

Los tiempos de endurecimiento para cada una de las mezclas son los siguientes:

1. Mezcla control

Tiempo inicial = 300 minutos

Tiempo final = 1827 minutos

2. Mezcla con 5% de cascarilla de arroz

Tiempo inicial = 343 minutos

Tiempo final = mas de 8 horas

3. Mezcla con 15% de cascarilla de arroz

Tiempo inicial = 300 minutos

Tiempo final = 1800 minutos

5.6.1.5 Cilindros

El llenado de los cilindros para poder ensayarlos posteriormente a compresión es igual a la forma de llenar el recipiente para ensayar el peso unitario. El curado se llevó a cabo por inmersión, que no es más que sumergir completamente los cilindros en un volumen de agua hasta el momento de ser ensayados.

Figura 21. Moldes para probetas



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

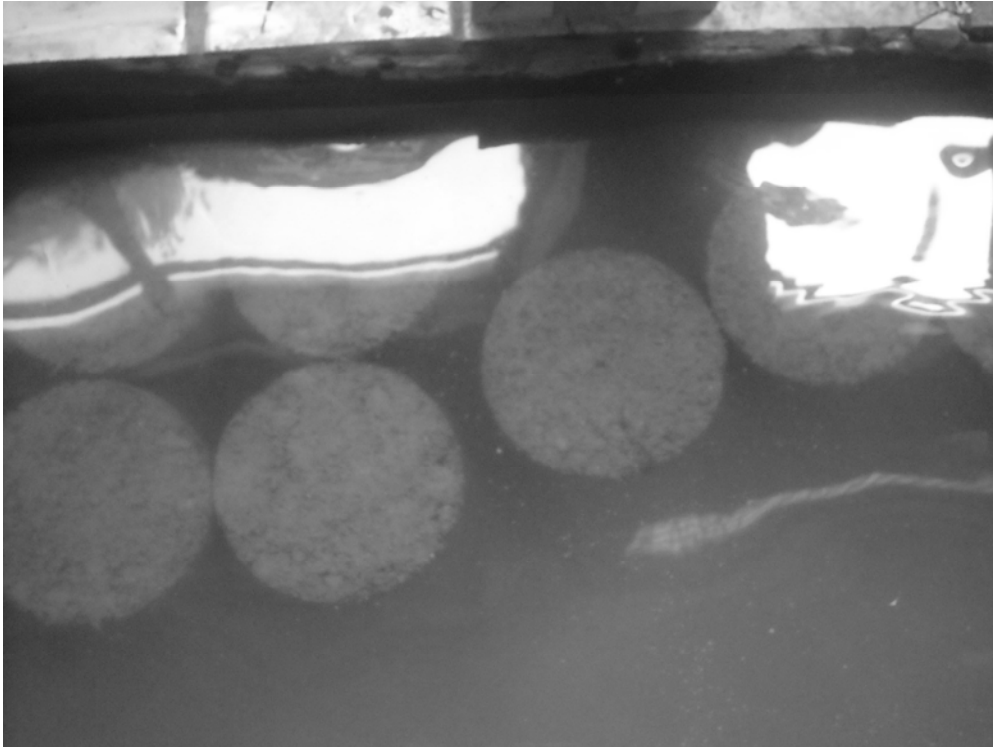
Los cilindros deben de tener las siguientes dimensiones:

Diámetro = 15 cm

Altura = 30 cm

Guardando de esta manera la relación altura dos veces la base.

Figura 22. Curado de probetas por inmersión



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Abril del 2009.

5.6.2 Estado endurecido

5.6.2.1 Resistencia a compresión ASTM C-231

Uno de los valores mas importantes en la evaluación de concretos endurecidos es la resistencia final o máxima. Las probetas curadas son sometidas a fuerzas perpendiculares a su área circular con la finalidad de encontrar la resistencia o esfuerzo último a compresión que soporta, pudiendo al mismo tiempo observar el tipo de falla del cilindro.

Para poder realizar este ensayo se deben preparar los cilindros, tomando inicialmente su peso y diámetro exactos. Luego se nivelan aplicándoseles una capa de azufre de tal manera la carga aplicada sea axial. Se colocan en la máquina de compresión tomando nota de la carga última que resiste el cilindro.

Figura 23. Máquina para ensayo a compresión



Figura 24. Equipo para la nivelación de cilindros



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Para el cálculo de la resistencia a compresión se toman los datos de cada uno de los cilindros, en este caso se evaluaron tres por cada dosificación de concreto. Evaluando la resistencia de estos a los siete, catorce y veintiocho días debido a que se consideran los tiempos más críticos en el curado final del concreto.

1. Mezcla control

Tabla XXV. Datos cilindros mezcla control

Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Resistencia kg/cm²
7	12.537	15.220	1,595.73
7	12.670	15.177	1,783.17
7	12.875	15.312	1,927.06
14	12.692	15.157	2,324.25
14	12.674	15.113	2,391.54
14	12.645	15.180	2,352.76
28	12.630	15.210	2,840.59
28	12.715	15.020	3,094.96
28	12.590	15.183	2,921.84

Datos resistencia a compresión, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Mayo del 2009.

2. Mezcla con 5% de cascarilla de arroz

Tabla XXVI. Datos cilindros mezcla con 5% de cascarilla de arroz

Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Resistencia kg/cm²
7	11.765	15.207	1,456.44
7	11.849	15.227	1,434.90
7	11.345	15.170	1,463.49
14	11.884	15.228	1,593.99
14	11.984	15.193	1,636.93
14	11.893	15.143	1,647.75
28	12.030	15.150	2,183.14
28	11.974	15.147	2,076.69
28	12.073	15.200	2,133.25

Datos resistencia a compresión, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Mayo del 2009.

3. Mezcla con 15% de cascarilla de arroz

Tabla XXVII. Datos cilindros mezcla con 15% de cascarilla de arroz

Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Resistencia kg/cm ²
7	9.985	15.207	266.42
7	9.600	15.180	213.89
7	9.355	15.223	212.67
14	9.567	15.113	287.70
14	9.841	15.073	307.31
14	9.492	15.283	281.34
28	9.249	15.140	304.61
28	9.218	15.033	308.95
28	9.552	15.123	323.24

Datos resistencia a compresión, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Mayo del 2009.

El cálculo del esfuerzo o resistencia esta dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Fuerza en kg
Área en cm²

Para todos los cilindros

5.6.2.2 Flexión según procedimiento del CII

El concreto en estado endurecido trabaja tanto a flexión como a compresión aunque la resistencia a la primera es muy baja, este dato puede ser muy útil para poder determinar un uso para las mezclas con agregado orgánico. Para calcular estos valores se fabrican vigas en moldes de 15 cm de ancho*15 cm de alto*53 cm de longitud previamente engrasados. La mezcla se coloca cada tercio de la altura del molde, se aplican 25 golpes con la varilla de 5/8" en toda el área libre (lateral) de la viga. El curado de estas se realizó igual que la de los cilindros, por inmersión hasta la fecha indicada 28 días. El desencofrado se realiza el mismo día que se colocará en la máquina universal, tomando las medidas de sus tres dimensiones así como su peso.

Para aplicar correctamente la carga sobre la viga se apoya en su parte inferior por dos soportes colocados a $1/3$ de las orillas aplicándosele la carga por la parte superior al centro de esta.

Figura 25. Máquina universal para ensayo a flexión



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Figura 26. Moldes para vigas



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2010.

Los datos necesarios para calcular la resistencia a flexión son los siguientes:

Tabla XXVIII. Datos de vigas a flexión

	largo	ancho	alto	peso	Carga (kg)	Modulo de ruptura kg/cm²
Mezcla control	53.23	15.13	15.37	28.85	2150.00	48.03
Mezcla control	53.17	15.20	15.50	28.89	2125.00	46.41
Con 5% de A.O.	52.77	15.20	15.17	26.71	1700.00	30.98
Con 5% de A.O.	53.20	15.23	15.30	26.82	1520.00	27.18
Con 15% de A.O.	53.60	15.10	15.30	21.19	425.00	9.67
Con 15% de A.O.	53.37	15.53	15.20	20.67	375.00	8.37

Datos resistencia a compresión, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Mayo del 2009.

Se realizaron dos vigas por dosificación para poder tener un dato más representativo.

5.7 Elaboración y evaluación de elementos de mampostería

Un concreto ligero no puede recomendarse para trabajar como estructural debido a las cargas que estos deben resistir. Por tanto, el uso principal es para fabricación de elementos prefabricados, para elementos de mampostería o para relleno de muros de electro panel y entrepisos.

Se elaboraron elementos de mampostería (blocks) debido a la accesibilidad y economía, además estos elementos son los que se utilizan con más frecuencia en obra civil.

5.7.1 Elaboración de elementos

La fabricación de blocks se llevo a cabo en maquina mecánica manual, la cual trabaja a base de vibraciones, con lo cual se logra la consolidación del material en los moldes. La mezcla se coloca en los moldes de manera manual utilizando palas, el material se encuentra en la mezcladora donde se coloca pómez, cemento y la cantidad necesaria de agua para que la mezcla sea trabajable. Todas las cantidades son aproximadas basadas en la cantidad de blocks a fabricar (todo se maneja en base a la experiencia del operador).

Figura 27. Mezcladora



Figura 28. Moldes para block de 15*20*40 cms



Maquinaria para fabricar block, la comunidad Mixco. Agosto del 2009.

5.7.2 Caracterización de los elementos

5.7.2.1 Mecánica

Dentro de las propiedades mecánicas más importantes de un elemento esta la resistencia a la compresión ya que esta nos indica el uso que se le puede dar a dicho elemento.

El procedimiento para evaluar estos elementos es similar al de los concretos ya que al momento de ser fabricados se esperan los mismos 28 días para que alcancen su resistencia máxima.

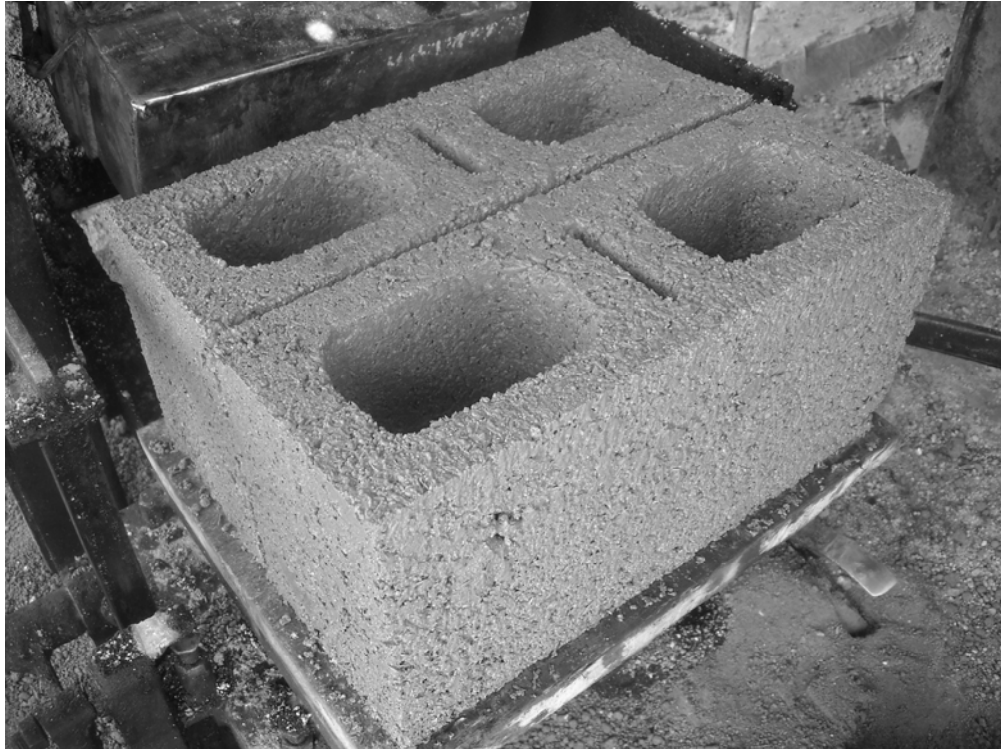
En el laboratorio se procede a tomar las medidas de cada una de sus caras, largo, ancho y altura. Se somete a carga axial en la maquina que es utilizada específicamente para estos elementos, al fallar el elemento se toma una muestra para evaluar el porcentaje de absorción.

Figura 29. Máquina para ensayo a compresión



Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Enero del 2009.

Figura 30. Elementos fabricados de 15*20*40 cms



Blocks terminados, la comunidad Mixco. Agosto del 2009.

Tabla XXIX. Resistencia de elementos de mampostería

Block	Resistencia (kg/cm²)
Control	23.26
Control	23.58
Con 5% de A.O.	21.39
Con 5% de A.O.	11.30
Con 10% de A.O.	10.57
Con 10% de A.O.	14.52

Datos resistencia a compresión, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Agosto del 2009.

El porcentaje de agregado añadido a la mezcla que se trabajo en los elementos es en base al volumen al contrario de los concretos que era porcentaje en peso.

5.7.2.2 Física

Las características físicas de un elemento de mampostería son muy importantes, ya que la facilidad con la que se puedan fabricar estos obteniendo un resultado ideal entienda una forma regular, proporcionan a las estructuras mayor estabilidad así como durabilidad. Las dimensiones de estos deben de ser lo más exactas que se pueda al momento de fabricarlos para evitar la mala distribución de las cargas, provocando una falla inesperada en las estructuras (muros).

El porcentaje de absorción se evaluó debido a que es uno de los parámetros más importantes en los elementos fabricados con agregado orgánico.

El procedimiento para poder determinar dichas características es sencillo, para determinar las dimensiones de estos se utiliza una cinta métrica tomando tres medidas diferentes a cada una de las caras del block determinando finalmente un promedio. El porcentaje de absorción se realiza colocando un trozo del elemento fallado en la maquina de compresión en agua por 24 horas se saca y se toma su peso luego se introduce en el horno por 24 horas ya seco se pesa y se procede a calcular. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXX. Características físicas de los elementos de mampostería

Block	Largo	Ancho	Altura	% absorción
Control	40.37	15.17	19.53	27.09
Control	39.90	15.07	20.40	24.76
Con 5% de A.O.	40.10	15.00	19.73	28.70
Con 5% de A.O.	40.37	15.17	20.23	27.42
Con 10% de A.O.	40.40	15.13	20.47	31.06
Con 10% de A.O.	40.10	15.03	19.93	35.49

Datos de blocks, Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Agosto del 2009.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder analizar el desempeño del concreto ligero mezclado con agregado orgánico, se elaboraron tres dosificaciones diferentes dentro de las cuales se encuentra la mezcla control, que no es más que un concreto común diseñado para una resistencia última. De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de los ensayos se pueden comparar las características principales con las otras dos, que en su composición se les agregó cascarilla de arroz en un porcentaje basado en el peso del agregado grueso reduciendo de esta manera el peso y el uso de estos en lugares donde se puede decir que este es escaso o muy caro.

6.1 Concretos

Los concretos ligeros fabricados con cascarilla muestran una amplia reducción de su peso de acuerdo a lo observado y encontrado de acuerdo a las normas podemos decir que:

6.1.1 Trabajabilidad

Para poder considerar un concreto trabajable su asentamiento debe ser el calculado anticipadamente. La mezcla control presento al momento de evaluar este parámetro, lo esperado ocho centímetros, por tanto su trabajabilidad y acomodo en los moldes fue adecuado sin presentar ningún inconveniente.

Al realizar el ensayo a la mezcla que contenía el 15% de cascarilla de arroz se presentó un inconveniente inicial, al momento de mezclar los agregados, el cemento y el agua la absorción fue muy alta debiéndose añadir agua y cemento extra a lo calculado. Con este cambio la mezcla esencialmente seca no presento asentamiento, debido al parecer por el volumen de la cascarilla y la absorción de esta.

Debido a lo observado con esta mezcla se opto por reducir la cantidad de cascarilla a utilizar por tanto de usar un 30% se redujo a un 5% de agregado orgánico en peso del total del agregado grueso.

Al trabajar con 5% de agregado orgánico la trabajabilidad mejoro considerablemente dando como resultado 8.5 centímetros los cuales difieren de la mezcla control en tan solo medio centímetro, a esta mezcla se le agrego la misma cantidad extra de agua y cemento que a la de 15%.

6.1.2 Contenido de aire

El contenido de aire en las mezclas de concreto ligero es uno de los factores que hacen que este se catalogue como tal. La mezcla control presento un valor en porcentaje del 2.2% siendo este un dato esperado dadas las condiciones de la proporción, en tanto que la mezcla con el 15% presenta un 15.1% siendo este un valor alto que determina el bajo peso del concreto, así mismo su fragilidad aumenta, ya que la adherencia de las partículas de los agregados con la pasta cementante fue muy mala. Por ultimo la mezcla con 5% presentó un valor del 8.5% dando una mayor adherencia a los agregados minerales como al orgánico.

6.1.3 Masa unitaria

La masa o peso unitario del concreto de la mezcla control es de 2.32 siendo este un resultado esperado dadas las proporciones y el valor de la resistencia esperada. El concreto de la mezcla con 5% es de 2.17 que al parecer no es muy diferente del primero pero en términos de metros cúbicos de concreto esto reduce considerablemente el peso total de un elemento fabricado con este tipo de proporción. La mezcla del 15% muestra un valor muy bajo de 1.57 siendo este indicador de que si bien este es ligero no presenta buenas propiedades mecánicas, como más adelante se explica.

6.1.4 Velocidad de endurecimiento

Este parámetro nos da el dato de cuanto tiempo tomara el fraguado inicial de un concreto que para el uso que se le puede dar al concreto ligero resulta de gran importancia. La mezcla control fraguó inicialmente a los 300 minutos dando uno final de mas de 8 horas.

En base a esto se puede decir que la adición del agregado orgánico alarga estos tiempos posiblemente a la cantidad de agua que contiene la cascarilla en su estructura, considerando esto se comprende el tiempo mayor de fraguado inicial que presentó la mezcla con 5% siendo este de 343 minutos y un tiempo final de mas de ocho horas.

6.1.5 Resistencia a compresión

La resistencia de las probetas a la compresión denota el uso que se le puede dar al concreto, sabiendo que los concretos ligeros no se destinan para uso estructural, solamente se cuida que esta no sea exageradamente baja. Para determinar la resistencia que desarrolla el concreto se escogieron las siguientes edades: 3,7 y 28 días.

Evaluando tres probetas por edad se obtiene que: La mezcla control en la primera fecha (3 días) resistió de 1,596.73 a 1,927.06 PSI en tanto que la que contenía el 5% oscilo entre 1,434.90 PSI a 1,463.49 PSI siendo una diferencia pequeña en cuanto a resistencia. Para la mezcla de 15% se observaron valores exageradamente bajas que oscilan entre 216.17 a 266.42 PSI mostrando desde el momento del fraguado y curado fragilidad que este concreto desarrollara finalmente.

Pasando a la siguiente fecha (7 días) la mezcla control resistió de 2,324.25 a 2,391.54 PSI en tanto la que contenía 5% oscilo entre 1,593.99 a 1,647.75 PSI mostrando en esta fecha ya una reducción apreciable en el desarrollo de la resistencia en tanto que la resistencia de las probetas con 15% no mostró incremento en la resistencia de una fecha a la siguiente oscilando entre 281.34 a 307.31.

Para la última edad la resistencia desarrollada es aproximadamente la máxima que el concreto puede alcanzar, dando como valores de la mezcla control de 2,840.59 a 3,094.96 PSI anticipando que llegue a los 4000 PSI posiblemente a los 56 días. Las mezclas con agregado orgánico desarrollaron a esta edad una resistencia de 2,076.69 a 2,133.25 PSI para la mezcla de 5% de agregado orgánico, que si bien es más bajo que la mezcla control, dadas las condiciones y los usos para este tipo de concretos es considerablemente buena. Finalmente la mezcla con mayor cantidad de agregado orgánico mostró una resistencia exageradamente baja que va de los 604.61 a los 323.24 PSI.

6.1.6 Resistencia a flexión

Los elementos que se fabrican con concretos ligeros pueden ser sometidos a diferentes esfuerzos no solamente al de compresión por tanto se considera importante verificar la reacción a la flexión y de esta manera tener una mayor cantidad de información para respaldar con esta la propuesta del agregado orgánico como un agregado en concretos ligeros siendo de esta manera confiable.

Las vigas para el esfuerzo a flexión se ensayaron a la edad de 28 días esperando obtener el mayor valor que el concreto puede soportar. Con dos valores para cada una de las dosificaciones se obtuvieron 2,125 a 2,150 kg para la mezcla control comparado con los 1,700 a 1520 kg de la dosificación de 5% mostrando una diferencia relativamente pequeña. Para la mezcla con 15% se obtuvo un rango de 375 a 425 kg siendo estos valores muy bajos.

Con el ensayo se determinó el módulo de ruptura el cual oscila entre 46.41 a 48.03 kg/cm² para la mezcla control y de 27.18 a 30.98 para la mezcla con 5%, mostrando valores considerablemente más bajos. La mezcla del 15% con un módulo de ruptura de 8.37 a 9.67 kg/cm² es exageradamente bajo, por tanto más frágil.

6.2 Elementos de mampostería

La fabricación de elementos de mampostería es una de las actividades de mayor importancia en la construcción debido a que estos son utilizados en todo tipo de construcción, principalmente edificios, requiriendo con el tiempo y la modernización elementos más livianos y de fácil manejo para poder reducir los tiempos y costos.

Los elementos seleccionados para experimentar mostraron diferentes características en tanto se le incrementa la cantidad de cascarilla mas difícil se hace la fabricación debido a que el principio básico de las maquinas (manuales) que los fabrican, es la vibración con lo cual se comprimen los agregados en los moldes dando finalmente la altura deseada que es comúnmente de 0.20 m.

6.2.1 Propiedades Mecánicas

Los elementos fabricados para la evaluación fueron dos por cada diferente dosificación, la de control contiene los materiales que comúnmente se utilizan en los blocks, a la segunda se le agrego un 5% de agregado orgánico en relación al volumen de agregados de la mezcla, a la tercera se le agrego un 10 %.

Para la resistencia a compresión se obtuvieron resultados que muestran una diferencia relativamente pequeña entre los elementos de control y los que contenían 5% de agregado orgánico, el esfuerzo máximo de compresión de los blocks de control esta entre 23.26 y 23.58 kg/cm² en tanto la resistencia de los blocks con 5% oscila entre 11.30 y 21.59 kg/cm², con la observación que para el valor mas pequeño pudo deberse a que estaba desportillado ofreciendo de esta manera un soporte inadecuado reduciendo de esta manera la resistencia. Para los blocks con un 20% de agregado orgánico la resistencia se redujo casi en un 50% oscilando entre 10.57 y 14.52 kg/cm², debido a los vacios que el material orgánico crea.

6.2.2 Propiedades físicas

Las características físicas son las que pueden determinar la utilidad de los blocks fabricados con material orgánico ya que la resistencia si bien mostró una reducción es muy pequeña.

Las dimensiones de los elementos se vieron afectadas con el agregado orgánico, mostrando un incremento en la altura debido a la naturaleza del material que lo hace difícil de comprimir y por lo tanto dificulta su acomodo en los moldes por medio de la vibración. Los de control presentan dimensiones de longitud que están entre 39.90 a 40.37 cm mientras que los de 5% oscilan entre 40.10 a 40.37 cm y finalmente los que contienen 10% de agregado orgánico dimensiones que van de los 40.10 a 40.40 cm de longitud, pudiendo observar características similares dadas las condiciones de fabricación que para todas las dosificaciones fueron las mismas.

Las dimensiones ancho presentan características similares al igual que la longitud, para los blocks de control los valores van de los 15.07 a 15.17 cm de ancho, los que contienen 5% de agregado orgánico oscilan entre 15.00 a 15.17 cm de ancho, por ultimo los del 10% presentan valores que van de 15.03 a 15.13 cm.

La altura de los blocks mostraron variantes relativamente pequeñas ya que los de control muestran dimensiones de 19.53 a 20.40 cm mientras que los de 5% incrementaron oscilando entre 20.23 a 20.73 cm por último los de 10% muestran alturas de 20.47 a 20.93 cm. La altura aumenta pero no llega a ser considerable no llegando a ser de un centímetro, por tanto se puede considerar como una buena característica.

CONCLUSIONES

1. Los residuos agrícolas en general son una fuente confiable para agregarlos a los concretos ligeros que pueden ser utilizados con éxito en la construcción. Guatemala es un país que basa su economía en la industria agrícola, por lo tanto se cuenta con diferentes tipos de residuos que pueden mitigar la actual explotación de materiales minerales que empiezan a ser escasos en algunas zonas así como en algunos países.
2. La cascarilla de arroz tiene propiedades que resultan beneficiosas al momento de utilizarla como agregado orgánico en concretos ligeros. Unas de las características físicas del concreto se ven afectadas por este material, pero son considerablemente bajas, aún así es claro que no puede mezclarse para fabricar concretos estructurales.
3. La cascarilla es muy ligera, esta permite transportarla fácilmente, ya que se puede colocar en sacos o bolsas plásticas, pueden ser transportadas en casi cualquier tipo de vehículo. Teniendo como limitante la cantidad de polvo que se adhiere en el proceso del cultivo y cosecha del arroz. El proceso para eliminar las partículas de polvo es sencillo, ya que se puede someter a un lavado prolongado y de esta manera pierda toda la suciedad. Para secar la cascarilla se puede hacer de dos formas diferentes las cuales difieren solamente en el tiempo que toma realizar el secado, siendo el mas sencillo la exposición del material al sol el cual lleva más tiempo, pero se obtiene un resultado similar al del otro, que consiste en introducir cantidades del material en bandejas en un horno de secado. Los datos que se obtienen de estos procedimientos son útiles al momento de realizar el cálculo de la dosificación de materiales, ya que se puede obtener la cantidad de agua que absorberá la cascarilla.

4. Al determinar las propiedades físicas y mecánicas de la cascarilla se puede decir que los usos que se le pueden dar son diferentes siendo la fabricación de elementos prefabricados la principal, se pueden elaborar blocks para muros tabique ya que el peso es mucho menor al de los concretos ligeros comunes pero se pueden fabricar otros elementos como: ladrillos, fachaletas y elementos decorativos. Se utilizaron materiales con propiedades que se encuentran entre los valores establecidos por las normas ASTM, cumpliendo sin problemas con la fabricación de probetas y elementos de mampostería. Los materiales (cemento, agregados y agua), utilizados en los concretos ligeros pueden ser los utilizados para fabricar concreto común.

5. Al utilizar diferentes porcentajes de agregado orgánico en los concretos se pudo determinar que a mayor cantidad de cascarilla la fragilidad del concreto aumenta y la trabajabilidad se reduce. La mezcla con 15% de material orgánico en relación del peso del agregado mineral ocupa un volumen muy grande siendo inadecuada para funcionar en la fabricación de concreto y blocks. Si se reduce a un 5% los resultados son más adecuados y el concreto como los blocks presentan propiedades que favorecen su utilización.

6. En cuanto a la iniciativa privada se puede decir que sostienen una actitud medianamente pasiva en cuanto al desarrollo y generación de investigaciones que permitan crear nuevas formas de reutilizar los residuos orgánicos de la industria. Con una mayor y mejor comunicación entre los entes investigativos y la industria agrícola se puede generar información que proponga nuevos materiales que en el futuro pueden representar reducción de costos y explotación de recursos no renovables.

7. Los block que se fabricaron presentaron propiedades muy buenas para ser utilizados en la construcción de muros tabique principalmente. El peso de los elementos es ampliamente menor al de los blocks fabricados comúnmente y aunque presentan un ligero incremento en su altura, ésta puede ser despreciable. La absorción de los elementos presenta un incremento de porcentaje en relación a los de control con expectativas de que este valor disminuya en un intervalo de tiempo mayor al de los veintiocho días.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta las características físicas y composición química de los residuos orgánicos antes de realizar una experimentación con concretos, ya que las reacciones químicas de cada uno de estos es diferente, proporcionando al concreto diferentes propiedades tanto mecánicas como físicas.
2. El concreto ligero obtenido con la cascarilla puede utilizarse principalmente en la fabricación de elementos de mampostería, como en blocks de diez centímetros, los cuales son utilizados en la construcción de muros tabique. Otro uso en el cual este concreto puede desempeñar un trabajo adecuado es en el relleno de entre pisos, ya que su peso es muy bajo. Por último, se puede considerar utilizarlo como recubrimiento de electro paneles.
3. Para manejar de una manera correcta y segura la cascarilla se requiere la utilización de mascarilla, lentes y guantes para evitar la contaminación de los ojos o heridas en las manos.
4. Para eliminar la suciedad de la cascarilla se debe lavar en una cantidad aproximada de veinticinco libras en un recipiente grande o pila de concreto para agitarla por un período de media hora aproximadamente y de esta manera pierda la totalidad del polvo, si se limpia una cantidad mayor deberá colocarse en espacios mas amplios ya que la estructura física de la cascarilla evita que el agua penetre si se aglomera en un espacio pequeño. La mineralización puede realizarse en los mismos recipientes de lavado utilizando de preferencia una mezcla que contenga una proporción de 1:6 de cal con agua dejándola sumergida por veinticuatro horas.

El secado del material si es al ambiente, puede colocarse entre mallas que formen especies de jaulas donde el material pueda extenderse y no se pierda, debido al efecto del viento. Para efectos de experimentación puede colocarse en bandejas y someterlo a temperaturas altas o a corrientes de aire lo cual reduce el tiempo de secado.

4. Para obtener una mezcla con resistencia aceptable y buena trabajabilidad se debe dosificar en cantidades pequeñas para evitar el consumo exagerado de agua y que la cascarilla ocupe un volumen muy grande.

REFERENCIAS

1

Aramayo Cruz y otros. **Hormigones con agregados livianos**. Departamento de Mecánica Aplicada y de Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura-UNR, 2003.

2

Frederick S. Medrilth. **Enciclopedia de la construcción arquitectura e ingeniería**. México: Océano/centrum, 1990.

3

Gonzáles de la Cotera, Manuel. **Morteros ligeros de cáscara de arroz**. Lima, Perú.

4

Ortiz Palma, Byron Darío. “Estado actual de los principales materiales para la construcción en Guatemala”. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995.

5

Picabea, Hugo **Construcciones II: Agregados livianos**
Facultad de Arquitectura – UBA.

6

Vargas Quíroa, Mario Fidel. “Agregados para concreto”. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.

7

Vargas G. Emilio y Murillo R. Mario. **Composición química de sub productos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo.** Agroindustria Costarricense, 1978.

8

Asociación Guatemalteca del Arroz, ARROZGUA
www.arrozgua.com/tec (octubre de 2008)

9

Agregados para hormigones.
www.civil-utn.com.ar (noviembre de 2008)

10

Biomasa
<http://www.wikipedia.com/biomasa> (noviembre de 2008)

11

Control de calidad a agregados pétreos.
**www.ucn.cl/facultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%203.HTM
(marzo de 2009)**

12

Con cascarilla de arroz mejoran el cemento tradicional

<http://aupec.univalle.edu.co/informes/2007/diciembre/cemento.html>

(marzo de 2009)

13

Practicas de laboratorio

www.construaprende.com/lab/practicadelaboratorio

(marzo de 2009)

14

Residuos agrícolas

<http://www.estrucplan.com.ar/>

(marzo de 2009)

BIBLIOGRAFÍA

1. Love, T. W. **El concreto en la construcción.** 3^a Edición México: Editorial Trillas, 1996. p. 173.
2. Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
3. Waddell, Joseph J. y Dobrowski, Joseph A. **Manual de la construcción con concreto.** 3a. Edición (tomo I). México: Mc. Graw-Hill, 1977 p. 213.

APÉNDICES

Ensayos realizados a los agregados







Elaboración de las bachadas y control de calidad del concreto en estado fresco

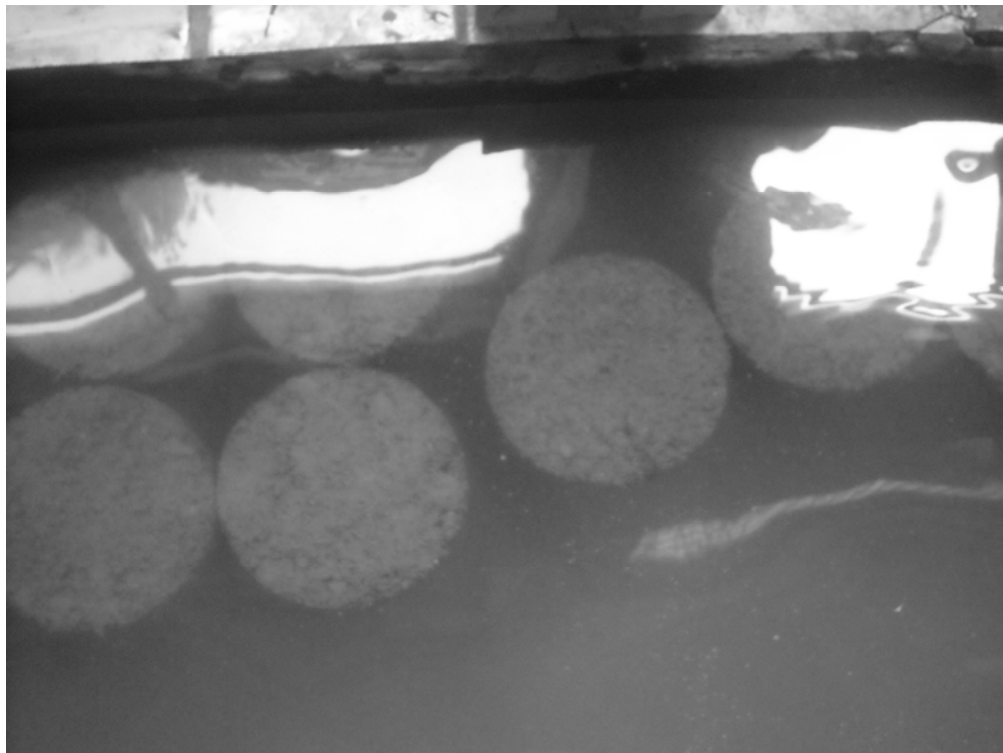








Curado de cilindros

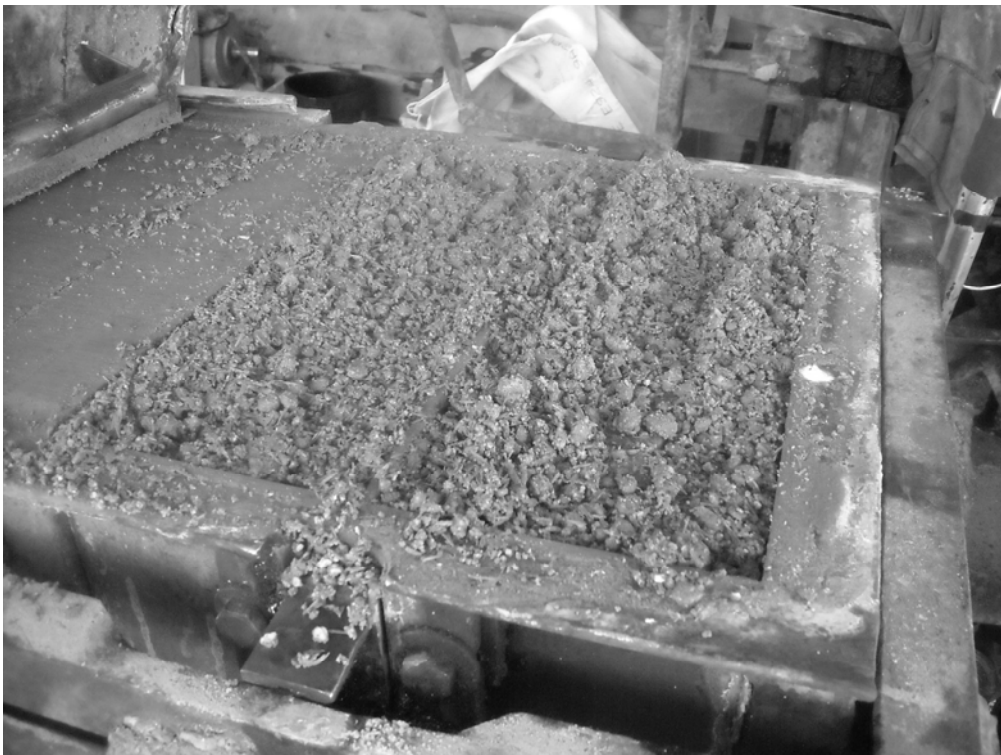


Desenfofrado de vigas y cilindros

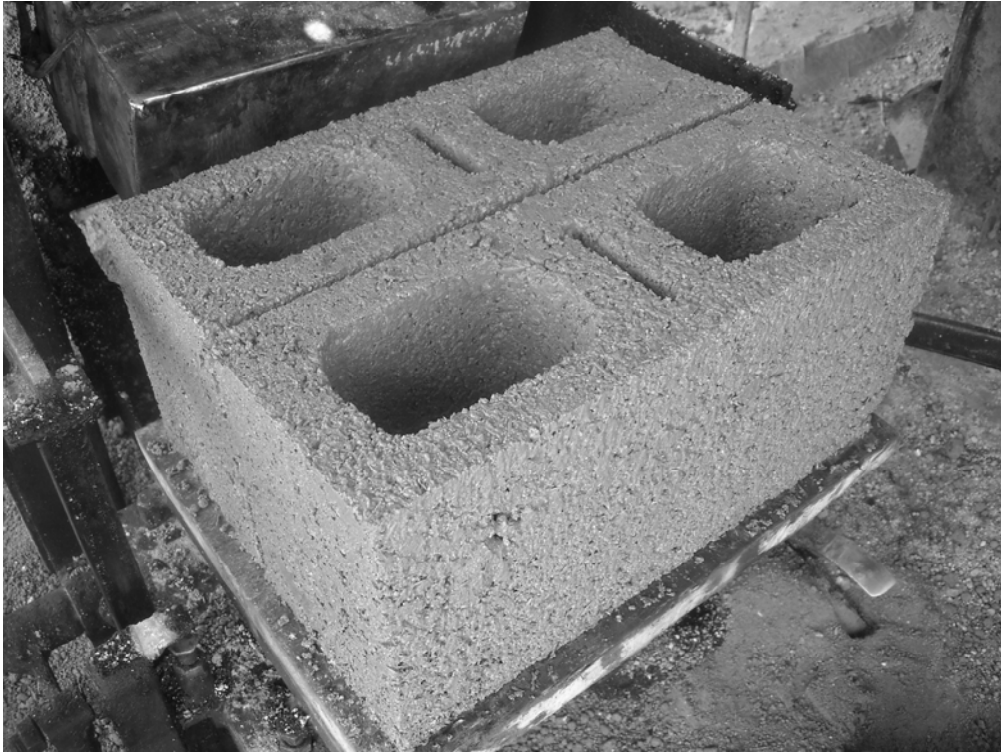


Elaboración de blocks









ANEXOS

Anexo 1. Normas ASTM aplicadas en los ensayos realizados al concreto y los blocks

1. Granulometría (ASTM C-33, especificaciones de agregados para el concreto)
2. Peso Unitario Volumétrico (ASTM C- 29, método de prueba para peso de unidad y vacíos en agregados)
3. Peso Específico (ASTM C-127, método de prueba para gravedad específica y absorción del agregado grueso)
4. Porcentaje de Absorción en Agregados Gruesos (ASTM C-127)
5. Granulometría Norma (ASTM C-136, método de análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos)
6. Contenido de materia orgánica (ASTM C-40, método de ensayo par las impurezas orgánicas en agregados finos para el concreto)
7. Peso específico (ASTM C-128, método de prueba para gravedad específica y absorción del agregado fino)



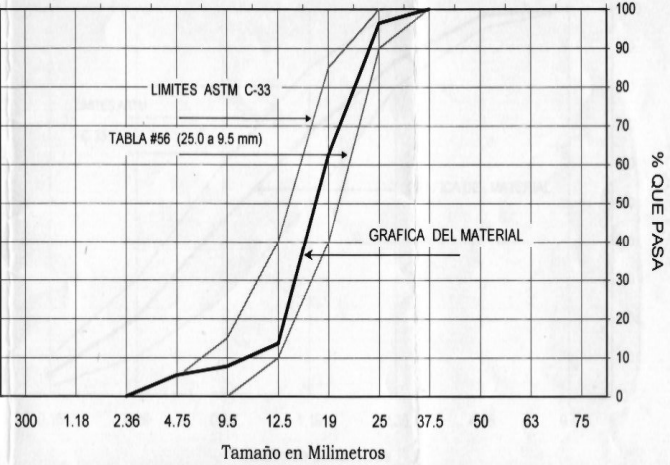


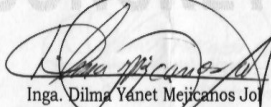
8. Porcentaje que pasa tamiz No. 200 (ASTM C-117, método de prueba para material más fino que pasa tamiz 75-um (No. 200) en agregados minerales por lavado)
9. Trabajabilidad (ASTM C-143, método de ensayo para la caída de concreto de cemento Pórtland)
10. Masa unitaria (ASTM C-138, método de ensayo para la unidad de peso, el rendimiento y contenido de aire del concreto)
11. Temperatura (ASTM C-1064, método de prueba para la temperatura de Pórtland recién surtido una vez con cemento el concreto)
12. Contenido de aire (ASTM C-231, método de prueba para contenido de aire del concreto recién surtido por el método de presión)
13. Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403, método de ensayo para la hora de colocación de mezclas de concreto de resistencia a la penetración)
14. Flexión (ASTM C-78, método de ensayo para la resistencia a la flexión del concreto usando viga simple con un tercer punto de carga)
15. Compresión (ASTM C-39, método de ensayo para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto) 3,7 y 28 días de edad

Anexo 2. Informes de los ensayos efectuados a los agregados

Agregado fino

AGREGADO FINO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																			
INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez		INFORME No. S.C. - 258		PROYECTO: Trabajo de Graduación "Evaluación de las Cascarillas de arroz como Agregado Organico en concretos Ligeros"																	
		MUESTRA: Agregado Fino	FECHA: 30/03/2009	O.T. No. 24775	LAB.: Concretos																
CARACTERISTICAS FISICAS:																					
Peso Especifico	2.32																				
Peso Unitario (kg/m ³)	1354.56																				
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1243.23																				
Porcentaje de Vacios	41.61																				
Porcentaje de Absorción	3.95																				
Contenido de Materia Orgánica	2																				
% Retenido en Tamiz 6.35	14.37																				
% que pasa Tamiz 200	5.42																				
Modulo de Finura	2.76																				
OBSERVACIONES:																					
a) Muestra proporcionada por el interesado.																					
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>9.40</th> <th>4.76</th> <th>2.38</th> <th>1.19</th> <th>0.59</th> <th>0.29</th> <th>0.15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>98.48</td> <td>86.40</td> <td>68.22</td> <td>45.26</td> <td>20.10</td> <td>5.40</td> </tr> </tbody> </table>				Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15	% Que pasa	100.00	98.48	86.40	68.22	45.26	20.10	5.40
Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15														
% Que pasa	100.00	98.48	86.40	68.22	45.26	20.10	5.40														
Vo.Bo.	 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC			 Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jor Jefe Sección de Concretos																	

Agregado grueso

<p style="text-align: center;">AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</p>	 <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</p>																					
<p>INTERESADO:</p> <p style="text-align: center;">Danny Gerardo Flores Ibañez</p>	<p>INFORME No. S.C. - 259</p>	<p>PROYECTO: Trabajo de Graduación "Evaluación de las Cascarillas de arroz como Agregado Organico en concretos Ligeros"</p>																				
	<p>Muestra: Agregado Grueso</p>	<p>Fecha: 30/03/2009</p>	<p>O.T. No. 24775</p> <p>Lab. Concretos</p>																			
<p>CARACTERISTICAS FISICAS:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: center;">2.71</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m³)</td><td style="text-align: center;">1667.50</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td><td style="text-align: center;">1463.93</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td style="text-align: center;">38.47</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorcion</td><td style="text-align: center;">1.34</td></tr> <tr><td>% Tamiz 200</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Sulfato de Sodio</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Abrasión</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Particulas Planas y alargadas</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> <tr><td>% Particulas Livianas</td><td style="text-align: center;">-----</td></tr> </table>			Peso Especifico	2.71	Peso Unitario (kg/m ³)	1667.50	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1463.93	Porcentaje de Vacios	38.47	Porcentaje de Absorcion	1.34	% Tamiz 200	-----	% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----	% Desgaste por Abrasión	-----	% Particulas Planas y alargadas	-----	% Particulas Livianas	-----
Peso Especifico	2.71																					
Peso Unitario (kg/m ³)	1667.50																					
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1463.93																					
Porcentaje de Vacios	38.47																					
Porcentaje de Absorcion	1.34																					
% Tamiz 200	-----																					
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																					
% Desgaste por Abrasión	-----																					
% Particulas Planas y alargadas	-----																					
% Particulas Livianas	-----																					
<p>No.50 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"</p>																						
 <p style="text-align: center;">Tamaño en Milímetros</p>																						
<p>OBSERVACIONES:</p> <p>a) Muestra proporcionada por el interesado.</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>No.4</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>96.40</td> <td>62.54</td> <td>13.65</td> <td>7.78</td> <td>5.46</td> <td>----</td> </tr> </table>			Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	----	% Que pasa	100.00	96.40	62.54	13.65	7.78	5.46	----				
Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	----															
% Que pasa	100.00	96.40	62.54	13.65	7.78	5.46	----															
<p>Vo.Bo.</p> <p style="text-align: center;">  Ing. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC </p>		<p style="text-align: center;">  Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jo Jefa Sección Agregados y Concretos </p>																				
<p style="text-align: right;"> SECCION DE INGENIERIA CONCRETOS GUATEMALA, C. A. </p>																						

Agregado orgánico



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



Nº 12006

O.T. No. 24877

No. Informe LIEXVE 04-09

Interesado: Danny Gerardo Flores Ibáñez
Proyecto: Trabajo de graduación de Tesis
Muestra: Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*)*
Fecha: Guatemala, 26 de octubre de 2009

Secado de cascarilla de arroz en secador eléctrico de flujo transversal.

El material trabajado fue objeto de estudio para evaluación de cascarilla de arroz como agregado orgánico en concretos ligeros.

RESULTADOS

Tabla No.1

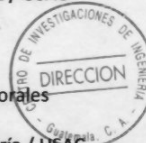
Secado de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*)*

PARÁMETROS	RESULTADOS
Material a secar*	1 qq
Humedad inicial	78%
Temperatura de secado	65°C
Tiempo de secado	72h
Humedad final	8.5%

*Muestra proporcionada por el interesado.

Ing. César Alfonso García Guerra
JEFE
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC



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



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



Nº 009420

INFORME No. S.C. - 1114

O.T. No. 25289

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez

PROYECTO: Trabajo de Graduación "EVALUACION DE LAS CASCARILLAS DE ARROZ COMO COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"

ASUNTO: Peso Unitario Volumetrico , % de vacios, ASTM C-29

FECHA: 16 de Octubre de 2009

RESULTADOS:

a) Peso Unitario Compactado

159.44 kg/m³

b) Peso Unitario Suelto

124.85 kg/m³


OBSERVACIONES:

a) La muestra corresponde a cascara de arroz

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



EMG



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



Nº 004536

O.T. 24777

No. Informe Lab. 015-09

Interesado: Danny Gerardo Flores Ibáñez

Proyecto: "Evaluación de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en concretos ligeros"

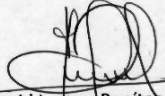
Muestra: 1 bolsa de cascarilla de arroz

Fecha: Guatemala, 27 de abril del 2009.

Determinación de carbono fijo, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas.

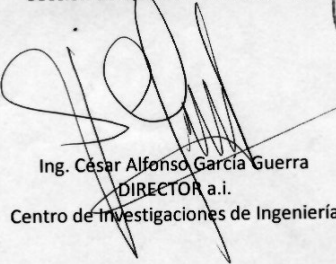
MUESTRA	CARBONO FIJO (%)	HUMEDAD (%)	CENIZAS (%)
1	3.79 ± 0.036	7.96 ± .713	85.82 ± 0.117

Muestra proporcionada por el interesado.


Licda. Ingrid Lorena Benítez P.
SUPERVISORA

Sección de Química Industrial –CII-




Ing. César Alfonso García Guerra
DIRECTOR a.i.
Centro de Investigaciones de Ingeniería



Anexo 3. Informes de los ensayos efectuados al concreto



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



Nº 009389

INFORME No. S.C. - 1098

O.T. No. 25337

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez
PROYECTO: Trabajo de Graduación "EVALUACION DE LAS CASCARILLAS DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"
ASUNTO: Asentamiento de Abrams ASTM C-143, Peso Unitario ASTM C-138, Contenido de Aire ASTM C-231, Velocidad de endurecimiento ASTM C-403
FECHA: 13 de Octubre de 2009

RESULTADOS:

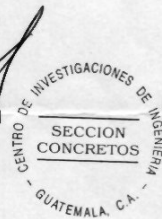
Ensayo	Datos	
Asentamiento de abrams (cm)	8	
Peso Unitario (kg/m³)	2.32	
Contenido de Aire (%)	2.2	
Velocidad de Endurecimiento (min)	Inicial:	300
	Final:	1827

OBSERVACIONES:

a) La muestra corresponde a la mezcla control

ATENTAMENTE,

Inga. Dilia Yanet Mejicanos Jdl
Jefa Sección de Concretos

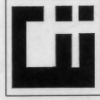


Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

ER

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



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



Nº 007000

INFORME No. S.C. - 507

O.T. No. 24776

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez

PROYECTO: Trabajo de Graduación "EVALUACION DE LAS CASCARILLAS DE ARROZ COMO COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"

ASUNTO: Asentamiento de Abrams ASTM C-143, Peso Unitario ASTM C-138, Contenido de Aire ASTM C-231, Velocidad de endurecimiento ASTM C-403

FECHA: 10 de Junio de 2009

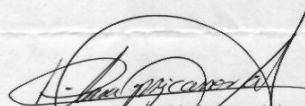
RESULTADOS:

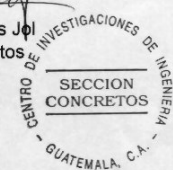
- a) Asentamiento de Abrams
8.5 cms
- b) Peso Unitario
2143.06 kg/m³
- c) Contenido de Aire
3.50%
- d) Velocidad de endurecimiento
Inicial: 343 min
Final: más de 8 horas

OBSERVACIONES:

- a) La muestra corresponde al concreto con 5% de cascara de arroz

ATENTAMENTE,

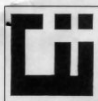

Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



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



EMG



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



Nº 009493

INFORME No. S.C. - 1174

O.T. No. 25338

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez
PROYECTO: Trabajo de Graduación "EVALUACION DE LAS CASCARILLAS DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"
ASUNTO: Asentamiento de Abrams ASTM C-143, Peso Unitario ASTM C-138, Contenido de Aire ASTM C-231, Velocidad de endurecimiento ASTM C-403
FECHA: 3 de Noviembre de 2009

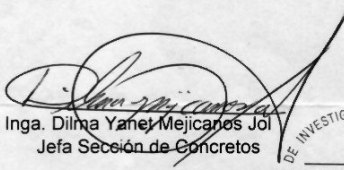
RESULTADOS:

Ensayo	Datos	
Asentamiento de abrams (cm)	0	
Peso Unitario (kg/m³)	1,57	
Contenido de Aire (%)	15,1	
Velocidad de Endurecimiento (min)	Inicial:	300
	Final:	1827

OBSERVACIONES:


a) La muestra corresponde a la mezcla con 15% agregado Organico.

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yane Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



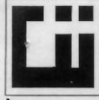
Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



m.c.

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



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S. C. - 424

O.T. No. 24773

HOJA 1/1

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez
ASUNTO: Ensayo a Compresión
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Evaluación de la Cascarrilla de Arroz Como Agregado Organico En Concretos Ligeros"
DIRECCION: 30 Calle 7-75, Zona 3
FECHA: 23 de junio de 2009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm2	RESISTENCIA lb/plg2
CON-1	172-3	27/02/2009	7	Mezcla Control	12,537	15,220	112,192	1595,73
CON-2	173-3	27/02/2009	7	Mezcla Control	12,670	15,177	125,371	1783,17
CON-3	174-3	27/02/2009	7	Mezcla Control	12,875	15,312	135,487	1927,06
CON-4	175-3	27/02/2009	14	Mezcla Control	12,692	15,157	163,412	2324,25
CON-5	176-3	27/02/2009	14	Mezcla Control	12,674	15,113	168,144	2391,54
CON-6	177-3	27/02/2009	14	Mezcla Control	12,645	15,180	165,417	2352,76
CON-7	178-3	27/02/2009	28	Mezcla Control	12,630	15,210	199,715	2840,59
CON-8	178-3	27/02/2009	28	Mezcla Control	12,715	15,020	217,600	3094,96
CON-9	178-3	27/02/2009	28	Mezcla Control	12,590	15,183	205,428	2921,84

OBSERVACIONES :

a) Diseño de Mezcla según proporciones:

Cemento:37,2Kg, Agregado fino: 70,65Kg, Agregado Grueso: 93,75Kg. Agua:19,56Lt

b) El interesado proporciono el material para la mezcla.

c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 8 cm.

d) no se realizo corrección de cantidad de agua.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos

SECCION CONCRETOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, C.A.



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

INFORME No. S.C. -491
HOJA 1/1

O.T. No. 24946

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez
ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION
PROYECTO: Trabajo de Graduacion
DIRECCION: 30 calle 7-73, zona 3
FECHA: 10 de Junio de 2009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	23-6	23/04/2009	7	Concreto con 5% cascara de arroz	11.765	15.207	102.40	1456.44
2	24-6	23/04/2009	7	Concreto con 5% cascara de arroz	11.849	15.227	100.88	1434.90
3	25-6	23/04/2009	7	Concreto con 5% cascara de arroz	11.345	15.170	102.89	1463.49
4	26-6	23/04/2009	14	Concreto con 5% cascara de arroz	11.884	15.228	112.07	1593.99
5	27-6	23/04/2009	14	Concreto con 5% cascara de arroz	11.984	15.193	115.09	1636.93
6	28-6	23/04/2009	14	Concreto con 5% cascara de arroz	11.893	15.143	115.85	1647.75
7	29-6	23/04/2009	28	Concreto con 5% cascara de arroz	12.030	15.150	153.49	2183.14
8	30-6	23/04/2009	28	Concreto con 5% cascara de arroz	11.974	15.147	146.01	2076.69
9	31-6	23/04/2009	28	Concreto con 5% cascara de arroz	12.073	15.200	149.98	2133.25

OBSERVACIONES :

- Diseño teorico de mezcla con proporción 1:1.98:2.52:0.52, proporcionada por el interesado
- Correccion de cantidad de agua: no se modifico
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento en la mezcla fue de 8.5 cm.

ATENTAMENTE,

Inga Dilma Yanet Mejicanos Jor
Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CI/USAC



EMG



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 492
HOJA 1/1

O.T. No. 24946

INTERESADO: Danny Gerardo Flores Ibañez
ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION
PROYECTO: Trabajo de Graduacion
DIRECCION: 30 calle 7-73, zona 3
FECHA: 10 de Junio de 2009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	32-6	20/04/2009	7	Concreto con 15% cascara de arroz	9.985	15.207	18.73	266.42
2	33-6	20/04/2009	7	Concreto con 15% cascara de arroz	9.600	15.180	15.04	213.89
3	34-6	20/04/2009	7	Concreto con 15% cascara de arroz	9.355	15.223	14.95	212.67
4	35-6	20/04/2009	14	Concreto con 15% cascara de arroz	9.567	15.113	20.23	287.70
5	36-6	20/04/2009	14	Concreto con 15% cascara de arroz	9.841	15.073	21.61	307.31
6	37-6	20/04/2009	14	Concreto con 15% cascara de arroz	9.492	15.283	19.78	281.34
7	38-6	20/04/2009	28	Concreto con 15% cascara de arroz	9.249	15.140	21.42	304.61
8	39-6	20/04/2009	28	Concreto con 15% cascara de arroz	9.218	15.033	21.72	308.95
9	40-6	20/04/2009	28	Concreto con 15% cascara de arroz	9.552	15.123	22.73	323.24

OBSERVACIONES :

- Diseño teorico de mezcla con proporción 1:1.98:2.52:0.52, proporcionada por el interesado
- Correccion de cantidad de agua: según diseño de 200 lt/m³ a 302.25lt/m³.
- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- El asentamiento en la mezcla fue de 0 cm.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



EMG



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



Nº 006269

O.T. No. 25141

INFORME No. 499-M

INTERESADO: DANY GERARDO FLORES IBAÑEZ CARNE 1997-12714

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ
 COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"

PROVEEDOR: *****

ASUNTO: ENSAYO DE FLEXION EN VIGA DE CONCRETO

FECHA: GUATEMALA, 25 DE MAYO DE 2009.

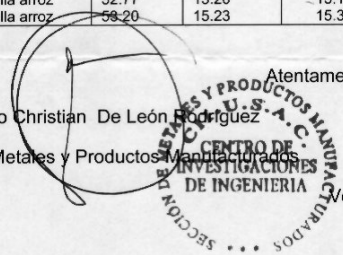
1. ANTECEDENTES

El estudiante Dany Gerardo Flores Ibañez de la carrera de Ingeniería Civil con numero de carnet **1997-12714**, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de flexión a 04 vigas de concreto, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación "**EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS**".

2. RESULTADOS ENSAYO

Identificación	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Peso kg	Carga a Flexión kg	Modulo de Ruptura kg/cm ²
5% cascarilla arroz	52.77	15.20	15.17	26.71	1700.00	30.98
5% cascarilla arroz	58.20	15.23	15.30	26.82	1520.00	27.18

Atentamente,
 Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
 Jefe de Metales y Productos Manufacturados



Vo.Bo.
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA C.I.I.



/cbr



VIGAS

O.T. No. 25122

INFORME No. 474-M

INTERESADO: DANY GERARDO FLORES IBAÑEZ CARNE 1997-12714

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ
COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"

PROVEEDOR: *****

ASUNTO: ENSAYO DE FLEXION EN VIGA DE CONCRETO

FECHA: GUATEMALA, 18 DE MAYO DE 2009.

1. ANTECEDENTES

El estudiante Dany Gerardo Flores Ibañez de la carrera de Ingeniería Civil con numero de carnet **1997-12714**, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de flexión a 04 vigas de concreto, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación **"EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"**.

2. RESULTADOS ENSAYO

Identificación	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Peso kg	Carga a Flexión kg	Modulo de Ruptura kg/cm ²
Zach control (concreto)	53.23	15.13	15.37	28.85	2150.00	48.03
Zvan control (concreto)	53.17	15.20	15.50	28.89	2125.00	46.41
Arroz	53.60	15.10	15.30	21.19	425.00	9.67
Arroz	53.37	15.53	15.20	20.76	375.00	8.37

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De Leon Rodríguez
Jefe de Metales y Productos Manufacturados

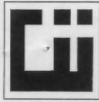
Vo.Bo.

Ing. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA C.I.I.



/cbr

Anexo 4. Informes de los ensayos efectuados a los blocks



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



Nº 008436

BLOCK

1. DATOS GENERALES

O.T. No. 25607

INFORME No. 843-M

INTERESADO: DANNY GERARDO FLORES IBÁÑEZ
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"
ASUNTO: ENSAYO DE BLOCKS
PROVEEDOR: *****
FECHA: GUATEMALA, 26 DE AGOSTO DE 2009.

ANTECEDENTES

El estudiante DANNY GERARDO FLORES IBÁÑEZ de la carrera de Ingeniería Civil con número de Carnet 1997-12714, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de compresión a 06 blocks de concreto, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación "EVALUACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO ORGANICO EN CONCRETOS LIGEROS"

RESULTADOS ENSAYO

#	Identificación	Medidas en cm			Peso Kg.	Abs. %	Resistencia kg/cm ²
		Largo	Ancho	Altura			
01	Control	40.37	15.17	19.53	9.626	27.09	23.26
02	5%	40.37	15.17	20.23	8.460	27.42	11.30
03	10%	40.40	15.13	20.47	8.305	31.06	10.57
04	15%	40.10	15.03	19.93	7.528	35.49	14.52
05	5%	40.10	15.00	19.73	7.754	28.70	21.39
06	***	39.90	15.07	20.40	9.725	24.76	23.58

Nota: *desportillado.

Observaciones: muestras proporcionadas por el interesado.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Jefe de Metales y Productos
Manufacturados

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA C.I.I.

/cbr

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

