

Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto



Abstract

The housing projects, that had development by governmental institute, such as INVU, whose carried out researches about to improve building system, with the objective to create system of lightweight concrete blocks, which were greater density than the system of regular block. This study took the initiative to develop an analysis of the use to rice husks in the manufacture of stone blocks; took into account, the availability of the rice industry would supply raw materials and developing a mix design for the manufacturing of the blocks.

Key words: Block, rice husks.

Resumen

Como un intento de mejoramiento de los sistemas constructivos empleados para los proyectos de vivienda, se han desarrollado, por parte de instituciones del Estado, como el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), desde años, investigaciones con el objetivo de crear un sistema de bloques en concreto ligero, los cuales tuvieran una menor densidad que el sistema de bloques convencional. Este estudio retoma la iniciativa, desarrollando un análisis de la utilización de cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto para mampostería, tomando en cuenta la disponibilidad que tendría la industria arrocera de suministrar materia prima y desarrollando un diseño de mezcla para la fabricación de los bloques.

Palabras clave: Bloques, cascarilla, arroz.

Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto

ESTEBAN MOLINA SALAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO CONCEPTUAL.....	5
METODOLOGÍA.....	17
RESULTADOS.....	18
CONCLUSIONES.....	24
APÉNDICE.....	26
ANEXOS.....	27
REFERENCIAS.....	28

Prefacio

Este proyecto se considera valioso pues representa un avance en relación con la propuesta de sistemas de construcción de vivienda se refiere. Es importante la investigación de nuevas opciones de materias primas, en este caso en la elaboración de sistemas constructivos más eficientes, los cuales, a la vez, contribuyan con el aprovechamiento de materiales que hasta el momento se consideran en cierto modo de desecho, esto toma especial importancia en una época en la que es necesario optimizar al máximo los recursos del planeta, además, podría contribuir a involucrar en un futuro cercano, un solo equipo formado por la Universidad, la Empresa y el Estado, todos sintonizados en la búsqueda de soluciones integrales, no sólo en el campo de la construcción.

De tal manera, se determinará la factibilidad del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto como una posibilidad viable para el sector de la construcción.

Agradecimientos a las siguientes personas por la valiosa colaboración brindada en la realización de este proyecto.

Ing. Jorge Solano Jiménez.
Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto.

Ing. Rodrigo Díaz Sánchez.
Holcim (Costa Rica) S.A.

Señor: Minor Cruz
Corporación Arrocera Nacional.

Señor: Eduardo Vega.
Bloquera Santa Rosa. Turrialba.

Y por supuesto a mi familia, mis padres y hermanos que representan el apoyo incondicional y el motor generador para la obtención de todos mis objetivos. Por supuesto a Dios, quien ha guiado mi vida para no rendirme y llevarme en la dirección correcta, en este caso, la culminación de este proyecto.

Resumen ejecutivo

La inclusión de cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto pretende ser un paso más en la carrera que lleve al aprovechamiento de recursos reutilizables con la finalidad de crear productos de comprobada necesidad para el ser humano, como lo son los bloques de mampostería, pero esta vez con el valor agregado de la sostenibilidad ambiental; tema que hoy toma incalculable importancia para las instituciones educativas, la empresa privada fabricante de bloques, la industria arrocera encargada de dar manejo al desecho cascarilla de arroz y la sociedad en general.

Determinar la factibilidad técnica y económica del uso de cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto es la intención general de esta investigación, para lo cual se sigue el curso que dicta la siguiente metodología:

Se realizó una recopilación de información acerca de los distintos usos que se le han dado tanto nacional como internacionalmente a la cascarilla de arroz, no sin dejar de lado la investigación del manejo que le está dando la industria arrocera, así como las cantidades de cascarilla con las que se podría eventualmente contar para la fabricación de bloques. Paralelamente se establecieron dosificaciones de mezcla para observar el efecto de la cascarilla de arroz en las propiedades de los bloques, así como un análisis de la cascarilla como materia prima. Esto estableció cuales propiedades resultan beneficiosas y cuáles no para el uso en cuestión. Las muestras analizadas en laboratorio fueron tomadas de la Industria Arrocera Costa Rica, ubicada en el Barrio San José de Alajuela y con la facilidad brindada por la Bloquera Santa Rosa ubicada en Turrialba, se fabricaron las muestras aplicando las distintas mezclas mencionadas anteriormente. Por último, se fallaron las diferentes camadas de bloques correspondientes a cada una de las mezclas, además de hacer pruebas de laboratorio para conocer la capacidad de absorción y realizar el respectivo análisis de costos para cada una de

las mezclas, siendo luego comparadas entre sí y con una mezcla que no incluye cascarilla de arroz.

Los resultados muestran, como se previó, la resistencia a la compresión de los bloques, la cual disminuye a medida que se incrementa la cantidad de cascarilla, al mismo tiempo que se da una reducción en el peso de los bloques.

El aumento en la cantidad de cascarilla de arroz que se fue introduciendo gradualmente en las mezclas provocó, como era de esperar, una disminución en la densidad de los bloques, pues elevó su porosidad, lo cual, a su vez tuvo, como consecuencia directa una ganancia en cuanto a capacidad de absorción para los bloques.

En cuanto al costo de fabricación, el comportamiento fue aumentar conforme se fueron agregando mayores cantidades de cascarilla de arroz al tiempo que se reducía el porcentaje de polvo de piedra como agregado, es decir el bloque más barato fue aquel que no contaba con presencia de cascarilla, éste utilizó como agregado el 100% de polvo de piedra y el más caro utilizó el 100% de cascarilla.

La oferta - demanda de la cascarilla de arroz en el país, a pesar de generar grandes volúmenes, no beneficia la intención de fabricar bloques pues las industrias sin excepción tienen contratos con personas particulares por plazos de entre 3 y 10 años para retirar la cascarilla de los patios de las industrias y estas personas a su vez las distribuyen en viveros y granjas principalmente.

Técnicamente según las condiciones y metodología con las cuales se trabajó esta investigación, no fue posible fabricar bloques de concreto tipo A, los cuales incluyeran cascarilla de arroz, mas si fue factible desde el punto de vista de resistencia y disminución de peso, fabricar bloques TIPO B, pero que no cumplen con los requisitos de absorción, además tienen la desventaja de superar en costo a los Tipo A, que no contienen cascarilla de arroz.

Introducción

La idea nace a partir de la solicitud del Ministerio de Vivienda al ICCYC, en el marco del mejoramiento de los sistemas constructivos empleados para los proyectos de vivienda impulsados por el Estado, años atrás se desarrolló una investigación que tuvo por objetivo primordial la creación de un sistema de bloques en concreto ligero. En dicho proyecto se buscaba que el producto obtenido tuviera una menor densidad que el sistema de bloques ordinario, lo cual permitiera tener ciertas ventajas que lo harían atractivo y viable.

En dicha investigación fueron realizadas pruebas de laboratorio, efectuadas por el Laboratorio de Materiales del INVU, las cuales ofrecieron datos importantes sobre el comportamiento estructural del sistema de bloques propuesto, su viabilidad y posible aplicación. Cabe mencionar que posteriormente a las pruebas, se elaboró un lote de bloques para la construcción experimental de una vivienda con este sistema, la cual luego de más de diez años de construida, aún continúa en pie.

Por lo anterior, y debido a la importancia de la investigación realizada previamente, el tema ha sido retomado por el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, pues se considera un proyecto valioso para la Institución en lo que respecta al avance de las propuestas de vivienda de éste. Por supuesto se deberá tener conocimiento de la situación actual en cuanto a disponibilidad de la materia prima que orienta dicho sistema, a saber: la cascarilla o granza de arroz; razón por lo cual será fundamental la coordinación directa con las arroceras nacionales a través de CONARROZ, las cuales serían al fin y al cabo las proveedoras de la materia prima.

Área de enfoque del proyecto.

El área de enfoque de este proyecto será la investigación de nuevas opciones de materias primas, en este caso en la elaboración de sistemas constructivos más eficientes, los cuales, a la vez contribuyan con el aprovechamiento de materiales que hasta el momento se consideran de desecho. Lo anterior sobre todo en una época en la que es necesario optimizar al máximo los recursos del planeta, la idea es involucrar en un futuro cercano, un solo equipo formado por la Universidad, la Empresa y el Estado, todos sintonizados en la búsqueda de soluciones integrales.

Objetivo general

- Determinar la factibilidad técnica y viabilidad económica del uso de cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto.

Objetivos específicos

- Evaluar la relación oferta – demanda de producción de cascarilla de arroz en Costa Rica, en caso de ser utilizada en la fabricación de bloques de concreto.
- Identificar las propiedades físico – químicas de la cascarilla de arroz.
- Establecer una dosificación apropiada para la fabricación de bloques.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas de los bloques de concreto al utilizar cascarilla de arroz en la mezcla.
- Estimar los costos de producción de bloques de concreto con cascarilla de arroz.

- Comparar ventajas y desventajas contra bloques convencionales, considerando costo, resistencia, absorción y fabricación.

Alcances y limitaciones

El alcance que se pretende con el proyecto será, como lo dicta el objetivo general, determinar la factibilidad técnica y viabilidad económica de fabricar bloques utilizando cascarilla de arroz, de ser el caso, pretende dar los lineamientos técnicos de la fabricación de éstos, así como la respuesta a si es viable o no económicamente implantar la utilización de la cascarilla de arroz en este proceso, pero solamente desde la óptica brindada por el estudio de una muestra pequeña de bloques, es decir, no a nivel industrial.

Por lo tanto, entre las limitaciones que presenta este estudio está la de no tomar en cuenta ni analizar lo que podría ser un proceso de industrialización para fabricar bloques ni si es viable o no cambiar los procesos seguidos hasta este momento. Tampoco será capaz este documento de brindar información acerca del comportamiento de este tipo de bloques luego de un periodo en el que ya se encuentren formando parte de un sistema constructivo, como una vivienda, por ejemplo, es decir, cómo reaccionarían ante factores climáticos como cambios drásticos de temperatura, ataque de hongos, etc. Además sólo analiza el efecto de la utilización de cascarilla de arroz en su estado puro, es decir, sin ningún tratamiento de quemado por ejemplo para eliminar sustancias orgánicas que pudieran ser perjudiciales en las propiedades de los bloques, se considera esta última la mayor limitación mayor de este trabajo, pues queda claro que la cascarilla de arroz efectivamente cuenta con componentes beneficiosos como el sílice y otros perjudiciales como los componentes de tipo orgánico.

Marco conceptual

Posición de CONARROZ

La Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ), considera el proyecto de utilización de la cascarilla de arroz como una oportunidad de aprovechamiento para las distintas industrias procesadoras de arroz en Costa Rica, según lo indican claramente los señores Minor Barboza, director de operaciones, y Minor Cruz, jefe del Laboratorio y control de calidad.

Ambos profesionales creen firmemente que podría representar un beneficio directo, en el sentido de proveer algún ingreso adicional para los arroceros, en caso de que el proyecto de fabricación de bloques de concreto utilizando cascarilla de arroz resulte factible, pues podrían obtener un beneficio adicional, el cual aunque sea bajo, lo es a partir de una materia prima (cascarilla de arroz), que en este momento no es considerada por el Ministerio de Economía ni siquiera como un subproducto, es decir, resultaría sacar provecho de algo que no pasa de ser un desecho industrial, en la actualidad, incluso generaría ahorros en el manejo de desechos de las industrias.

Proceso de producción

A continuación se presenta el Cuadro 1, donde se muestra el proceso de industrialización del arroz, en él se pueden observar trece etapas, las cuales se deben llevar a cabo para lograr el producto terminado que es el arroz empaquetado en bolsas, así como los materiales empleados en cada una, los recursos energéticos necesarios

para llevarlas a cabo, en general la electricidad y capacidad calorífica; por último, los desechos que se producen, dentro de los cuales está por supuesto la cascarilla de arroz.

Se puede observar en la quinta etapa, la de secado, es necesaria la utilización tanto de energía eléctrica como del poder de combustión de la misma cascarilla, además una vez finalizado el proceso, resultan como desechos cascarilla semiquemada y el carbón utilizado.

También luego del almacenamiento en la etapa de descascarado el principal desecho es la cascarilla, además de arroz rojo y arroz vano, prácticamente todas las industrias arroceras nacionales, dentro de las cuales se pueden mencionar: Arrocera Costa Rica en Alajuela, Arrocera El Ceibo en la zona sur, Arrocera El Porvenir, ubicada en Barranca Puntarenas o El Pelón de La Bajura en Guanacaste, siguen este mismo procedimiento: utilizar la cascarilla de arroz desechada en la etapa de descascarado, gracias a su poder de combustión, en el proceso de secado. Sin embargo, solamente se utiliza un 12% esta producción para el proceso, es decir, que se podría disponer de un 88% de cascarilla de arroz para otros usos, o incluso se podría considerar como desecho. Como se mencionó antes, La Hacienda El Pelón de la Bajura está produciendo electricidad a partir de la misma cascarilla, empero a la fecha es la única arrocera que lo hace.

CUADRO 1. PROCESO DE INDUSTRIALIZACION DEL ARROZ.

PROCESO	MATERIALES	ENERGÍA	DESECHOS
1. Recibido	Energía eléctrica para báscula	Energía eléctrica para báscula	Emisiones de los camiones
	Camiones		
2. Descarga	Silo subterráneo	Camiones	Impurezas: piedras, animales.
	Rejilla		
	Clasificadora		
3. Prelimpieza	Prelimpiadoras	Eléctrica	Paja, piedras, insectos.
	Zarandas		
	Aire		
	Banda Horizontal		
4. Limpieza	Limpiadoras	Eléctrica	Paja, hebras, arroz vano.
	Zarandas Finas		
	Aire		
5. Secado	Silos de secado	Eléctrica para los ventiladores y capacidad calorífica de los materiales.	Cascarilla, semiquemada, carbón utilizado.
	Ventiladores		
	Cascarilla de arroz		
	Aire		
6. Almacenamiento	Silos	Eléctrica	Material particulado, polvillo.
	Elevadores		
7. Descascarado	Descascarador	Eléctrica	Cascarilla, paddy verde, arroz rojo, arroz vano.
	Rodillos		
	Elevadores		
8. Separación	Zarandas	Eléctrica	NA
	Rejillas finas		
9. Blanqueo	Blanqueadoras de abrasión	Eléctrica	Arroz partido, harina de arroz.
	Rodillos		
10. Pulido	Pulidora	Eléctrica	Arroz cristal, harina de arroz.
	Rodillos		
	Banda transportadora		
11. Clasificación tamaño	Zarandas	Eléctrica	Arroz partido
	Rejillas finas		
12. Clasificación color	Clasificadora	Eléctrica	Arroz yesado
	Banda Transportadora		
13. Empaquetado	Empaquetadoras	Eléctrica	Bolsas defectuosas y emisiones.
	Bolsas		
	Elevador		
	Camiones		

Fuente: (Biblioteca Arroceras, CONARROZ, 2009)

Usos de la cascarilla

Realmente la cascarilla de arroz está siendo investigada mundialmente con el fin de encontrar, alguna forma de aprovechamiento de ésta. Estos son algunos de los esfuerzos que se han realizado al respecto:

Producción de electricidad

Actualmente en la zona de Guanacaste, específicamente en Liberia, en La Hacienda El Pelón de la Bajura, se desarrolla un proyecto por parte de la Compañía Arrocera Industrial (CIA), para producir electricidad, se trabaja con una planta cuya capacidad de producción es de 1.500 kilovatios, los cuales tienen como finalidad atender las necesidades energéticas de la empresa en un futuro. La Hacienda es atendida en este momento por el Instituto Costarricense de Electricidad.

La producción de electricidad a partir de la cascarilla de arroz se da gracias al hecho de ser ésta una fuente potencial de energía dado su poder calórico de combustión y sus características de material inflamable.

La idea fue tomada de una compañía arrocera ubicada en Louisiana, Estados Unidos.

Sustituto de la madera

El Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ), México, con la intención de detener los problemas de tala indiscriminada, ha colocado la cascarilla de arroz como un material sustituto, por ser un polímero sintético que puede suplir perfectamente la madera en la fabricación de muebles o divisiones de paredes, por ejemplo, destacan las características de impermeabilidad y alta resistencia.

En su estudio, los doctores René Salgado Delgado, Alberto Álvarez Castillo y Edgar García Hernández aseguran que con la finalidad de poder detener la tala inmoderada de árboles, han surgido nuevos materiales sustitutos entre los cuales destacan los polímeros sintéticos, que representan una solución a los problemas económicos, tecnológicos y ambientales. Destaca el hecho de que el arroz sea uno de los alimentos más comunes del mundo, por ello las

producciones anuales son siempre muy altas. En Costa Rica se tienen datos suministrados por CONARROZ de consumo de 350 000 toneladas de cascarilla de arroz anuales.

La cascarilla de arroz, por sus características químicas, no se quema tan fácilmente, esto le hace adquirir un carácter ignífugo, no le penetra la humedad confiriéndole una propiedad hidrofóbica y muestra una magnífica resistencia a los esfuerzos aplicados.

Tejas para techo

En la edificación de casas en algunas ciudades de Uruguay, a partir de la combustión de este producto, de su ceniza se elaboran tejas para techo. La composición de estas es principalmente con base en cáscara de arroz, explotando al máximo las virtudes y cualidades del silicio: "Mediante un proceso complejo de molienda, tamizado, agregado de otros componentes y mezclado, obteniendo un producto final de excelentes cualidades mecánicas, térmicas, ignífugas y de resistencia a la abrasión". Sus terminaciones superficiales pueden también diseñarse para que respondan a diferentes requerimientos, como por ejemplo estéticos.

Fabricación de cerámicos

En Estados Unidos y México se utiliza en la fabricación de cementos y materiales cerámicos. Está claro que la cascarilla de arroz no es comestible, por su alto contenido de sílice. Este sólido cristalino, también conocido como dióxido de silicio, es el componente principal de la arena. Al fundirse con otros óxidos metálicos, genera diferentes variedades de vidrio.

Por esta característica, la cascarilla del arroz tiene aplicaciones limitadas en cuanto a alimentación, en estos países no puede emplearse más de cinco por ciento en animales. Aunque a veces se maneja como combustible, es un material totalmente inadecuado para este uso, porque presenta una elevada resistencia al fuego. Razón por la cual, generalmente se convierte en basura, según el doctor Víctor Manuel Castaño, director del Centro de Física Aplicada y

Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (FATA-UNAM).

Fabricación de muebles

Al igual que lo ha hecho en el Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ), los investigadores de FATA desarrollaron un material aglomerado a base de cascarilla de arroz, utilizado en la fabricación de muebles, paneles y otros artículos, apoyados en el bajo coeficiente de dilatación, por eso es resistente a la deformación y los cambios de temperatura, además de su resistencia a la mayoría de las sustancias químicas. De igual forma, es posible darle diferentes texturas y colores, incluso un acabado tipo poliéster.

Los investigadores ven esta innovación con potencial de crear toda una nueva industria, con la participación de empresas interesadas, por medio de convenios. De hecho mencionan que "México podría importar cascarilla de arroz prácticamente sin costo, puesto que se trata de un desperdicio, y convertirla en productos elaborados con un alto valor agregado". Es un ejemplo de que se puede aprovechar lo que otros desechan para crear materiales con tecnología de punta.

Sustrato hidropónico

Entre las principales propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz se tiene que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y su principal costo es el transporte. La cascarilla de arroz es el sustrato mas empleado para los cultivos hidropónicos en Colombia, bien sea cruda o parcialmente carbonizada. Su principal inconveniente es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de ésta (humectabilidad) cuando se usa como sustrato.

Bloques de concreto ligero

La fabricación de bloques de concreto ligero es un proyecto realizado por el Departamento de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Nacional de

Vivienda y Urbanismo, a través del Ingeniero Luis Guillermo Arguedas Delgado, con la colaboración del laboratorista Martín Salas, en enero de 1989.

Se tenían como objetivos el aprovechamiento del material de desecho de la agricultura, el aumento de la trabajabilidad en la construcción, disminuyendo el tiempo de levantado de una vivienda, además reducir el peso de la construcciones, por consiguiente, las fuerzas sísmicas aplicadas sobre ellas, por último minimizar la propagación de ruido en las viviendas, Luego de desarrollado el proyecto se lograron determinar algunas dosificaciones de mezcla para bloques de pared de relleno, con esto se llegó a la conclusión de que los bloques de concreto ligero a base de granza de arroz son una nueva alternativa en construcción por tener propiedades especiales tales como: aislante de ruido, bajo peso y costo, fácil manejo, aislante térmico, capacidad de absorción de cargas, así como facilidad para el corte.

También mencionan que podrían ser útiles en zonas de alta contaminación sónica o en separaciones de espacios en edificaciones para oficinas por ejemplo, pues permiten un acabado final de pared con superficie sólida, similar a una construida con bloques convencionales, sin perder de vista que su uso implicaría una reducción de costos, por tamaños de fundaciones, facilidad para el manejo de bloques y reducción de tiempos de construcción.



Figura 1. Casa construida con bloques de concreto ligero, Liberia, Guanacaste, enero de 1989.

Fuente: Bloques concreto ligero usando como agregado granza de arroz.

Concretos de alta resistencia

Es un proyecto dirigido por el ingeniero Silvio Delvasto y la colaboración de los estudiantes Diego Alberto Carvajal, Carlos Felipe Medina y Diego Fernando Mora estudiantes del Plan de Ingeniería Civil de La Universidad del Valle, en los Llanos Orientales, Colombia. Para la investigación se utilizaron agregados selectos como arena extraída de una de las zonas no contaminadas del río Cauca y varios agregados que incrementan la resistencia del material. El más importante de estos aditivos es la ceniza de cascarilla de arroz. Según el ingeniero Delvasto, con estos materiales se pueden elaborar concretos de alta resistencia.

El proceso se inicia al realizar una quema especial de la cascarilla para eliminar el compuesto orgánico. Luego la ceniza se somete a un procedimiento químico para extraer sílice, el cual es de color blanco y amorfo, ello permite agregarle color, según indican el hecho de ser amorfa le da al concreto una mayor resistencia.

Pero, además de mejorar la compresión, es decir la capacidad de soportar carga que tiene el concreto, optimiza las propiedades relacionadas con el ambiente donde estará localizado.

Así, por ejemplo, la mezcla del concreto con este producto genera una mayor resistencia al cloruro, sustancia común en ambientes marinos.

Después de realizar las pruebas en laboratorio se hicieron otras en menor escala y los resultados en cuanto a resistencia y durabilidad son excelentes.



Figura 2. Cascarilla de arroz

Fuente: Bloques concreto ligero usando como agregado granza de arroz.

Requisitos de los bloques

A continuación se presentan los requerimientos que exige El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, el cual es el organismo nacional encargado de normalización, según la Ley 8279 de 2002, en cuanto a las unidades de mampostería hueca de concreto para uso estructural, fabricadas con cementos hidráulicos, agua y agregados minerales con la inclusión de otros materiales o sin ella.

Definiciones

Bloque de concreto

“Elemento fabricado de concreto, cuya área neta de la sección transversal, en cualquier plano paralelo a la superficie que contenga núcleos, celdas o muescas (hendiduras), es menor que el 75% del área bruta de su sección transversal medida en el mismo plano”. Podría decirse que un bloque de concreto es una pieza individual con la cual se construyen muy flexiblemente paredes estructurales y no estructurales, muros, vigas y columnas.

Lote

“Cualquier número de unidades de mampostería de concreto de cualquier configuración o dimensión producida por el fabricante utilizando los mismos materiales, diseño de mezcla de concreto, proceso de producción y método de curado”.

Cemento

“Debe cumplir con lo establecido en el reglamento RTCR 383: 2004”, el cual es un cemento de uso general para concretos y morteros que no demanden alta resistencia inicial, que deben de mantener las siguientes propiedades químicas y físicas en los rangos que se establecen.”

CUADRO 2. REQUISITOS QUÍMICOS		
	Norma UG-RTC 383. 2004	
%	Mín.	Máx.
Óxido de magnesio(MgO)	-	6.0
Trióxido de azufre (SO ₃)	-	4.0
Pérdida de ignición	-	-

Fuente: (RTC 383: 2004)

CUADRO 3. REQUISITOS FÍSICOS		
	Norma UG-RTC 383. 2004	
%	Mín.	Máx.
Contenido de aire en %	-	6.0
Resistencia a la compresión MPa ASTM C - 109	-	-
1 día	-	-
3 días	10	-
7 días	17	-
28 días	28	-
Fragua inicial/final Vicat ASTM C – 191 (min).	45	420

Fuente: (RTC 383: 2004)

CUADRO 4. RESISTENCIA MÍNIMA SOBRE EN ÁREA NETA A LOS 28 DÍAS		
Clase	Resistencia mínima a la compresión MPa.	
	Promedio de 3 o más unidades	Unidad individual
A	13.0(132.6kg/cm ²)	11.8
B	8,8(89.76kg/cm ²)	7,8
C	7,4(75.48kg/cm ²)	6,8
Nota. El fabricante deberá aportar la fecha de fabricación de los bloques de concreto en el documento de entrega o factura		

Fuente: (INTE 06-03-01-07)

Agregados

“Piedra, grava triturada, arena natural o fabricada que cumpla con lo establecido para bloques de concreto en la norma INTE 06- 01–02-06”

Agua

“Debe cumplir con lo establecido en la norma INTE 06-01-06-06”.

Otros materiales

“Se pueden utilizar otros materiales como aditivos, cal hidratada, pigmentos colorantes, repelentes, sílice natural entre otros, pero estos no deben disminuir la resistencia de los bloques de concreto”.

Clasificación de bloques

Se clasifican por su resistencia a la compresión y por su absorción, de acuerdo con los Cuadros 4 y 5, en Clase A, B o C.

Absorción

Los bloques deberán cumplir con lo establecido en el Cuadro 5. Requisitos de absorción.

Espesores mínimos de las paredes de los bloques

“Tanto las paredes externas como internas de los bloques de concreto deben ser los establecidos en el Cuadro 6. Espesores mínimos de pared.”

CUADRO 5. REQUISITOS DE ABSORCIÓN				
Clase	Absorción			
	Expresada en %	Valor máximo individual (%)	Expresada en Kg/m ³	Valor máximo individual Kg/m ³
A	≤ 10	11	≤ 196	218
B	≤ 11	12	≤ 218	237
C	≤ 14	15	≤ 277	297

Fuente: (INTE 06-03-01-07)

CUADRO 6. ESPEORES MÍNIMOS DE PARED			
Ancho nominal de bloques de concreto ¹ (mm)	Espesor mínimo ² (mm)		
	Paredes externas	Paredes internas	Espesor equivalente de pared interna ³ (mm/m)
120	19	19	136
150	25	25	188
200	32	25	188
250	35	29	209
300	38	29	209

Nota 1. Para uso estructural, se limita la dimensión del ancho del bloque a un valor de 12cm.

Nota 2. Se considera el valor promedio de tres unidades, medidas en el punto más angosto de la pared.

Nota 3. El espesor equivalente de la pared interna no aplica a aquella parte de la unidad que va a ser rellena de concreto. La longitud de esa porción deberá ser reducida de la longitud total de la unidad para el cálculo del espesor equivalente de la pared.

Fuente: (INTE 06-03-01-07)

Variaciones permitidas en las dimensiones

Las dimensiones reales de ancho, largo y alto, podrán definir en ± 3 mm de las dimensiones estándar especificadas.

Deben además estar en buen estado, libres de fisuras, quebraduras y otros defectos que pudieran interferir en la correcta colocación de la unidad, o bien, que influyan en la resistencia y la durabilidad de la construcción.

Muestreo

Para la determinación de los requisitos de resistencia a la compresión y absorción establecidos en esta norma, se deben tomar bloques de concreto al azar, según el plan de

muestreo que se haya establecido en el Cuadro 7. Muestreo.

CUADRO 7. MUESTREO		
Tamaño del lote. (bloques)	Tamaño mínimo de la muestra para	
	Dimensiones y resistencia a la compresión.	Absorción, área neta y peso unitario
0-2000	3	3
2001-10000	6	3
$\geq 10000 \leq 100000$	12	6
≥ 100000	6 und por cada 50 000 und o fracción de lote.	6

Fuente: (INTE 06-02-13-07)

Cumplimiento

En caso de que la muestra no cumpla con los requisitos especificados, el fabricante puede remover de las unidades suministradas las que a su criterio considera que no cumplen. Se selecciona una nueva muestra de las unidades restantes en el lote. Si la segunda muestra cumple con los requisitos especificados, queda por aceptado el lote. De lo contrario el resto del lote debe ser desechado.

Rotulado

Se debe cumplir con lo siguiente.

Bloques de concreto clase A: Cada unidad de bloques de concreto debe identificarse con dos rayas verticales, en bajo o alto relieve y colocarse en el lado correspondiente al ancho del bloque de concreto.

Bloques de concreto clase B: Cada unidad de bloque de concreto debe identificarse con una raya vertical, en bajo o alto relieve y colocarse en

el lado correspondiente al ancho del bloque de concreto.

Bloques de concreto clase C: Las unidades de bloque de concreto no deben llevar ninguna raya.

Las marcas no deben afectar las propiedades físicas del bloque de concreto.

Método del ensayo

La determinación de las dimensiones, la resistencia a la compresión, el área neta y la absorción deben realizarse según lo establecido en la norma INTE 06-02-13-07.

Identificación

Se ha de marcar cada espécimen de manera tal que pueda ser identificado en cualquier momento. Las marcas no deben cubrir más del 5% del área superficial del espécimen.

Se pesarán las unidades para la prueba de contenido de humedad inmediatamente después del muestreo y marcado. Se debe registrar este peso como W_r (peso recibido).

Medidas de dimensiones

Las medidas de dimensiones totales se harán con una escala que tenga divisiones al milímetro. Lo espesores de las caras y divisiones serán medidas con un calibrador (vernier) que tenga divisiones no mayores a 0,1 mm y con mordazas de medición paralelas de longitud no menores a 12,7 mm ni mayores a 25,4 mm.

Especímenes

Se deben tomar medidas de tres unidades enteras para largo, ancho y alto, así como los espesores mínimos de las paredes internas (nervios) y externas.

Nota. Estos mismos especímenes deben ser utilizados en otros ensayos.

Medidas

Para cada unidad se han de medir y registrar: el ancho (W) a través de las superficies de aplicación de carga inferior y superior a media

longitud, la altura (H) a media longitud de cada cara y la longitud (L) a media altura de cada cara.

Para cada unidad, se deben medirán los espesores de las paredes externas y los de las paredes internas en el punto más delgado de cada elemento a 12.7 mm debajo de la superficie superior, como se fabrica (típicamente la superficie inferior de la unidad es la de almacenado) registra la división más cercana de la escala o calibrador.

Donde el punto más delgado de las paredes externas opuestas difiere en espesor en menos de 3,2 mm, se promediaran estas mediciones para determinar el espesor mínimo de las paredes externas de esa unidad. Se deben promediar las medidas de todas las paredes internas (nervios) en cada unidad para determinar el espesor de pared interna mínima para esa unidad. Se deben excluir las paredes internas (nervios) con espesores menores de 1,9 mm cuando se determine el espesor mínimo de éstas paredes. Se pasarán por alto los huecos, partículas y detalles similares en las mediciones.

Resistencia a la compresión

La exactitud del alcance de carga de la máquina debe ser $\pm 1,0\%$ sobre el alcance de carga previsto. El plato superior debe sentarse estrictamente en el bloque de metal endurecido y estar firmemente anexo al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe yacer en el centro de la superficie sujeta en su asiento esférico y tener libertad de girar en cualquier dirección y su perímetro debe tener al menos 6,3 mm de separación de la cabeza para que los especímenes se acomoden cuando las superficies de carga no sean paralelas. El diámetro del plato superior debe ser al menos de 150 mm. Se puede usar un plato de carga de metal endurecido debajo del espécimen para minimizar el uso del plato inferior de la máquina.

Cuando el área de carga del plato superior o inferior no es suficiente para cubrir el área del espécimen, se colocará entre el plato y el espécimen capeado un único plato de carga de acero con un espesor igual o mayor a la distancia del borde del plato a la esquina más distante del espécimen. La longitud y el ancho del plato de acero deben ser de al menos 6,3 mm más grande que el largo y el ancho de la unidad.

Cálculos

La absorción se calcula como sigue:

$$\text{Absorción, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = [(W_s - W_d)/(W_s - W_i)] \times 1000$$

$$\text{Absorción, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = [(W_s - W_d)/(W_s - W_i)] \times 1000$$

Donde:

Ws = Peso saturado del espécimen, kg.

Wi = Peso sumergido del espécimen, kg.

Wd = Peso seco al horno del espécimen, kg.

El contenido de humedad, así:

Contenido de humedad, % de la absorción total

$$[(W_r - W_d)/(W_s - W_d)] \times 100$$

Donde:

Wr = Peso al recibir la unidad, kg.

Wd = Peso seco al horno del espécimen, kg.

Ws = Peso saturado del espécimen, kg.

La densidad como sigue:

$$\text{Densidad, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = [W_d/(W_s - W_i)] \times 1000$$

Donde:

Wd = Peso seco al horno del espécimen, kg.

Ws = Peso saturado del espécimen, kg.

Wi = Peso del espécimen sumergido, kg.

Área neta promedio como sigue:

$$\text{Volumen Neto}(V_n), \text{mm}^3 = \frac{W_d}{D} = (W_s - W_i) \times 10^6$$

Donde:

Vn = Volumen neto del espécimen, mm³

Wd = Peso seco al horno del espécimen, kg.

D = Densidad seca al horno del espécimen, kg.

Ws = Peso saturado del espécimen, kg.

Wi = Peso del espécimen sumergido, kg.

An = Área neta promedio del espécimen, mm².

H = Altura promedio del espécimen en mm.

Área bruta como sigue:

$$\text{Área bruta, } (A_g), \text{mm}^2 = L \times W.$$

Donde:

Ag = Área bruta del espécimen, mm².

L = Longitud promedio del espécimen, mm.

W = Ancho promedio de la fracción o espécimen, mm.

Esfuerzo a la compresión sobre área neta, de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia a la compresión, (MPa)} = P_{\text{max}}/A_n.$$

Donde:

Pmax = La carga máxima a la compresión, N.

An = Área neta promedio del espécimen, mm².

Esfuerzo a la compresión sobre área bruta, así:

$$\text{Resistencia a la compresión, (MPa)} = P_{\text{max}}/A_g.$$

Donde:

Pmax = La carga máxima a la compresión, N.

A_g = Área bruta promedio del espécimen, mm².

Esesor equivalente de las paredes internas
como sigue:

El esesor equivalente de las paredes internas de cada unidad es igual a la suma de los espesores medidos de todas las paredes, cuyo esesor individual es igual o mayor que 19.1 mm (0.75 pulg) en la unidad, multiplicado por 1000 y dividido por la longitud de la unidad en metros.

Esesor equivalente de la siguiente manera:

Se define como el esesor promedio del material sólido en la unidad y se calcula así:

$$T_e, \text{ mm} = [V_n / (L \times H)]$$

Donde:

T_e = Esesor equivalente, (mm).

V_n = Volumen neto promedio de las unidades enteras, mm³.

L = Longitud promedio del espécimen, mm.

H = Altura promedio de las unidades enteras, mm.

Reporte

Se debe elaborar un reporte completo que debe incluir lo siguiente:

El esesor a compresión sobre el área neta a los 0.1 MPa más cercano, separadamente para cada espécimen y como promedio tres especímenes.

Los resultados de absorción y densidad deben ser reportados a los 1 kg/m³ o 0,1% más cercano y los resultados de densidad a 1 kg/m³ más cercano separadamente para cada unidad y como un promedio para las tres unidades. Si los ensayos de absorción son realizados a especímenes que no sean unidades enteras, se debe reportar la razón por la cual se ensayaron como unidades de tamaño reducido, además el tamaño y configuración de los especímenes ensayados.

El ancho promedio, altura y longitud al 1 mm más cercano para cada espécimen.

El esesor mínimo de pared externa al 0,1 mm más cercano, como un promedio del mínimo esesor de pared externa registrado para uno de los tres especímenes.

El esesor mínimo de pared interna al 0,1 mm más cercano, como un promedio de los espesores de pared interna registrado para uno de los tres especímenes.

El esesor de pared interna equivalente al 0,1 mm más cercano, como un promedio para los tres especímenes.

Cuando se requiera, el esesor equivalente al 1 mm más cercano, como un promedio para los tres especímenes

Cuando se requiera, el contenido de humedad al 0,1% más cercano como un promedio de los tres especímenes.

La hora y el lugar en los cuales el contenido de humedad es determinado (cuando el peso recibido W , es medido).

Dosificación de mezcla inicial

El diseño de mezcla que servirá como punto de partida en este estudio, es decir, aquel que se utilizará para fabricar los bloques convencionales que no cuentan dentro de sus agregados con cascarilla de arroz y de los que ya están comprobadas sus características, fue suministrado por el Jefe de Laboratorio de la empresa Holcim, señor: Minor Murillo, es; igual al utilizado para fabricar los bloques convencionales que distribuye en el mercado comúnmente esta Compañía, la dosificación está dada en cajones de 30 cm de lado y es la siguiente:

Cemento 1 cajón, arena 6 cajones, polvo de piedra 6 cajones y agua 8 litros.

Propiedades de la cascarilla de arroz

La determinación de las propiedades físicas de la cascarilla de arroz se realizó básicamente con el apoyo del trabajo de investigación realizado por los señores Gustavo Quesada Roldán y Carlos Méndez Soto del Programa de Hortalizas, Estación Experimental Fabio Baudrit M. Universidad de Costa Rica en el 2005. Cuyo nombre es "Análisis Físicoquímico de Materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas".

Se presenta con fines comparativos, además de los resultados de la cascarilla de arroz, los de la fibra de coco y los de la arena.

Cascarilla de arroz (*Oryza sativa*)

Muestra obtenida en la Arrocería Costa Rica, en el Barrio San José de Alajuela.

Fibra de coco (*cocus nucifera*)

Proveniente de Siquirres, Limón. El coco fue envejecido un año antes de ser molido. De su molienda se obtienen partículas finas y fibras medianas.

Arena

Recolectada de los playones del río Virilla, a su paso por Turrúcares, Alajuela. No fue procesada ni lavada previamente a los análisis.

De acuerdo con lo anterior se logra establecer que la cascarilla de arroz se caracteriza por ser una fuente potencial de energía, dado su poder calórico de combustión y sus características de material inflamable.

Obtención de la cascarilla a nivel nacional

A nivel nacional en por los menos 12 Industrias Arroceras consultadas sobre el destino que le dan a la cascarilla que desechan, en todas excepto Arrocería El Pelón de la Bajura, se tienen contratos con personas particulares en la mayoría de los casos por tres o cuatro años, o incluso hasta 10 años, el contrato específicamente consiste en que estas personas deben retirar la cascarilla de la industria, por su parte los contratistas la revende principalmente en granjas y viveros.

En el caso de este estudio las propiedades de la cascarilla que se utilizará son las del estudio de los señores Quesada y Méndez, dado que está hecho con muestras de la Industria Arrocería Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, la cual ha sido facilitada por el señor Marciano Arroyo, dueño del contrato con la Industria en este momento.

Cuadro 8. Poder calorífico Inferior (Hi) de algunos combustibles por metro cúbico en condiciones normales de temperatura y presión.

Materia	Hi (Kj/Kg)
Alcohol etílico	24388
Bagazo de caña	9200 a 13800
Cáscara de arroz	16218
Gasolina	44000
Leña 20% de humedad	15412

Fuente: (Secado de granos a altas temperaturas. FAO)

Por otro lado, presenta valores altos de impermeabilidad y resistencia, no se quema tan fácilmente esto le hace adquirir un carácter ignífugo, no le penetra la humedad confiriéndole una propiedad hidrofóbica, es liviano y de buen drenaje.

Cuadro 9. Porosidad, capacidad de retención de aguas y densidad			
	Porosidad Total (%)	Capacidad retención de agua (%)	Densidad (g/ml)
Cascarilla de arroz	64.75	25.85	0.10
Arena	84.42	32.42	0.71
Fibra de coco	38.22	.	0.05

Fuente: (Análisis físicoquímico de materias primas y sustratos para almácigos, Quesada y Méndez).

Metodología

- Investigación sobre trabajos realizados o cualquier tipo de información afín con el tema de la utilización de cascarilla de arroz en la construcción de bloques de concreto.
- Obtener información de las empresas arroceras en cuanto al tema de obtención de la cascarilla de arroz, con el fin de determinar la disponibilidad de entrega, los costos de ello, acarreos y por supuesto los volúmenes con lo cuales se podría eventualmente contar.
- Obtención de un diseño de mezcla de un bloque convencional para tener un punto de referencia a partir del cual observar el efecto de la introducción de la cascarilla en la mezcla de estos.
- Toma de muestras de la cascarilla arroz que se genera en Costa Rica, para ser analizadas en laboratorio y conocer sobre su composición.
- Análisis de laboratorio o investigación bibliográfica de las muestras tomadas para conocer su composición y establecer qué propiedades podrían ser eventualmente beneficiosas y cuáles no.
- Fabricación de bloques utilizando cascarilla de arroz, de acuerdo con la normativa correspondiente.
- Análisis de laboratorio de bloques fabricados con cascarilla de arroz y bloques convencionales (sin cascarilla) para hacer las comparaciones en cuanto a resistencia y absorción necesarias
- Análisis de los costos necesarios para fabricar bloques de concreto con cascarilla de arroz y los costos de fabricación de bloques convencionales sin cascarilla.

Resultados

Resistencia a la compresión

Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión neta, en el Laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción, CIVCO, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para los cinco grupos de tres bloques cada uno, de los cuales las dosificaciones son las mostradas en el Cuadro 10, donde se observa cómo la para la dosificación 1 hay un 0% de cascarilla de arroz, conforme se avanzó en las mezclas la cantidad de cascarilla que sustituye el agregado fue aumentando gradualmente, esto con la intención de observar la injerencia que tendría en las características tanto de resistencia como de absorción en los bloques.

En el Cuadro 11 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia para las distintas dosificaciones, incluyendo las edades de falla, el método de curado, el cual fue el de inmersión, por supuesto la resistencia inmediata obtenida en el momento del ensayo así como la proyección de resistencia a los 28 días, este último dato fue

obtenido a partir de una curva de proyección, la cual utiliza factores para distintas edades de falla. En este caso se empleo 0.71 para los bloques fallados a los cinco días y 0.80 para los fallados a los

11 días, estos valores fueron facilitados gracias a la colaboración del Ing. Sergio Fernández Cerdas del Laboratorio de Investigaciones en Vivienda y Construcción CIVCO, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Dosificación	Cemento	Arena	Agregado	Cascarilla	Total
	%	%	%	%	%
1	14.29	42.86	42.86	0.00	100.0
2	14.29	35.71	35.71	14.29	100.0
3	14.29	28.57	28.57	28.57	100.0
4	14.29	21.43	21.43	42.86	100.0
5	14.29	14.29	14.29	57.14	100.0
6	14.29	7.14	7.14	71.42	100.0
7	14.29	0.00	0.00	85.71	100.0

Dosificación	Edad (Días)	Proceso de curado	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Resistencia Proyectada a 28 días (kg/cm ²)
1	5	Inmersión	94.8	94.37	132.91
			92.6		
			95.7		
2	5	Inmersión	85.7	87.20	122.82
			88.4		
			87.5		
3	5	Inmersión	78.3	77.40	109.01
			76.5		
			77.4		
4	11	Inmersión	58.2	58.63	73.29
			60.4		
			57.3		
5	11	Inmersión	45	45.65	57.06
			46.3		
			-		

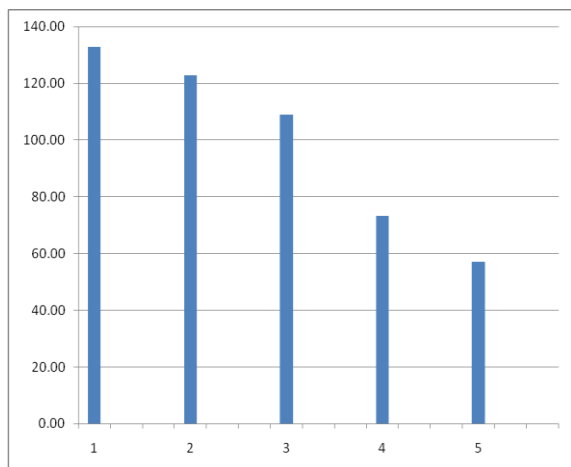


Figura 3: Mezclas vrs Resistencias

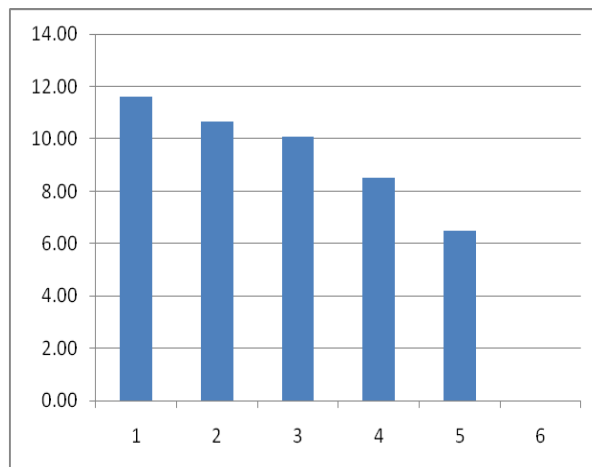


Figura 4: Mezclas vrs Pesos.

Peso de los bloques

A continuación en el Cuadro 12 se muestra la comparación entre valores de peso y resistencia, en cada uno de los casos para las cinco mezclas utilizadas, con la dosificación 6 no fue posible, pues para este caso no se dio una consistencia mínima que permitiera ni siquiera la manipulación de los bloques.

MEZCLA	PESO PROMEDIO DEL BLOQUE. (kg)	Resistencia Promedio 28 días (kg/cm²)
1	11.60	132.91
2	10.66	122.82
3	10.07	109.01
4	8.50	73.29
5	6.50	57.06
6	-	-

Clasificación de los bloques

El Cuadro 13 hace la relación entre las diferentes mezclas utilizadas y la clasificación que le correspondería a cada uno de los bloques, tomando como criterio la resistencia proyectadas a los 28 días y comparándola con lo que exige el Cuadro 4, Resistencia mínima sobre el área neta a los 28 días de la Norma INTE 06-03-01-07.

MEZCLA	Resistencia Promedio 28 días (Kg/cm²)	Clasificación del bloque	Peso (kg)
1	132.91	A	11.60
2	122.82	B	10.66
3	109.01	B	10.07
4	73.29	Ninguna	8.50
5	57.06	Ninguna	6.50
6	-		-

1Mpa= 10.2 kg/cm²

Nota: para las mezclas 6 y 7 no fue posible ni siquiera la manipulación de los bloques debido a su fragilidad.

Cuadro 14. Determinación de costos							
MEZCLA	REND. DEL SACO DE CEMENTO/ bloque	*Precio del saco	REND. DE LA CASCARILLA (kg/bloque)	**Precio de la cascarilla / kg	REND. DEL AGREGADO (m³/bloque)	***Precio del agregado/ m³	Costo por bloque
1	0.04	€6,100.00	0.00	€133.00	0.0116	€8,500.00	€342.62
2	0.04		0.21		0.0096		€353.53
3	0.04		0.36		0.0077		€357.33
4	0.04		0.54		0.0058		€365.12
5	0.04		0.71		0.0039		€371.58
6	0.04		0.89		0.0017		€376.82
7	0.04		1.25		0.0000		€410.25

Fuente: *Ferretería El Colono Turrialba, **Sr. Marciano Arroyo (Dueño de contrato con Industria Costa Rica), *** Tajo La Zoila Turrialba.

El Cuadro 14 muestra un análisis de costos de fabricación de cada uno de los bloques de acuerdo con las distintas mezclas utilizadas, además de la Figura 5 que refleja la misma información de forma más fácil de visualizar, se puede apreciar como resulta más barata la fabricación de un bloque que no incluya cascarilla a una que sí la utilice, el más costoso es la mezcla 7, o sea, el que posee 0% de agregado, esto para los precios vigentes en este momento, tendría que darse un aumento en el precio del agregado o una disminución en el de la cascarilla para que resultase beneficiosa la introducción de cascarilla de arroz desde este punto de vista.

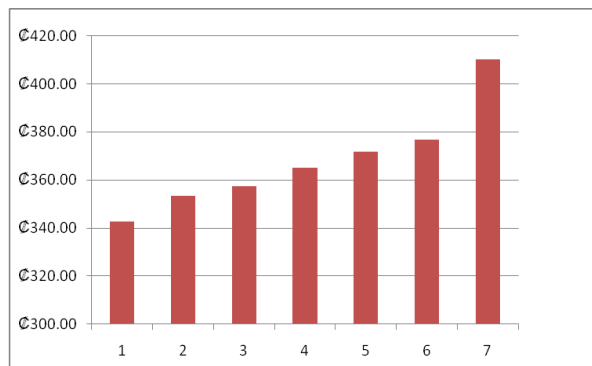


Figura 5: Mezclas vrs costos

Absorción de los bloques

En el Cuadro 15 se presentan los resultados de las pruebas de absorción realizadas a los bloques en el Laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para las distintas tríadas de bloques, correspondientes a las diferentes mezclas, para las tríadas 5, 6 y 7 no fue posible realizar las pruebas debido a la fragilidad de las muestras.

Cuadro 15. Resultados de absorción		
Mezcla	Absorción	
	Valor obtenido individual (%)	Valor promedio (%)
1	9.8	9.83
	9.7	
	10.0	
2	16.3	16.30
	16.4	
	16.2	
3	26.0	21.13
	18.7	
	18.7	
4	18.9	21.30
	18.8	
	26.2	
5	-	-
6	-	-

Análisis de los resultados

En cuanto a la oferta de cascarilla de arroz en el país se tiene que hay una producción considerable de 350 000 toneladas a anuales, lo cual representa aproximadamente 6 300 000 m³, además de la buena disposición por parte de CONARROZ, que considera el proyecto como una oportunidad de aprovechamiento para las distintas industrias procesadoras de arroz en Costa Rica. Sin embargo, se da el inconveniente de que todas las industrias, a excepción de una, tienen su cascarilla comprometida con personas independientes mediante contratos de entre 3 y 10 años.

Se considera la cascarilla como una fuente potencial de energía por su poder calorífico y características de material inflamable, además por la baja tasa de absorción, liviana, de buen drenaje, buena aireación, presenta alta impermeabilidad y es no comestible por su alto contenido de sílice.

<i>Material</i>	<i>Capacidad retención de agua (%)</i>	<i>Densidad (g/ml)</i>
Cascarilla de arroz	25.85	0.10
Arena	32.42	0.71
Fibra de coco	-	0.05

De acuerdo con los datos de las pruebas realizadas a los bloques el diseño de mezcla para fabricar Bloques clase A no fue posible porque no se cumplió con los requisitos de resistencia ni la absorción con ninguna de las mezclas que incluyera cascarilla de arroz, sin embargo, sí

resultó posible fabricar dos bloques clasificados como Tipo B, desde el punto de vista de resistencia, éstos se lograron con las mezclas 2 y 3, las cuales dieron resultados de 122.82 kg/cm² y 109.01 cm², respectivamente. Sin embargo, según el criterio de absorción ninguna de las mezclas que utilizó cascarilla de arroz como componente cumplió con lo que exige la norma. Por lo tanto, se determina que según las condiciones y metodología en las cuales se realizó este proyecto, no es posible la fabricación de bloques que cumplan con los requisitos necesarios para ser bloques Tipo A, B o C y la razón es no cumplir en cuanto a absorción.

En el Cuadro 17, se muestran los resultados en cuanto a resistencia a la compresión neta y en el Cuadro 18 se presentan los correspondientes a absorción.

<i>Mezcla</i>	<i>Resistencia proyectada a los 28 días (kg/cm²)</i>	<i>Clasificación según Norma INTE 06-03-01-07</i>
1	132.91	A
2	122.82	B
3	109.01	B
4	73.29	Ninguna
5	57.06	Ninguna
6	-	NA
7	-	NA

<i>Mezcla</i>	<i>Promedio absorción (%)</i>	<i>Clasificación según Norma INTE 06-03-01-07</i>
1	9.83	A
2	16.30	Ninguna
3	21.13	Ninguna
4	21.30	Ninguna
5	-	NA
6	-	NA
7	-	NA

introducción de la cascarilla representa un aumento en los costos debido a que comparada con el agregado convencional resulta más elevada, mas se debe tener presente que el estudio de costos toma como referencia el precio dado por el señor Marciano Arroyo, quien fue el proveedor en este caso de la cascarilla, también que la cantidad obtenida como muestra no fue muy pequeña.

En caso de introducir cantidades de cascarilla como las de las mezclas 5, 6 y 7 la fragilidad de los bloques es tal que no permite ni siquiera la manipulación, tal y como queda demostrado en la Figura 3.

A continuación se presenta en la Tabla 17 los valores de resistencia a los 28 días para cada mezcla así como su clasificación en bloque tipo A, B o C según lo establece la norma INTE 06 – 03 – 01 – 07 de resistencia mínima sobre área neta de los especímenes.

<i>Mezcla</i>	<i>Cumple resistencia</i>	<i>Cumple absorción</i>	<i>Peso (kg)</i>
1	Si (Tipo A)	Si (Tipo A)	11.66
2	Si (Tipo B)	No (Ninguna)	10.66
3	Si (Tipo B)	No (Ninguna)	10.07
4	No (Ninguna)	No (Ninguna)	8.50
5	No (Ninguna)	No (Ninguna)	5.5
6	-	-	-
7	-	-	-

Las propiedades físico - mecánicas de los bloques son de acuerdo con este estudio: una reducción en resistencia, un aumento en lo que respecta a la absorción producida por la alta porosidad que introduce la cascarilla de arroz, así como una disminución en peso, tal y como se puede apreciar en el Cuadro 19, en cuanto al costo se presenta algo interesante: la



Figura 3. Aspecto de un bloque fabricado utilizando la mezcla 6.

La Figura 4 es una muestra del aspecto de los bloques fabricados utilizando distintas mezclas, se puede apreciar que presentan el aspecto marcadamente distinto entre unas y otras, lógicamente producido por la mayor o menor utilización de cascarilla de arroz en cada una de ellas.



Figura 4. Aspecto de varias camadas de bloques con distintas mezclas

En cuanto al comportamiento de los bloques en el tema fueron predecibles los resultados, la tendencia fue la de un mayor porcentaje de absorción de agua conforme aumentó el contenido de cascarilla de arroz, utilizado en su fabricación, esto concuerda con el hecho de que las muestras presentaron un menor peso, producto de la alta densidad que introduce el uso de cascarilla de arroz en las mezclas.

Los resultados de laboratorio mostrados en el Cuadro 15 así lo demuestran, como se mencionó la razón es la alta densidad propia de la cascarilla de arroz, así como su capacidad para retener líquido, situación aprovechada en el campo de los cultivos hidropónicos.

En cuanto a lo solicitado por la Norma INTE 06-01-06-06, en Tabla 5, Requisitos de Absorción, se tiene que ninguno de los bloques fabricados que utilizaron cascarilla de arroz cumple con el máximo individual permitido (%), ver información comparativa en el Cuadro 19.

Conclusiones

- La cascarilla de arroz a nivel mundial está siendo ampliamente utilizada en diversos campos, no así en Costa Rica donde sólo es procesada por La Hacienda El Pelón de la Bajura en la producción de electricidad.
- La oferta de cascarilla de arroz en el país en cuanto a cantidad (350 000 toneladas anuales) permitiría eventualmente la fabricación de bloques.
- La obtención de cascarilla en el corto y mediano plazo (cuatro años) no sería con la Industria Arrocera sino con personas particulares dueñas de los contratos de utilización de cascarilla de arroz.
- Cada 0.0135 m³ de cascarilla de arroz que se utilice implica una disminución del 8% (1kg) aproximadamente en el peso del bloque.
- Es posible utilizando las mezclas 2 y 3 hacer bloques Tipo B, los cuales cumplan en cuanto a resistencia pero no en absorción.
- El uso de cascarilla de arroz implica un aumento en el costo del 3% por cada 0.0135 m³ de cascarilla que se utilicen.
- La cascarilla de arroz en estado puro, es decir, sin ningún tipo de procesamiento no aporta beneficios de resistencia ni absorción para los bloques.
- No es viable técnica ni económicamente el uso de cascarilla de arroz en estado puro en la fabricación de bloques de concreto que cumplan con los requisitos del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.

Recomendaciones

- Este estudio deja claro que la cascarilla de arroz es rica en sílice, por ello podría ser ampliamente aprovechable en distintos usos relacionados con el concreto, siempre y cuando se analice desde un punto de vista químico- físico que permita sustraer este componente.
- La cascarilla de arroz en estado puro podría resultar útil en la fabricación de elementos de cierre que no deban cumplir con requisitos estructurales como baldosas por ejemplo.
- Este trabajo debe ser considerado como un primer paso en la investigación del aprovechamiento de la cascarilla de arroz, pues muestra que ésta tiene potencial para ser utilizada, sin embargo, si se sigue en la línea de investigarla los siguientes esfuerzos deben ir dirigidos al estudio de procesamiento desde puntos de vista como la molienda para mejorar sus granulometría, así como procesos de eliminación de sustancias no beneficiosas como las de tipo orgánico, de esta manera al final será factible el desarrollo de un diseño de mezcla que tome en cuenta el potencial de la cascarilla.

- Apéndices

- Apéndice 1. Glosario
- Apéndice 2. Fotografías del proceso de investigación y fabricación de los bloques.

Anexos

- Anexo 1: Diagrama de flujo del proceso de industrialización del arroz.
- Anexo 2: Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas

Referencias

- Price A. 2007. Diciembre. 12. ARROZ PARA "NUTRIR" EL CEMENTO. **DIARIO EL PAIS**. Cali, Colombia. Página 1-1 p.
- Agüero M. 2008. Mayo. 9. Cascarilla de arroz producirá electricidad. **LA NACIÓN**. San José, Costa Rica. Nación.com/Economía.
- García, M. 2008. Abril. 05. La cascarilla de arroz, un excelente sustituto de la madera. **INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. MÉXICO**. 1 p.
- Rodríguez, R. Agosto. 2002. Tornan desecho de arroz en oportunidad comercial. **INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. MÉXICO**. 1 p.
- Calderón, F. 2002. Noviembre. 10. LA CASCARILLA DE ARROZ "CAOLINIZADA"; UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA RETENCIÓN DE HUMEDAD COMO SUSTRATO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS. **Dr. Calderón. LABS**. 1 p.
- Arguedas. L. y Salas. M. 1989. BLOQUES DE CONCRETO LIGERO USANDO COMO AGREGADO GRANZA DE ARROZ. **INSTITUTO NACIONAL DE VIVIENDA Y URBANISMO**. 34 p.
- Quesada, G y Méndez C. 2005. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE MATERIAS PRIMAS Y SUSTRATOS DE USO POTENCIAL EN ALMACIGOS DE HORTALIZAS. **UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**. 13 p.
- Díaz, R. 2009. SISTEMAS DE VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. San Rafael de **Alajuela Holcim**. Comunicación personal.
- Solano, J. 2009. INSTITUTO COSTARRICENSE DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. San José. ICCYC. **Comunicación personal**.
- Cruz, M. 2009. CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL. San José. CONARROZ. **Comunicación personal**.
- Juliano, B. 1994. EL ARROZ EN LA NUTRICIÓN HUMANA. Italia. Editorial FAO. 176 p.
- Antoninho, V. et al. 1991. SECADO DE GRANOS A ALTAS TEMPERATURAS. Chile. **Editorial FAO**. 77 p.
- Norma INTE 06-02-13-03. 2002. MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO. **INTECO**.
- Norma INTE 06-01-06-06. 2002. ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA HUECA DE CONCRETO PARA USO ESTRUCTURAL. **INTECO**.