

# Cementos puzolánicos, una alternativa para Venezuela

Idalberto Águila Arboláez

## Introducción

El desarrollo de nuevos materiales de construcción es un problema que cobra cada vez más fuerza en la mayoría de los países del mundo, convirtiéndose en algo vital, sobre todo para los países subdesarrollados. El efecto ecológico negativo que provoca la producción de materiales de construcción, para la cual se consumen cuantiosos y comúnmente irrecuperables recursos energéticos y de otros tipos, ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes, siendo los residuos industriales y agrícolas objetos de investigación creciente en muchos lugares. El auge en la demanda de edificaciones, propio del incremento de las inversiones y del crecimiento demográfico, unido a las deficiencias energéticas que se han venido produciendo al nivel mundial, han provocado un alza sostenida en los precios de los materiales de construcción tradicionales, siendo éste el otro motivo por el que muchos investigadores se han dado a la tarea de desarrollar lo que se llaman "materiales alternativos", como una solución a la pérdida de acceso, de las personas de bajos recursos, a los materiales de construcción tradicionales.

La ceniza de cascarilla de arroz, obtenida bajo determinadas condiciones, constituye un sustituto potencial del cemento Portland, cuyas posibilidades máximas aún están por demostrar y están siendo objeto de estudio en muchos países. Siendo Venezuela un productor de arroz importante y no teniendo mucho uso la cascarilla como desecho de la producción arroceras se vislumbra un área de desarrollo potencial que merece ser explotado.

En este trabajo los alcances se limitan a la obtención y evaluación de un material puzolánico con calidad suficiente para producir morteros de albañilería,

## Resumen

En el presente artículo se expone el resultado parcial de una investigación que se desarrolla en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, la cual incluyó parte de una tesis de maestría, cuyo objetivo principal es el desarrollo de una tecnología para producir un material puzolánico, a partir de la cascarilla de arroz, para utilizarlo como sustituto parcial del cemento Portland en las obras.

Se realiza una síntesis de la experiencia internacional en este tema, destacando los resultados más notables que han obtenido otros investigadores, lo cual sirve de antecedentes a esta investigación.

Seguidamente se describe el proceso que se siguió para obtener experimentalmente cierta cantidad de puzolana, con la cual se realizaron los ensayos correspondientes para la evaluación de su calidad y así establecer sus potencialidades de empleo. Se señalan las condiciones necesarias para una ceniza de buena calidad y los intentos realizados hasta obtener las características deseadas. Se concluye que el producto obtenido cumple con los estándares de calidad planteados al inicio de la investigación, siendo posible utilizarlo como sustituto parcial del cemento sin detrimento de su calidad e, incluso, con cierta mejoría en algunas de sus propiedades.

## Abstract

*In this article is exposed the partial result of an investigation which is developing at the Construction Experimental Development Institute that also includes part of a master thesis, whose main objective is the development of a technology to produce a pozzolanic material, starting from the rice husk ash, to use it as partial substitute of the portland cement in buildings.*

*It is carried out a synthesis of the international experience in this topic, the most remarkable results that other investigators have obtained highlighting, that which serves from antecedents to this investigation. Following is described the followed process to obtain certain quantity of pozzolan experimentally, with which was made the corresponding tests to evaluate its quality and this way to establish its employment potentialities. The necessary conditions are pointed out for a good quality ash and the intents carried out until obtaining the wanted characteristics.*

*You concludes that the obtained product fulfils the quality standards outlined at the beginning of the investigation, being possible to use it as a cement partial substitute, without detriment of its quality and even with certain improvement in some of its properties.*

## Descriptores:

Ceniza de cascarilla de arroz;  
Puzolanas; Residuos agrícolas;  
Cemento; Vivienda de bajo costo.

## Descriptores:

Rice husk ash; Pozzolans;  
Agricultural wastes;  
Cement; Low incoming housing.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 17-3, 2001, pp. 27-34.  
Recibido el 30/05/00 - Aceptado el 18/09/01

## artículos

combinado con cal y sin emplear cemento Portland alguno, y para sustituir parte del cemento empleado en la elaboración de elementos estructurales, con el fin de ser utilizado en los programas de construcción de viviendas, como un paso inicial en el empleo de un producto que en trabajos futuros puede tener aplicaciones mucho más ambiciosas.

La evaluación, en esta primera instancia, se limita a la realización de una serie de ensayos de laboratorio para la determinación de algunas de las propiedades más importantes del material, quedando para una etapa posterior de la investigación la producción de componentes y el desarrollo de algunas labores de albañilería, como demostración final de la aplicabilidad del material.

### Desarrollo

Todo el contenido y la información que refleja este artículo proviene de la tesis de maestría "Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz", realizada por este autor (Águila, 1999).

#### 1. Antecedentes y fundamentación de la investigación

La utilización de las puzolanas, como material de construcción, tiene su antecedente más lejano en el Imperio Romano de hace 2000 años, donde se emplearon productos piroclásticos de la actividad volcánica del Vesubio, que se encuentran en Pozzuoli (antigua Putuoli), para construir grandes obras públicas, como el Panteón Romano, el Coliseo y los Sistemas de Acueductos, entre otras. Este producto finamente pulverizado y combinado con cal, generaba un material con gran poder cementante. De ahí que se dé el nombre de puzolanas a aquellos materiales que tienen esa propiedad, y al cemento obtenido se le llama, entonces, puzolánico, conociéndosele también como cemento romano.

El desarrollo de la industria de la construcción en este siglo ha estado ligado al cemento Portland, que ha reinado en el campo de los aglomerantes; sin embargo, su alto costo de producción y la gran cantidad de energía que demanda, han provocado que a partir de los años setenta se haya comenzado a buscar otras alternativas, siendo las puzolanas uno de los materiales más investigados con este fin, estudiándose, no sólo las de origen natural, sino, sobre todo, las obtenidas artificialmente.

Se han realizado numerosos trabajos en muchos países desarrollados como: Estados Unidos, Japón y la mayoría de los países de Europa Occidental, y en otros del Tercer Mundo como la India, Tailandia, China, Turquía, Malasia y Pakistán en Asia; Kenia, Ruanda y Nigeria

en África; y en Latinoamérica hay algunas experiencias en México, Colombia, Cuba, Brasil, Perú y Guatemala. La mayor parte de los trabajos se han basado en puzolanas artificiales, obtenidas de residuos industriales y, en menor medida, han sido estudiados algunos residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz, y el bagazo y la hoja de la caña.

En general se ha estudiado mucho el efecto que provoca la adición de puzolanas, sobre las propiedades del concreto, principalmente sobre la resistencia a la compresión, lo cual, de una u otra forma se aprecia en casi todos los trabajos realizados, los cuales arrojan mejoras en algunas de las propiedades principales del concreto.

Se puede observar, en los estudios realizados con la ceniza de cascarilla de arroz, que la misma posee una adecuada actividad puzolánica, y un efecto positivo en las propiedades del concreto (Suguita, 1992), (Mehta, 1989), (Huang y Wu, 1989), (Fariás y Recena, 1990), (Smith y Kamwanja, 1986; Smith, 1989), entre otros. Se han realizado valoraciones del aporte económico que genera, la sustitución de parte del cemento Portland por ceniza de cascarilla de arroz (Kenya, 1993), (Sulaiman, Mansoor y Kan, 1983), (Dalimier, 1986), (Hammond, 1983).

El proceso de obtención de la ceniza ha sido también muy estudiado, tanto en la etapa de calcinación como en la de molienda (Kenya, 1993), (Ruanda, 1993), (Cincotto, Agopyan y John, 1990), (Dalimier, 1986), (Salas, Castillo y Sánchez de Rojas, 1986), siendo los resultados logrados no muy uniformes entre sí, pero hay coincidencia en dos cuestiones; primero, que ambos procesos son decisivos en la posterior actividad puzolánica de la ceniza, y segundo, que se pueden lograr, de manera rudimentaria, y sin alto costo ni demanda de energía, a una pequeña escala de producción.

Otras experiencias más específicas, reflejan características y potencialidades de este material como los trabajos de Mazlum y Uyan (1992), que profundizan en el método de curado a emplear (Visvesvaraya, 1986), hacen un análisis extenso de las características y potencialidades de uso del material (Hwang y Wu, 1989), estudian la microestructura del cemento elaborado con ceniza de cascarilla de arroz y las reacciones químicas que se originan durante la hidratación.

Trabajos relativamente recientes, como los presentados en la Cuarta Conferencia Internacional de Estambul, Turquía, en mayo de 1992, sobre el tema de las puzolanas, muestran nuevas potencialidades del empleo de éstas, como aditivos, muy finamente molidas, en la obtención de cementos de muy alta resistencia a la compresión, cercanos y en algunos casos superiores a los 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

Las puzolanas tienen un proceso de obtención mucho menos complejo y costoso, y no requiere

una demanda de energía tan alta como la del cemento Portland y la de la cal. Esto posibilita acercar el proceso de obtención a las comunidades, que con una inversión modesta pueden construir una pequeña planta para fabricar su propio cemento.

La demanda de energía de la producción de la ceniza es sólo el 3,2% de la del cemento Portland. La combinación de ceniza con cal consume alrededor del 20% de la energía que necesita el cemento Portland (Hammond, 1983).

Dalimier (1986) muestra la experiencia de la creación de la empresa Calmentiza Ltda, en Colombia, que fabrica bloques de ceniza de cascarilla de arroz. La planta tuvo un costo inicial de 1 030 507 pesos colombianos (10 305 USD), en 1984 y una capacidad de producción de 1.500 bloques diarios. El costo de materiales de la producción se redujo en 18% respecto a los bloques tradicionales, con lo cual se sufragó la inversión inicial en sólo 75 días de labor. Sulaiman, Mansoor y Kan (1983) realizaron un prototipo de vivienda de bajo costo, con grandes sustituciones de cemento Portland por ceniza de cascarilla de arroz, logrando reducir el costo de la vivienda en 37%.

En Venezuela sólo se reflejan, como antecedentes, dos trabajos especiales de grado, desarrollados en 1994 en la Universidad Metropolitana (Gergoff y Yecutieli y Iannucci; Oquendo); el primero evalúa la capacidad puzolánica de la ceniza de cascarilla de arroz, y el efecto de la calcinación y la finura en la misma; el segundo utiliza la ceniza en sustitución parcial del cemento, para la producción de bloques de concreto. Los resultados obtenidos no fueron los ideales, por falta de tiempo y de recursos, pero mostraron que éste es un camino con potencialidades en el país.

Probablemente, la existencia de abundantes recursos energéticos en el país, unido a una conciencia ecológica aún no muy arraigada, han motivado que Venezuela se encuentre rezagada con respecto a otros países, incluso de nuestra región, en el estudio de estos materiales; sin embargo, en los últimos años esta situación ha ido cambiando y en estos momentos este tema constituye una línea de investigación prioritaria dentro del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.

En esta investigación se propone utilizar como materia prima para obtener la puzolana, a la cascarilla de arroz, la cual, además, puede asumir la función de combustible para su procesamiento. La cascarilla de arroz no constituye un recurso no renovable, sino más bien, un residuo de la producción agrícola que frecuentemente se torna indeseable y se deposita en lugares donde afecta el medio ambiente. Esto hace que el cemento en estudio se considere un material ecológico y apropiado para el contexto nacional. El arroz es un producto que abunda en

Venezuela, existiendo plantaciones de magnitudes apreciables en nueve estados diferentes del país (Iannucci y Oquendo, 1994). Según datos de la Dirección de Estadísticas e Informática del Ministerio de Agricultura y Cría, a partir de 1991 y hasta la fecha, la superficie cultivada de arroz, cada año, en el país, ha estado por encima de 150 000 ha, ocupando el cuarto lugar entre los productos agrícolas nacionales, y el volumen de producción ha sido superior a 600.000 toneladas. El 4% del peso total del grano de arroz puede convertirse en ceniza (Kenya, 1993), con lo cual, potencialmente, se podrían obtener anualmente, en el país, 50.000 toneladas de cemento puzolánico. Si se sustituye esa cantidad de cemento Portland, con un ahorro del 18% del costo (Dalimier, 1986), con los precios de 1999, se ahorrarían, en el país, más de dos mil millones de bolívares anuales.

## 2. Obtención del material

Para transformar la cascarilla en puzolana se realizaron dos procesos principales; la combustión de la cascarilla hasta convertirla en ceniza, con la menor cantidad de materia orgánica posible; y la molienda de la ceniza, hasta una finura predeterminada.

### 2.1. Combustión de la cascarilla

Como premisas del proceso se definieron los siguientes requerimientos:

- Mantener la temperatura entre 500 y 700°C, para que ocurra la combustión de toda la materia orgánica, desprendiendo la mayor cantidad de carbón posible, pero que a su vez la sílice, presente en la cascarilla, no cristalice, manteniendo su estado amorfo y con él su capacidad de reacción con la cal.
- La ceniza debe quedar lo más blanca posible, como índice del bajo contenido de carbón. Para esto debe garantizarse la oxigenación suficiente de la cascarilla durante la combustión y el enfriamiento.
- La cascarilla debe reducirse a cenizas a partir de su propia combustión, la cual debe provocarse con la mínima cantidad de combustible, en este caso leña.
- El proceso debe ser poco laborioso, para que requiera de una mínima utilización de fuerza de trabajo.

## artículos

Para lograr un proceso que garantizara, a la vez, estas cuatro condiciones, se diseñó y construyó un horno con materiales tradicionales y abundantes en el país como bloques de arcilla, lámina metálica, cabillas de acero, cemento y agregados (foto 1).

Empleando el método de ensayo y error se definieron las condiciones en que debía desarrollarse el proceso de combustión, para lo cual fue necesario realizar numerosas pruebas de quema, que arrojaron finalmente una ceniza de adecuada calidad (foto 2).

### 2.2. Molienda de la ceniza

La finura de la ceniza es un elemento esencial en su calidad, pues al incrementar la finura aumenta la capacidad de reacción de la sílice con la cal y, por consiguiente, es mayor el aporte en resistencia a compresión para el aglomerante a obtener. Un valor de finura adecuado y aceptado por la práctica internacional es el correspondiente al cemento Portland, por lo que para esta investigación se procuró moler el material hasta que pasara por el tamiz n° 200 más del 95% del total. Utilizando un molino experimental (foto 3) se determinó que el tiempo de molienda necesario para lograr esta condición es de una hora.

### 3. Evaluación experimental del material

Para evaluar la calidad y las posibilidades de empleo del material se contrataron los servicios de los laboratorios del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV, donde se estudió el material y se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de resistencia a compresión de probetas cúbicas de mortero a base de ceniza, combinada, en diferentes proporciones, con cemento Portland y con cal.
- Ensayo de envejecimiento acelerado (ciclo calor-humedad), para las combinaciones seleccionadas según resistencia a compresión.

- Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto con las combinaciones de cemento seleccionadas según resistencia a compresión.

#### 3.1. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cúbicas de mortero

Para cada combinación se elaboraron tres muestras, de tres probetas cada una, para ensayar a los 7, 28 y 56 días, según lo establecido en la Norma Venezolana Covenin 484-93 "Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en probetas de 50,8 mm de lado" (cuadro 1).



Foto 1:  
Horno experimental



Foto 2:  
Ceniza al salir del horno



Foto 3:  
Molino experimental

**Cuadro 1**

Resultados del ensayo de resistencia a compresión

Muestra N°	Combinación CPO:CCA CCA:CaI	Relac. A/C	Rc 7 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	% resp. al patrón	Rc 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	% resp. al patrón	Rc 56 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	% resp. al patrón
1	100 : -	0.55	173,32	100,00	255,84	100,00	296,40	100,00
2	90 : 10	0.55	176,42	101,79	262,04	102,42	292,78	98,78
3	85 : 15	0.55	193,59	111,70	298,20	116,56	309,83	104,53
4	80 : 20	0.55	199,79	115,27	310,99	121,56	325,58	109,84
5	75 : 25	0.60	177,06	102,16	291,36	113,88	283,61	95,68
6	70 : 30	0.65	164,66	95,00	249,39	97,48	263,85	89,02
7	80 : 20	0.95	51,66	29,81	60,96	23,83	67,93	22,92
8	70 : 30	0.95	48,56	28,02	57,86	22,62	62,51	21,09
9	60 : 40	0.90	49,33	28,46	62,12	24,28	62,90	21,22
10	50 : 50	0.90	41,33	23,85	56,82	22,21	58,76	19,82

**Gráfico 1:**  
Variación de la resistencia a compresión con la adición de puzolanas

### Análisis de los resultados

Los resultados, para su análisis, se pueden dividir en dos partes: las combinaciones de ceniza con cemento y las combinaciones de ceniza con cal. Las combinaciones de ceniza con cemento muestran cómo la adición de ceniza provoca un incremento de la resistencia a la compresión, que se explica, por la capacidad de la puzolana (SiO<sub>2</sub>), de fijar el hidróxido de calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>], generado durante las reacciones de hidratación del cemento, y que al quedar libre se puede lixiviar, provocando el debilitamiento del concreto. Se puede notar cómo la sustitución del 20% de cemento por ceniza provoca los mayores incrementos de resistencia, y que se puede sustituir hasta 30% sin que se afecte prácticamente la resistencia a los 28 días, aun teniendo que emplearse para este caso una relación A/C bastante mayor (gráfico 1). Esto ofrece la posibilidad de emplear el material en la elaboración de elementos estructurales con un ahorro apreciable de cemento.

Las combinaciones de ceniza con cal presentaron a los 28 días valores de resistencia a compresión cercanos a 60 Kg/cm<sup>2</sup> y bastante parejos para propor-

ciones de ceniza entre 60 y 80%, lo cual supera el valor aceptado por la práctica internacional que establece que la resistencia a la compresión a los 28 días debe ser mayor que 40 Kg/cm<sup>2</sup> (gráfico). Se puede apreciar cómo, a edades más avanzadas, los incrementos adicionales de resistencia son inferiores para las muestras con mayores adiciones de puzolana.

### 3.2. Ensayo de envejecimiento acelerado de probetas cúbicas de mortero

Se utilizó la Norma Venezolana Covenin 271-78 "Método de ensayo para determinar la disgregabilidad de agregados por medio del sulfato de sodio o sulfato de magnesio" que esencialmente consiste en someter la muestra a cinco ciclos de cambios de calor-humedad, para lo cual se coloca alternadamente en la estufa y en una solución de agua saturada de sulfato de magnesio. Finalmente, mediante pesadas, se determina la pérdida de material sufrida durante el proceso como índice de la estabilidad química y de la durabilidad.

## artículos

Según la norma, se deben utilizar alrededor de 1.500 g de material para el ensayo, por lo que se elaboraron seis probetas para cada combinación.

**Cuadro 2**  
Resultados del ensayo de envejecimiento acelerado

Muestras	Peso (g)		Pérdida de peso (g)	% de pérdida
	Inicial	Final		
100% CPO	1.544,84	1.471,14	73,70	4,77
70% CPO-30% CCA	1.583,56	1.569,86	13,70	0,86

### Análisis de los resultados

La evaluación de los resultados del ensayo se realizó a partir de la pérdida de peso que experimentaron las muestras y del estado de deterioro que se aprecia en su superficie. Luego de la conclusión del ensayo, en ambos sentidos, el comportamiento de las muestras que contenían adiciones de ceniza fue mejor que las que contenían cemento puro. En cuanto a la pérdida de peso, en el cuadro 2 se puede apreciar cómo la muestra de mortero con 100% de cemento perdió 73,70 g, lo que corresponde al 4,77% del peso inicial, mientras que la muestra de mortero con adición de ceniza perdió 13,70 g, que constituyen apenas el 0,86% del valor inicial. En el sentido del deterioro superficial se pudo apreciar por medio de inspección visual, cierto agrietamiento en todas las probetas, pero éste fue ligeramente menor para las que tenían adición de cenizas. De estos resultados se puede concluir que la adición de ceniza al cemento influye positivamente en la estabilidad química y en la durabilidad del concreto, lo cual es particularmente ventajoso en obras que estén expuestas a ambientes agresivos.

### 3.3. Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

Se elaboraron y ensayaron cilindros de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, según la Norma Venezolana Covenin 338-79 "Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto", con la combinación de cemento y ceniza recomendada y con una muestra patrón. Se escogió, para hacer el ensayo, la combinación de 70% de cemento y 30% de ceniza, por ser éste el máximo valor de sustitución de cemento sin afectar la resistencia a compresión.

**Cuadro 3**  
Resultados del ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

Combinación	Rc 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto al patrón
100% CPO	156,18	100,00
70% CPO - 30% CCA	237,68	152,18

### Análisis de los resultados

El concreto con 30% de ceniza supera en 52% la resistencia del patrón (cuadro 3); sin embargo, hay que señalar que la relación agua/cemento empleada es la requerida por la muestra con adición de ceniza, pudiendo ser menor para la muestra patrón, con lo cual su resistencia hubiese sido superior. No obstante el valor alcanzado por la muestra con adición de ceniza supera en 18,8% la resistencia teórica esperada para esa dosificación con una relación agua/cemento de 0,50, era de 200 Kg/cm<sup>2</sup> y además se puede calificar este valor de muy bueno si se analiza que con sólo 238 Kg de cemento Portland por m<sup>3</sup> de concreto se llegó hasta 237,68 Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia.

### Conclusiones

La búsqueda de una alternativa al costo del cemento Portland fue el motivo fundamental del desarrollo de este trabajo, y el objeto, la cascarilla de arroz. Las investigaciones previas y los ensayos realizados demuestran la factibilidad técnica del empleo de este residuo agrícola, como material de construcción, en las condiciones de Venezuela.

En forma relativamente sencilla se obtuvo, a manera de experimentación, cierta cantidad de ceniza de cascarilla de arroz, para lo cual se prefijaron las condiciones que, en el estudio previo, se pudo detectar se necesitaban para una buena calidad de la ceniza, lográndose verificar, por medio de ensayos de laboratorio, que la misma puede usarse, tanto combinada con cal, para producir morteros de baja resistencia, adecuados para trabajos de albañilería, como sustituyendo parte del cemento Portland en la elaboración de concretos ordinarios.

La atención principal se centró en las combinaciones de ceniza con cemento Portland, obteniéndose sustituciones de hasta 30% de cemento por ceniza sin que se produjeran afectaciones en su resistencia a compresión. Se pudo verificar que el porcentaje óptimo de sustitución es de 20%, para lo cual se experimentó un incremento de alrededor de 20% de la resistencia a compresión del cemento; además, se pudo apreciar una mejoría en la estabilidad química y la durabilidad del cemento cuando se le añade ceniza, lo cual aumenta la factibilidad del empleo de ésta, en elementos que estarán sometidos a ambientes agresivos. Como aspecto negativo se apreció que la adición de ceniza al cemento provoca una demanda mayor de agua para el amasado de la mezcla, lo cual tiende a disminuir su resistencia mecánica, pero aun así se lograron los incrementos antes mencionados.

A partir de los resultados obtenidos, la investigación continúa dirigida a estudiar los procesos de producción a pequeña escala del material y los correspondientes análisis de costos, lo cual será objetivo de nuevas publicaciones.

## Bibliografía

- ÁGUILA, I. 1999. "Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz". Caracas. Universidad Central de Venezuela. Trabajo de Grado, Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción.
- CINCOTTO, M.A.; V. Agopyan y V.M. John. 1990. "Optimization of Rice Husk Ash Production". Salvador de Bahia. Vegetable Plants and Their Fibres as Building Materials, *Proceedings of the Second International Symposium*, RILEM, CIB, UFBA, pp. 334-342.
- DALIMIER, Th. 1986. "Producción de un cemento puzolánico en Colombia". Materiales, técnicas y economía de la construcción en los países en desarrollo, *Actas del Coloquio Internacional*, pp. 37-43. Paris.
- GERGOFF, J. y S. Yecutieli. 1994. "Ceniza de la cascarilla de arroz como adicción al concreto en Venezuela". Caracas, Universidad Metropolitana. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil.
- HAMMOND, A. 1983. "Pozzolana Cements for Low Cost Housing". Nairobi. Appropriate Building Materials for Low Cost Housing, *Proceedings of a Symposium*, CIB, RILEM, pp. 73-83.
- HUANG, C.L. y D.S. Wu. 1989. "Properties of Cement Paste Containing Rice Husk Ash". *Third International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, pp. 733-762. Trondheim.
- IANNUCCI, E. y R. Oquendo. 1994. "Utilización de residuos agrícolas en la producción de materiales de construcción para la vivienda de bajo costo. Estudio del caso: La cascarilla de arroz". Caracas, Universidad Metropolitana. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil. 150 p.
- MAZLUM, F. y M. Uyan. 1992. "Strength of Mortar Made with Cement Containing Rice Husk Ash and Cured in Sodium Sulphate Solution". Instambul. *Fourth International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, pp. 513-531.
- MEHTA, P.K. 1989. "Pozzolan and Cementitious By-Products in Concrete - Another look". *Third International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, pp. 1-43. Trondheim.

## artículos

SALAS, J.; P. Castillo; M.I. Sánchez de Rojas y J. Veras. 1986. "Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros". Madrid. *Materiales de Construcción*, vol. 36, nº 203, pp. 21-39.

SALAS, J.; P. Castillo; M.I. Sánchez de Rojas y J. Veras. 1986. "Estudio piloto para la obtención industrial de la ceniza de cáscara de arroz". París. *Actas del Coloquio Internacional. Materiales, Técnicas y Economía de la Construcción en los Países en Desarrollo*, pp. 66-71.

SMITH, R.G. 1989. "Cemento hecho a base de ceniza de cáscara de arroz". Méjico. *Tercer Simposio*, CIB, RILEM, pp. 228-240.

SMITH, R.G. y G.A. Kamwanja. 1986. "The Use of Rice Husks for Making a Cementitious Material". Use of Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, *Joint Symposium*, RILEM. Bagdad, pp. E85-E94.

SOSA, M. 1994. "Utilización de materias primas vegetales para la producción de materiales de construcción. Análisis crítico". Caracas, UCV. Trabajo de ascenso, 42 p.

SUGUITA, S.; M. Shoya y H. Tokuda. 1992. "Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash". *Fourth International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*. Instambul, pp. 495-512.

SULAIMAN, M.; N. Mansoor y K. Kan. 1983. "Experimental and demonstration low cost house built at building station. Appropriate Building Materials for Low Cost Housing", *Proceedings of a Symposium*, CIB, RILEM. Nairobi, pp. 107-116.

UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS (HABITAT). 1993. *Kenya: Development of Pozzolanic Cement Using Rice Husk Ash. Endogenous Capacity-Building for the Production of Binding Materials in the Construction Industry. Selected Case Studies*. Nairobi, pp. 66-81.

UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS (HABITAT). 1993. *Rwanda: Development of Pozzolanic Cement. Endogenous Capacity-Building for the Production of Binding Materials in the Construction Industry. Selected case studies*. Nairobi, pp. 47-65.

VISVESVARAYA, H.C. 1986. "Recycling of Agricultural Wastes with Special Emphasis on Rice Husk Ash. Use of Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials", *Joint Symposium*, RILEM. Bagdad, pp. E1-E22.