

## Evaluación de la hoja del maíz como posible fuente de material puzolánico

Idalberto Águila Arboláez / Milena Sosa Griffin  
IDEC / FAU / UCV

### Resumen

Se realiza en este artículo una caracterización de la ceniza de hoja de maíz con miras a su utilización, como material puzolánico, en sustitución parcial del cemento Pórtland a emplear en las obras, para la elaboración de morteros y concretos. Se evalúan las características físicas y químicas del material, así como algunas de sus propiedades principales, desde el punto de vista constructivo, entre las que destacan la resistencia a compresión y la durabilidad, concluyéndose que el material en estudio posee potencialidades de ser empleado con estos fines.

### Abstract

*This article describes the ashes present in corn leaves with the view to its usage as puzolanic material to replace partially Portland cement in the production of concrete and mortars. The physical and chemical characteristics of this material are evaluated, and also some of its main attributes from the construction point of view, among which we have its resistance to compression and durability. The conclusion is that this material has the potential to be used for this purpose.*

El uso de materiales con propiedades puzolánicas data, por lo menos, de hace 2.000 años, cuando los romanos utilizaron cenizas volcánicas en la construcción de muchas de sus principales obras, como el Panteón, el Coliseo, numerosos acueductos, etc. Sin embargo, es sólo desde hace algunas décadas y luego de muchos siglos de olvido, cuando se ha generalizado el empleo de esta característica de algunos materiales para su uso práctico en la construcción.

Reconociendo como Puzolana cualquier material silíceo o aluminio-silíceo que es capaz de reaccionar con cal en presencia de agua para generar un producto con características cementantes, se puede encontrar en la naturaleza una importante gama de materiales rocosos que pueden ser calificados como puzolanas. Así se pueden contar algunas rocas de origen volcánico, como la piedra pómez, las tobas y las cenizas volcánicas, entre otras. También algunas rocas de origen sedimentario como la calcedonia, el ópalo y algunas arcillas.

Inicialmente fueron utilizadas puzolanas de origen natural en la producción industrial de cementos Portland puzolánicos, pero más recientemente se han hecho numerosas investigaciones tendientes a utilizar algunos materiales artificiales, comúnmente desechos de producciones industriales y agrícolas, para la obtención de materiales puzolánicos con posibilidades de utilización en la construcción.

Entre los residuos industriales más empleados con este fin están las cenizas volantes de la siderúrgica, los escorias de alto horno y la micro sílice, en tanto que las cenizas de desechos agrícolas como la cascarilla de arroz y la hoja y el bagazo de caña destacan como fuentes comprobadas de material puzolánico.

### Descriptores:

Material puzolánico; Morteros y concretos;  
Uso de fibras vegetales como material de construcción

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 21-3, 2005, pp. 09-18.  
Recibido el 10/05/06 - Aceptado el 28/06/06

En trabajos anteriores (Águila, 2001) se investigó la factibilidad técnica del uso de la cascarilla de arroz para producir material puzolánico con resultados muy positivos. En este caso se trata de determinar las potencialidades de la hoja del maíz con este mismo fin, aunque se reconoce de partida que la cantidad de sílice en la ceniza de esta última es muy inferior a la anterior.

La hoja del maíz, si bien no ha sido investigada hasta la fecha, sí se conoce que tiene un porcentaje alto de sílice en su ceniza (cuadro 1), lo cual la hace un potencial candidato a ser investigado.

Aunque estos valores no se pueden generalizar, pues corresponden a una investigación con materiales específicos de un lugar y que pueden variar para otras zonas, sí reflejan que la ceniza de hoja de maíz posee un contenido de sílice superior a 60%. Y es precisamente

esta razón lo que motiva a acometer un trabajo como éste, con el cual se pretende demostrar que la producción de cemento puzolánico es una alternativa real de utilización de un desecho de la producción del maíz, como es su hoja.

Si bien la hoja del maíz no siempre se desecha, porque es común que se utilice en otras funciones como la alimentación animal, no es menos cierto que importantes cantidades de hoja se pierden cada año en los campos y que un programa bien dirigido en este sentido puede permitir recuperar parte de este material y utilizarlo en la producción de un generoso sustituto de cemento, con su consiguiente aporte económico y ecológico.

### Disponibilidad de materia prima en Venezuela

El cuadro 2 muestra el volumen de producción de los principales renglones agrícolas de Venezuela entre los años 1998 y 2001. En él se aprecia que el maíz ocupa uno de los primeros lugares durante esos años y que su tendencia es al aumento. Esto refleja las posibilidades como fuentes importante de materia prima.

De igual manera el cuadro 3 muestra que existe una importante producción de maíz en casi todos los estados del país, siendo los principales Portuguesa y Guárico.

### Procesamiento del material

El proceso de producción del material consta de dos actividades principales: la combustión de la hoja de maíz hasta hacerla ceniza y la molienda de dicha ceniza.

La combustión de la hoja de maíz se hizo por tandas, en un ambiente semicerrado en la planta experimental de El Laurel, a partir de la propia quema de la hoja en estado seco y duró aproximadamente 40 minutos por tanda.



Foto 1  
Hoja de maíz

Cuadro 1  
Contenido de ceniza y sílice en residuos agrícolas

Residuos agrícolas	Contenido de ceniza (%)	Contenido de Sílice en ceniza (%)
Cascarilla de arroz	18-25	85-95
Vaina del trigo	8-11	88-91
Paja de arroz	13-15	80-84
Bagazo	13-15	70-75
<b>Hoja del maíz</b>	<b>10-13</b>	<b>62-65</b>
Nodo del bambú	1-2	56-58
Tallo y hoja del girasol	10-12	24-26

Fuente: VISVESVARAYA, H.C. Recycling of agricultural wastes with special emphasis on Rice Husk Ash. En Use of vegetable plants and their fibers as building materials, Joint Symposium. (p.E5)

La molienda de la ceniza se realizó con un Molino de bolas en los laboratorios de la Escuela de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UCV. La capacidad del molino es de 5 kg, gira a una velocidad de 60 r.p.m. y se empleó una proporción de material a carga moledora de 1 a 6. El tiempo de molienda fue de una hora, establecido a partir de una investigación previa realizada por el autor para determinar el tiempo necesario de molienda para obtener una finura similar a la del cemento Portland en el caso de la ceniza de cascarilla de arroz (Águila, 2001).

## Caracterización de los materiales

### *Materiales utilizados*

En la elaboración de las probetas se utilizó: cemento, arena, agua y ceniza de hoja de maíz, con las siguientes características.

#### *Arena*

Se utiliza arena estándar de Ottawa. Dado que esta arena es en 99,5 % cuarzo, es homogénea con relación a la arena comercial y así se limitan factores externos que pudieran influir al reaccionar con el material cementante. Los resultados de la caracterización del agregado se indican en el cuadro 4 y cumplen con la norma ASTM.

Cuadro 2  
Producción nacional de los principales renglones agrícolas de Venezuela

Productos	Producción (ton)			
	1998	1999	2000	2001
Arroz	701.168	720.193	676.775	787.119
<b>Maíz</b>	<b>983.121</b>	<b>1.149.452</b>	<b>1.689.551</b>	<b>1.801.061</b>
Sorgo	448.871	363.874	581.526	554.064
Caraota	17.454	13.891	14.758	12.788
Frijol	13.687	13.338	10.663	9.280
Ajonjolí	27.306	31.262	32.605	26.910
Algodón de rama	43.066	37.545	16.823	14.082
Coco	133.075	128.420	111.076	105.801
Palma Aceitera	338.714	336.260	372.658	348.295
Apio	24.692	27.612	24.418	28.737
Batata	13.345	13.928	10.264	12.081
Ñame	63.857	69.623	87.567	87.523
Ocumo	60.466	63.179	62.994	64.443
Papa	371.312	384.050	341.662	329.214
Yuca	519.044	593.996	570.564	605.537
Aguacate	41.661	41.467	52.294	44.465
Cambur	812.921	788.332	763.635	735.079
Lechosa	97.455	98.948	114.234	130.204
Mango	136.257	132.460	130.262	74.982
Melón	132.678	125.672	113.011	130.765
Naranja	475.023	462.579	496.768	456.495
Patilla	310.862	248.508	149.296	167.921
Plátano	615.095	605.225	847.579	766.704
Piña	251.184	298.766	351.078	300.090
Uva	10.528	11.705	12.960	11.328
Ajo	11.397	10.365	11.316	11.216
Cebolla	222.367	199.816	175.228	235.999
Lechuga	19.996	23.742	27.730	29.921
Pepino	16.299	17.347	18.048	13.855
Pimentón	86.577	87.222	77.724	62.232
Remolacha	15.509	15.903	16.556	16.646
Repollo	60.777	61.291	54.835	53.896
Tomate	213.539	220.805	213.064	181.697
Zanahoria	237.628	213.222	184.424	177.642
Café	66.840	79.854	78.440	91.877
Cacao	17.965	13.918	16.126	15.834
Caña de Azúcar	8.111.023	8.501.109	8.831.523	8.862.621

Fuente: Dirección de Estadísticas. MPC.

Cuadro 3

## Superficie y producción de maíz por entidad federal en el año 2001

Entidad Federal	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)
Anzoátegui	12.355	30.825
Apure	21.618	64.847
Aragua	15.047	42.975
Barinas	58.028	236.241
Bolívar	16.940	50.830
Carabobo	1.115	4.005
Cojedes	20.635	76.376
Delta Amacuro	56	133
Falcón	975	1.182
Guárico	141.957	399.175
Lara	3.531	8.751
Mérida	660	1.190
Miranda	1.125	1.346
Monagas	10.828	30.318
Nueva Esparta	35	49
Portuguesa	183.656	758.159
Sucre	2.061	3.718
Táchira	698	1.117
Trujillo	4.797	8.659
Yaracuy	25.270	79.937
Zulia	865	1.228
Total	522.252	1.801.061

Fuente: Dirección de Estadísticas, MPC.

Cuadro 4

## Caracterización de la arena utilizada

Cedazo		Límite superior retenido	Límite inferior retenido	Retenido (%)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido acumulado
#	mm					
16	1,18	0	0	0	0	0
30	0,60	4	0	1.10	5.52	1.1
50	0,30	77	67	98.88	494.4	99,98
100	0,15	100	4	0.02	0.08	100.00

Cuadro 5

## Caracterización físico-química del cemento y la ceniza de hoja de maíz

Propiedades físico-químicas	Cemento	Ceniza de hoja de maíz
<b>Propiedades físicas</b>		
Gravedad Específica	3,03	1,91
Superficie Específica (m <sup>2</sup> /Kg)	3,604	6,328
Finura (% Pasa 325)	82,19	87,29
<b>Análisis químico (%)</b>		
SiO <sub>2</sub>	22,44	47,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,43	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,21	1,58
CaO	63,41	5,16
MgO	0,58	4,12
SO <sub>3</sub>	2,55	0,90
K <sub>2</sub> O	0,31	9,51
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,33
Humedad		4,53
Pérdida al fuego	1,75	17,67
TiO <sub>2</sub>	0,10	Trazas
ZnO	Trazas	0,06
MnO	Trazas	0,28

### *Cemento*

Cemento Portland tipo I según norma COVENIN 28 (ASTM C 150). El resumen de su caracterización físico-química se encuentra en el cuadro 5.

### *Ceniza de hoja de maíz*

Se utilizaron hojas de maíz provenientes de plantaciones ubicadas en los Valles de Tuy, en el estado Miranda. Los resultados de su caracterización se resumen en el cuadro 5.

### *Ensayos de caracterización*

#### *a) Análisis químico*

Se utiliza un equipo de absorción Atómica Perkin Elmer 2380 para determinar el contenido de cada elemento en una muestra de material. Los análisis químicos de la ceniza y el cemento utilizados para los morteros se resumen en el cuadro 5.

#### *b) Densidad*

Se sigue el método ASTM C188. Se utiliza un recipiente estándar de Le Chatelier. Los resultados se resumen en el cuadro 5.

#### *c) Superficie específica*

Se determina la finura de los materiales cementantes (cemento y ceniza) utilizando un Permeabilímetro Blaine (ASTM C204), en términos de su superficie específica, expresada como unidad de superficie por unidad de masa. Los resultados se resumen en el cuadro 5.

#### *d) Distribución de tamaño de partículas*

La distribución del tamaño de partículas del agregado se determina por tamizado (ASTM C136).

Del análisis físico se desprenden varios comentarios: en primer lugar, que la ceniza de hoja de maíz pesa menos que el cemento, su gravedad específica no llega a las dos terceras partes de la del cemento. En la mayoría de los casos esto es una ventaja pues se lograrían concretos más livianos. En segundo término, tanto la superficie específica como el porcentaje que pasa el tamiz 325, nos dan un índice de la finura del material. En ambos casos se aprecia que con 1 hora de molienda se obtiene una finura mayor que la del cemento Portland. Esta finura es importante a la hora de medir la reactividad del material.

Del análisis químico realizado el elemento más importante es el porcentaje de sílice en la ceniza, pues es éste el que le otorga la capacidad puzolánica a la ceniza. Se presenta 47,62% de sílice, un nivel por debajo de lo esperado según las referencias encontradas, sin embargo, no deja de ser un valor considerable. Se aprecian porcentajes relativamente altos de humedad (4,53%) y pérdida al fuego (17,67%). Estos valores podrían reducirse si se perfec-

cionan los procesos de producción del material, con lo cual se incrementaría apreciablemente el porcentaje de sílice.

Como elemento negativo se aprecia un porcentaje relativamente alto de álcalis, lo cual puede convertirse en un problema cuando se utilicen agregados que tengan capacidad de reacción con ellos. Si bien el  $\text{Na}_2\text{O}$  se mantiene en valores bajos, el  $\text{K}_2\text{O}$  se presenta en un 9,51%, un nivel considerable, sobre todo si se compara con el del cemento.

### *Diseño de mezcla*

Para el diseño de la mezcla se utilizó el método propuesto por Porrero, Ramos y Grases, obteniendo las proporciones en que deben combinarse el cemento, el agua y los agregados para un concreto de Resistencia Característica de  $250 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se definió trabajar con 6 mezclas diferentes, modificando progresivamente las cantidades de cemento y ceniza empleadas. Se partió de una muestra patrón donde el 100% del ligante utilizado fuese cemento Portland, siendo 0% la cantidad de ceniza. A partir de ahí se fue disminuyendo la cantidad de cemento, sustituyéndolo por cantidades iguales, en peso, de ceniza. Los porcentajes de sustitución se reflejan en el cuadro 6 donde además se indican las proporciones utilizadas para las diferentes mezclas de morteros.

### *Pruebas realizadas a los morteros*

A cada una de las mezclas de mortero descritas se le realizaron las siguientes pruebas físicas.

#### *a) Determinación de la consistencia.*

Según el método ASTM C230, la cantidad de agua necesaria para cada mortero se determina por medio del flujo, el cual en general se encuentra entre 100% y 110%, para obtener así una pasta con una consistencia adecuada. En el presente estudio se utilizó la relación agua/ligante (cemento más ceniza) con un valor constante de 0,50 y se determinó el valor del flujo de cada mezcla. En el cuadro 6, así como en el gráfico 1 se refleja cómo el flujo disminuye en la medida en que se sustituye más cemento por ceniza, lo cual significa que, para lograr una consistencia adecuada, se requiere mayor cantidad de agua en la mezcla cuando se emplea ceniza en sustitución de cemento. Esto es una desventaja de este material debido a que un incremento en la cantidad de agua redundaría en una reducción de la resistencia a la compresión. Si los valores de sustitución fuesen grandes debería evaluarse la posibilidad de utilizar aditivos plastificantes para mantener baja la relación agua cemento.

*b) Resistencia a la compresión*

Siguiendo la norma ASTM C109, para cada mezcla de mortero se elaboraron 3 probetas cúbicas de 5,08 cm de lado, con la finalidad de obtener un promedio representativo. El curado se realizó por inmersión en agua. Se utilizó una Máquina Universal Baldwin a velocidad constante de aplicación de carga y con la escala de 5.000 Kg. El resumen de los resultados se refleja en el cuadro 7 y en el gráfico 2, apreciándose cómo la resistencia a compresión a los 28 días se mantiene cercana a la del patrón, hasta un 20% de sustitución, experimentando disminuciones posteriores, proporcionales al porcentaje de sustitución.

*c) Expansión de morteros.*

Se sigue el método de determinación de la expansión en morteros por medio de barras: COVENIN, ASTM C157, ASTM C227 y ASTM C441.

Se determina la susceptibilidad de la combinación cemento-agregados a reacciones expansivas debido a los iones hidroxilos asociados a los álcalis (óxido de sodio y óxido de potasio), por medio del cambio dimensional que sufren barras de mortero preparadas con los materiales en estudio.

Se preparan 2 barras de 285 mm de largo y una sección cuadrada de 25 mm de lado para cada mezcla. Las barras son colocadas en cámara húmeda a 21°C y las medidas de expansión se realizan en función del tiempo de curado, por medio de un comparador ASTM C490. El resumen de los resultados se encuentra en el gráfico 3.

Se preparan 2 barras de 285 mm de largo y una sección cuadrada de 25 mm de lado para cada mezcla. Las barras son colocadas en cámara húmeda a 21°C y las medidas de expansión se realizan en función del tiempo de curado, por medio de un comparador ASTM C490. El resumen de los resultados se encuentra en el gráfico 3.

Cuadro 6  
Proporciones de materiales en las mezclas de mortero

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%	30%
Contenido ceniza (g)	0	10	15	20	25	30
Cemento (g)	1250	1125	1062,5	1000	937,5	875
Ceniza de hoja de Maíz (g)	0	125	187,5	250	312,5	375,0
Ligante Total (g)	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Volumen Equivale (cc)	0	78,38	117,57	156,77	195,96	235,15
Ceniza equivalente (%)	0	6,51	9,96	13,55	17,29	21,18
Arena (g)	3.437,5	3.437,5	3.437,5	3.437,5	3.437,5	3.437,5
Agua (cc)	630	630	630	630	630	630
Relación agua cemento a/c	0,50	0,56	0,59	0,63	0,67	0,72
Relación agua ligante total a/L	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Flujo	106	93	82	80	68	60
Mezcla total (g)	4.687,5	4687,5	4.687,5	4.687,5	4.687,5	4.687,5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,249	2,226	2,214	2,203	2,192	2,181

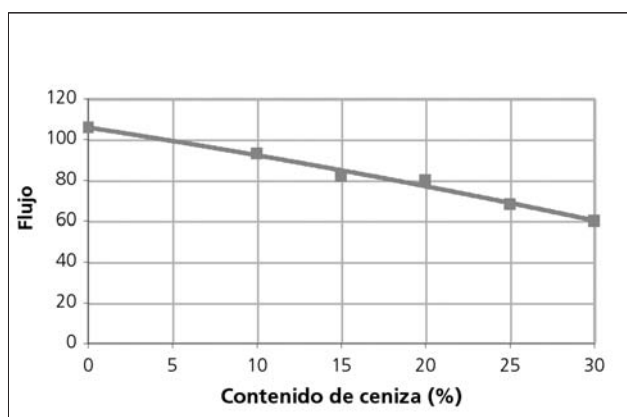


Gráfico 1  
Influencia del contenido de ceniza en el flujo de la mezcla

Cuadro 7  
Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión

Proporción cemento : ceniza	Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	7 días	28 días
100 : 0	301	413
90 : 10	264	425
85 : 15	298	397
80 : 20	254	398
75 : 25	258	381
70 : 30	249	367

El gráfico 3 muestra la expansión de los morteros preparados con ceniza de hoja de maíz en función del tiempo. Se constata que en las condiciones de curado (inmersión en agua), el cambio dimensional fue relativamente pequeño, por debajo de 0,003%, con valores no muy diferentes para las distintas combinaciones, no pudiendo establecerse una relación clara entre el contenido de ceniza y la expansión del mortero. En espera de un estudio más específico de este comportamiento se podría intuir que no existe un efecto importante del contenido de álcalis en ceniza.

d) Ensayo de durabilidad

Se sigue el método ASTM C452, con la finalidad de estudiar el comportamiento de los materiales cementantes y sus reacciones posibles tanto con los agregados como con agentes agresivos externos, lo cual da un índice de su estabilidad química y su durabilidad. Se preparan probetas de cada mortero y son sumergidas en una solución saturada de sulfato de sodio. La posible expansión es medida por medio de un comparador ASTM C490 en función del tiempo de exposición. Los resultados se encuentran en el gráfico 4 e indican que para adiciones de hasta el 20% no se aprecian efectos negativos, manteniéndose la expansión por debajo de 0,003%. Para adi-

Gráfico 2  
Resistencia a compresión a 7 y 28 días según el contenido de ceniza

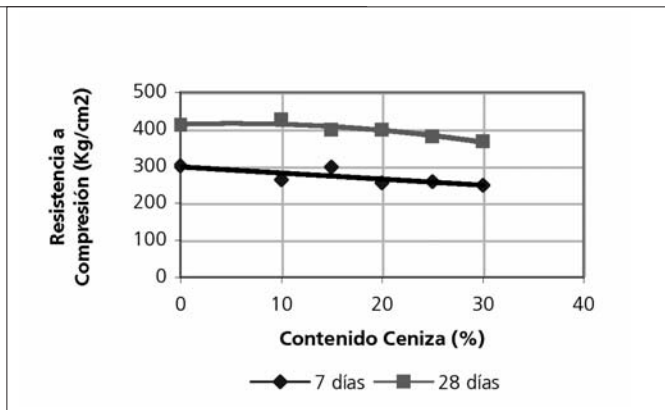


Gráfico 3  
Expansión de morteros

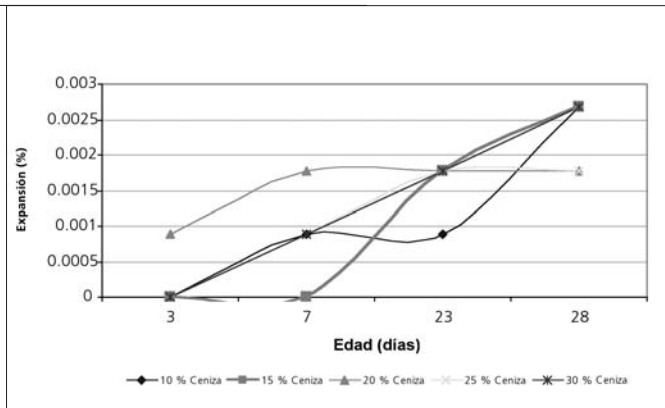
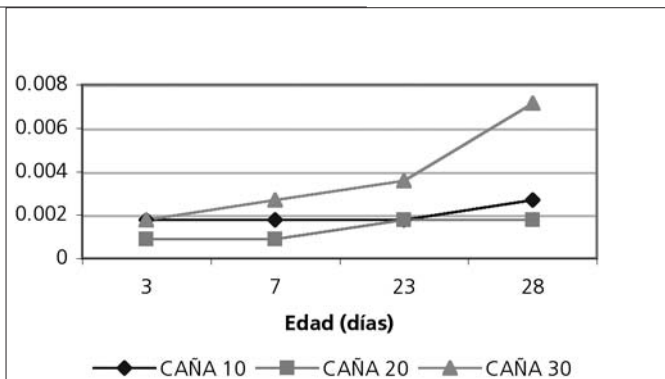


Gráfico 4  
Expansión de morteros en solución saturada de sulfato de sodio



ciones de 30% de ceniza se experimenta una expansión algo superior pero igualmente pequeña.

*e) Índice de actividad puzolánica*

El término "puzolana" se ha extendido a todo material silíceo o sílico-aluminoso que por sí solo poseen baja o nulas propiedades cementantes, pero en presencia de humedad y cal pueden reaccionar químicamente y formar compuestos que sí tienen interesantes propiedades cementantes e hidráulicas. Por ello utilizamos un índice de actividad puzolánica definido como la relación de resistencias a la compresión de un mortero con adición de material puzolánico y la de un mortero a base de cemento Portland. En general se especifica que dicho índice no debe ser inferior a 0,75 lo que quiere decir que el material puzolánico debe de tener al menos el 75% de la resistencia del patrón.

Se calculan los "índices de actividad puzolánica-IAP" a los 7 y 28 días. En el cuadro 8 se resumen los resultados. El IAP se mantiene muy alto hasta 20% de sustitución y aunque comienza a descender para porcentajes mayores, se mantiene por encima de 0,75.

*f) Densidad del mortero.*

En el gráfico 5 se muestra cómo la densidad del mortero va disminuyendo en la medida en que se aumenta el contenido de ceniza, lo cual es consecuencia de su menor densidad respecto al cemento Portland.

**Conclusiones**

De la investigación realizada se desprende que, en efecto, estamos en presencia de un material con la potencialidad de ser usado como sustituto parcial del cemento en las obras, al menos, en proporciones que no superen el 20%. Para estos valores vemos que se pueden lograr morteros de propiedades similares al cemento puro. La resistencia a compresión y la estabilidad química se comportan muy bien, en tanto que se logran morteros más ligeros, lo cual comúnmente es deseable. En contraposición se experimenta una disminución en el flujo de la mezcla, lo cual puede provocar una demanda mayor de agua para su elaboración con los inconvenientes que esto traería.

En la caracterización del material se aprecia un importante contenido de sílice (47,6%) en la ceniza, el cual podría incrementarse si se estudia y desarrolla un proceso más riguroso de obtención del material. Se presentó un 4,5% de humedad y un alto 17,7% de pérdidas por fuego. Ambos elementos se podrían reducir y, por consiguiente, obtener un material más puro, si se estudia mejor el proceso de producción. Es recomendable entonces formular una investigación futura que haga énfasis en este aspecto.

Cuadro 8  
Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión

% de Cenizal	AP a 7 días	IAP a 28 días
0	1	1
10	0,877	1,029
15	0,990	0,961
20	0,841	0,964
25	0,857	0,923
30	0,827	0,889

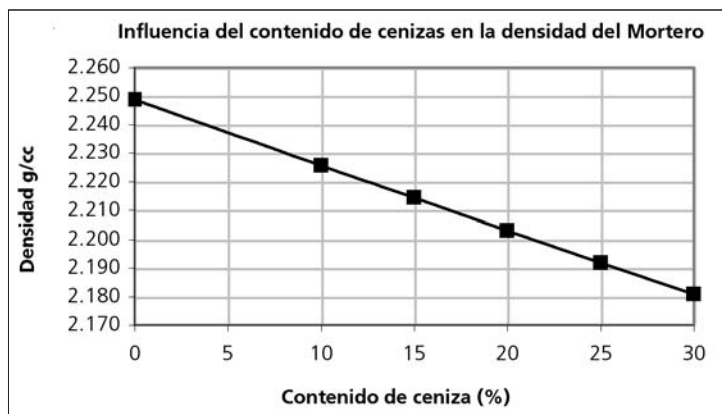


Gráfico 5  
Variación de la densidad de mortero con el porcentaje de ceniza



## Referencias bibliográficas

- Águila, I. (2001) "Cementos Pozzolánicos, una alternativa para Venezuela", *Tecnología y Construcción*, n° 17-III, pp. 27-34. Caracas.
- Cachan, A. Cementos. Encuentro Medioambiental Almeriense: En busca de soluciones. Andalucía. Documento de Internet.
- Cincotto, M.A.; Agopyan, V. y John, V.M. (1990) Optimization of Rice Husk Ash production.
- Vegetable plants and their fibers as building materials, Proceedings of the Second International Symposium, RILEM, CIB, UFBA. Salvador de Bahía.
- Farías, J. S. A. y Recena, F. A. P. (1990) Study for brazilian Rice Husk Ash Cement. Vegetable plants and their fibers as building materials, Proceedings of the Second International Symposium, RILEM, CIB, UFBA. Salvador de Bahía.
- Hammond, A. (1983) "Pozzolana cements for low cost housing". Appropriate Building Materials for low cost housing, Proceedings of a Symposium, CIB, RILEM. Nairobi.
- Hwang, C. L. y Wu, D. S. (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. Trondheim.
- IMCYC (2001) "Propiedades del concreto que contiene ceniza volante ultrafina", *Construcción y Tecnología*, febrero 2001. México.
- Martirena, J. F.; Middendorff, B.; Budelmann, H. y Gehrke, M. (1997) Estudio de la reacción de hidratación de aglomerantes de cal puzolana fabricados en base a desechos de la industria azucarera. Inédito. Informe resultado de trabajo de investigación. Universidad Central de las Villas-UCLV, Santa Clara, Cuba.
- Mazlum, F. y Uyan, M. (1992) Strength of Mortar made with cement containing Rice Husk Ash and cured in Sodium Sulphate solution. Fourt International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Instambul.
- Mehta, P. K. The chemistry and technology of cements made from rice husk ash. Proceedings of a joint workshop on production of cement-like materials from agro-wastes. UNIDO/ESCAP/RCTT/PCSIR. Bangalore.
- Mehta, P. K. (1989) Pozzolanic 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. Trondheim.
- Nagataki, S. (1994) Mineral Admixtures in Concrete: State of the Art and Trends. *Concrete Technology: Past, present and future-Procendings*, of V. Moham Malhotra Symposium. Detroit.
- Ratnam, C.V.S. Manufacture and utilization of cement like materials from rice husk-issues for consideration. Proceedings of a joint workshop on production of cement-like materials from agro-wastes. UNIDO/ESCAP/RCTT/PCSIR. Bangalore.
- Rodríguez, R.; Dámazo, D. y Uribe, R. (2000) "Los cementos puzolánicos aumentan la resistencia del concreto al ataque de sulfatos", *Construcción y Tecnología*, julio 2000. México.
- Salas, J.; Castillo, P.; Sánchez de Rojas, M. I. y Veras, J. (1986) "Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros", *Materiales de Construcción*, vol. 36, n° 203, pp. 21-39, Madrid.
- Shah, R. A.; Khan, A. H.; Chaudhry, M. A. y Quaiser, M. A. Utilization of RHA for the production of cement-like materials in rural areas. Proceedings of a joint workshop on production of cement-like materials from agro-wastes. UNIDO/ESCAP/RCTT/PCSIR. Bangalore.
- Shimizu, G. y Jorillo, P. (1990) Study on the use of rough and unground ash from an open heaped-up burned rice husk as a partial cement substitute. Vegetable plants and their fibres as building materials, Proceedings of the Second International Symposium, RILEM, CIB, UFBA. Salvador de Bahía.
- Smith, R.G. y Kamwanja, G.A. (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.
- Sosa, M. (1994) Utilización de materias primas vegetales para la producción de materiales de construcción. Análisis crítico. (Inédito). Trabajo de ascenso, FAU-UCV, Caracas.
- Suguita, S.; Shoya, M. y Tozuda, H. (1992) Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash. Fourt International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Instambul.
- United Nations Centre For Human Settlements (Habitat) (1993): Development of Pozzolanic Cement. Endogenous Capacity-Building for the production of binding materials in the Construction Industry. Selected case studies. Nairobi, Kenya.
- 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.

## Listado de normas y métodos utilizados

ASTM	Manual of Aggregates and Concrete Testing.
ASTM C109	Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 50 mm cube specimens).
ASTM C136	Sieve analysis of fine aggregate
ASTM C150	Specifications for Portland cement.
ASTM C157	Test Method for length change of hardened cement mortar and concrete.
ASTM C188	Density of hydraulic cement
ASTM C192	Method of making and curing concrete test specimens in laboratory.
ASTM C204	Fineness of Portland cement by air permeability apparatus
ASTM C227	Test method for potential alkali reactivity of cement aggregate combinations (Mortar bar method).
ASTM C230	Specification for Flow table for use in tests of hydraulic cement.
ASTM C305	Method for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency.
ASTM C311	Sampling and testing fly ash or natural pozzolans for use as a mineral admixture in Portland cement concrete.
ASTM C430	Fineness of hydraulic cement by the 45 $\mu\text{m}$ (N°325) sieve.
ASTM C441	Test method for effectiveness of mineral admixtures in preventing excessive expansion of concrete due to alkali aggregate reaction.
ASTM C452	Test method for potential expansion of Portland cement mortars exposed to sulfate.
ASTM C490	Apparatus for use in measurement of length change of hardened paste, mortar and concrete.
ASTM C778	Specification for standard sand.