

Tecnología productiva de Cemento Puzolánico a partir de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

Milena Sosa
Griffin¹ (Tutor)
Idalberto Aguila
Arboláez²

RESUMEN - Este artículo presenta el resultado de una investigación que incluyó fundamentalmente una tesis de maestría y cuyo objetivo principal era el desarrollo de una tecnología para producir puzolana artificial, a objeto de servir como sustituto parcial del cemento Pórtland, utilizando como materia prima la cascarilla de arroz.

Se presenta el material de base, la cascarilla de arroz, argumentándose su calidad de desecho, así como su potencial para ser empleado como materia prima para la producción de materiales de construcción. A continuación, se presenta el objeto central, es decir, la tecnología.

Se analizan los resultados de una serie de ensayos de laboratorio realizados sobre la puzolana producida. Ellos permiten determinar las propiedades más importantes para evaluar su comportamiento físico-químico y así establecer su potencialidad de empleo.

En las conclusiones, se expresa que el producto obtenido cumple con los estándares de calidad planteados. Así mismo, se afirma que la tecnología desarrollada permite producir el material puzolánico bajo un proceso productivo aprehensible por un personal no calificado, bajo un costo de producción menor en un 50 % de los requeridos para producir un cemento de tipo Pórtland.

PALABRAS CLAVES: CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, PUZOLANAS, RESIDUOS AGRÍCOLAS, CEMENTO, VIVIENDA DE BAJO COSTO.

PRODUCTIVE TECHNOLOGY OF POZZOLANIC CEMENT DERIVED FROM THE ASHES OF RICE HUSK

SUMMARY - This paper presents the results of an investigation using the rice husk as raw material which principal objective was the develop of a technology to produce artificial pozzolan to use as partial substitute of Portland cement.

Is presented the base material, the rice husk, arguing its quality as residue, as well as its potential to be used as raw material for the production of construction materials. Following, it is presented the main purpose, the technology. Are analyzed the results of a group of laboratory tests related to the pozzolan produced. This, allows to determine the most important properties to evaluate its physicochemical behavior and so establish its use potentiality.

In the conclusions is expressed that the obtained product fulfils the quality standards. Additionally, is asserted that the developed technology allows to produce the pozzolanic material using an apprehensible productive process by a not qualified personnel, in a production cost less of 50% related to the required to produce a cement of Portland type.

Key words: RICE HUSK ASH, POZZOLANS, AGRICULTURE WASTES, CEMENT, LOW INCOMING HOUSING.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo presenta el resultado de un desarrollo experimental realizado por los autores, investigadores en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción que contó con financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela (UCV), así mismo, la investigación desarrollada generó un primer producto, que fue la elaboración de un Trabajo de Grado, tendiente a la obtención del Título de Magíster Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción.

El objetivo principal de la investigación era desarrollar una puzolana artificial a objeto de sustituir parcialmente el cemento Pórtland en la construcción de las viviendas de bajo costo.

Se empleó como materia prima un residuo agrícola, la cascarilla de arroz. Este subproducto está compuesto de un 93 % de sílice (de SiO_2) por lo cual es especialmente apto para ser utilizado como materia prima para la elaboración de materiales de construcción no tradicionales (Sosa G., M., 1984,27).

1 Profesor-Investigador del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Universidad Central de Venezuela (UCV)
Email: idalb@idec.arq.ucv.ve

2 Profesor-Investigador del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Universidad Central de Venezuela (UCV)
Email: idalb@idec.arq.ucv.ve

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UNA TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO PUZOLÁNICO A PARTIR DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

Para transformar la cascarilla en puzolana se requieren dos procesos esenciales: la combustión de la cascarilla hasta convertirla en ceniza con la menor cantidad de materia orgánica posible; y la molienda de la ceniza hasta alcanzar una finura predeterminada.

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.

Para garantizar estos determinantes, se diseñó y construyó un horno a partir de materiales tradicionales y abundantes en el país tales como: bloques de arcilla, lámina metálica, cabillas de acero, cemento y agregados (Figura N° 1).

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. Otros investigadores han demostrado que, al lograr una mayor reactividad de la ceniza, se aumenta la resistencia a compresión del aglomerante a obtener (SALLAS, J., P. et al 1986:22)

Un valor de finura adecuado y aceptado por la práctica internacional es el correspondiente al cemento

Pórtland, por lo que para esta investigación se procuró moler el material hasta que pasara por el tamiz N° 200 más del 95 % del total, se comprobó además que más del 90 % del material obtenido pasaba de igual forma el tamiz N° 270.

Se determinó experimentalmente que el tiempo de molienda necesario para lograr esta condición es de sesenta (60) minutos.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL

Para evaluar la calidad de los materiales puzolánicos se pueden analizar numerosas propiedades de los mismos, tema éste muy estudiado por diversos investigadores en el mundo, no obstante, en este trabajo se decidió evaluar experimentalmente solo la Resistencia a la compresión y la Durabilidad por ser las dos propiedades más importantes a tener en cuenta y por la posibilidad que brinda el contar con numerosas experiencias de otros autores que permiten apoyarse en las mismas con suficiente certeza.

Se ha demostrado que las adiciones de puzolanas tienden a mejorar algunas propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. En el estado fresco provocan un cambio positivo en las propiedades reológicas del concreto, tendiendo a mejorar la consistencia y la cohesión de la mezcla y a disminuir el fenómeno de la segregación. En el estado endurecido mejoran la resistencia mecánica, el módulo de elasticidad, la estabilidad química, la impermeabilidad y la durabilidad. La combinación de experiencias anteriores con los ensayos desarrollados en este trabajo, refleja la factibilidad técnica de las propuestas aquí realizadas.

Para realizar la evaluación se definieron distintas proporciones de combinaciones de ceniza con cemento Pórtland y ceniza con cal, a las cuales se les realizó los siguientes ensayos:

- Ensayo de Resistencia a la compresión de probetas cúbicas de mortero a base de ceniza, combinada, en diferentes proporciones, con cemento Pórtland y con cal.

- Ensayo de Envejecimiento acelerado (ciclo calor-humedad), para las combinaciones seleccionadas según resistencia a compresión.
- Ensayo de Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con las combinaciones de cemento seleccionadas según resistencia a compresión.

1.- Ensayo de resistencia a compresión de probetas cúbicas de mortero

Este ensayo se realizó según 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".

Para cada mezcla, se determinaron tres muestras de tres probetas cada una para ser ensayadas a los 7, 28 y 56 días (Tabla N° 1).

TABLA N° 1
RESISTENCIA A COMPRESIÓN

MUESTRA N°	COMBINACIÓN CPO:CCA	Rc 28 DÍAS CCA:CAL	% RESP (Kg/cm ²)	PATRÓN
1	100 : -		255,84	100,00
2	90 : 10		262,04	102,42
3	85 : 15		298,20	116,56
4	80 : 20		310,99	121,56
5	75 : 25		291,36	113,88
6	70 : 30		249,39	97,48
7		80 : 20	60,96	23,83
8		70 : 30	57,86	22,62
9		60 : 40	62,12	24,28
10		50 : 50	56,82	22,21

Leyenda : CPO - Cemento Portland Ordinario

CCA - Ceniza de Cascarilla de Arroz

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de los

2.- Ensayo de envejecimiento acelerado de probetas cúbicas de mortero

Para este ensayo 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 esen-

cialmente consiste en someter la muestra a 5 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 (Tabla N° 2).

TABLA N° 2
ENVEJECIMIENTO ACELERADO

MUESTRAS	PESO (GR)		% DE PÉRDIDA
	INICIAL	FINAL	
100%CPO	1544.84	1471.14	4.77
70%CPO - 30%CCA	1583.56	1569.86	0.86

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos.

Según la norma, se debe utilizar alrededor de 1500 g de material para el ensayo, por lo que se elaboraron 6 probetas cúbicas de mortero para cada combinación.

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 (Tabla N° 3).

TABLA N° 3
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

COMBINACIÓN	Rc 28 DÍAS (Kg/cm ²)	% RESPECTO AL PATRÓN
100 % CPO	156.18	100
70 % CPO - 30 % CCA	237.68	152.18

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos.

Se determinó para el ensayo, la combinación de 70 % de cemento y 30 % de ceniza. Este porcentaje representa el máximo valor de sustitución de cemento sin que se produzcan afectaciones apreciables en la resistencia a la compresión.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

1.- Ensayo de resistencia a compresión de probetas cúbicas de mortero

Los resultados de este ensayo presentados en la Tabla N° 1 requieren ser analizados en función de las combinaciones de las mezclas, reciben un tratamiento distinto las combinaciones de ceniza con cal respecto a las combinaciones de ceniza con cemento:

- Mezcla de ceniza con cemento: Los resultados demuestran como la adición de ceniza provoca un incremento de la resistencia a la compresión de las muestras a los 28 días. Ello se explica por la capacidad de la puzolana (SiO_2), de fijar el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), generado durante las reacciones de hidratación del cemento y que al quedar libre se puede lixiviar, provocando el debilitamiento del concreto. Los fenómenos que se verifican al añadir puzolanas al cemento son mucho más complejos que lo explicado y aún no se conoce con precisión todo lo que ocurre, pero si está claro que la presencia de ese aditivo mineral activo llenando potenciales espacios vacíos dentro de la masa del concreto y reaccionando con la cal libre de éste, mejora no sólo la resistencia mecánica del concreto, sino también, otras de sus propiedades más importantes.

Asimismo, se puede notar que cuando se sustituye el 20 % de cemento por ceniza se obtienen los mayores incrementos de la resistencia, a este porcentaje de sustitución corresponde un incremento de la resistencia a compresión del 20 %; asimismo, se puede sustituir hasta un 30 % sin

que se afecte prácticamente la resistencia a los 28 días, aún teniendo que emplearse para este caso una relación A/C bastante mayor. Estos resultados reflejan la posibilidad de emplear el material en la elaboración de elementos estructurales con un ahorro apreciable de cemento.

Mezcla de ceniza con cal: Se alcanzaron a los 28 días valores de Resistencia a Compresión cercanos a 60 Kg/cm², bastante parejos para proporciones 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/cm². Se debe hacer notar que la relación agua / cemento en estos casos fue muy alta, alrededor de 0,90, de modo que si se logra reducir ésta se pueden lograr resultados muy superiores en cuanto a resistencia a compresión, pero la investigación, por el momento, se ha dirigido preferentemente hacia las combinaciones de ceniza con cemento.

Se puede apreciar como para edades más avanzadas, los incrementos adicionales de resistencia son inferiores para las muestras con mayores adiciones de puzolana, esto se contradice un poco con la teoría que establece que la velocidad de hidratación de los cementos puzolánicos es menor que la del cemento Portland y por tanto es de esperarse un mayor incremento de resistencia a edades avanzadas para las muestras con adición de puzolanas.

2.- Ensayo de envejecimiento acelerado de probetas cúbicas de mortero

La evaluación de los resultados del ensayo presentados en la Tabla N° 2 se realizó en función de la pérdida de peso que experimentaron las muestras, así como del estado de deterioro que se aprecia en su superficie, al concluir el ensayo.

En ambos sentidos, el comportamiento de las muestras que contenían adiciones de ceniza fue apreciablemente mejor que el de las que contenían cemento puro.

En cuanto a la pérdida de peso, se puede apreciar como 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.

Con relación al deterioro superficial, se pudo apreciar visualmente que todas las probetas se agrietaron ligeramente; ahora bien, aquellas cuyas mezclas contenían ceniza de cascarilla sufrieron menores daños superficiales.

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 sobre todo en obras que estén expuestas a ambientes agresivos.

3.- Ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto

Los resultados obtenidos permiten destacar que el concreto producido con 30 % de adición de ceniza supera en 52 % la resistencia del patrón (Ver Tabla N° 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 pudiera haber sido superior.

No obstante, el valor alcanzado por la muestra con adición de ceniza supera en un 18.8 % la resistencia teórica esperada para esa dosificación con una relación agua / cemento de 0.50, que era de 200 Kg/cm². Este valor es excelente si se analiza que con solo 238 Kg de cemento Portland por m³ de concreto se llegó hasta 237.68 Kg/cm² de resistencia.

Finalmente, ya que durante la investigación se determinaron los parámetros requeridos para lograr una ceniza de buen comportamiento mecánico, seguidamente se diseñó el proceso de producción que permitiera reproducir las condiciones del laboratorio a una escala mayor, y que asimismo permitiera que los costos de producción se mantuvieran suficientemente bajos, estos resultados serán objeto de futuras publicaciones.

CONCLUSIONES

La búsqueda de una alternativa al alto costo del cemento Portland y su tendencia internacional al alza fue el motivo fundamental del desarrollo del estudio presentado, y el objeto, la cascarilla de arroz, un residuo agrícola abundante y hasta ahora poco utilizado con fines productivos.

En este estudio se hizo énfasis en el desarrollo de una tecnología para producir la ceniza a pequeña escala, teniendo en cuenta la situación del mercado del producto y la disponibilidad de la materia prima.

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 básicas para su obtención que, en el estudio previo, se pudo detectar se necesitaban para una buena calidad de la misma. Se logró verificar, por medio de ensayos de laboratorio, que la ceniza de cascarilla de arroz puede usarse, con buen comportamiento, tanto combinada con cal, para producir morteros de baja resistencia, adecuados para trabajos de albañilería, como cumpliendo función de sustituto parcial del cemento Portland en la elaboración de concretos ordinarios, con fines estructurales y de otro tipo en las obras.

La atención principal se centró en las combinaciones de ceniza con cemento Portland, donde se pudo lograr sustituciones de hasta un 30 % de cemento por ceniza sin que se produjeran afectaciones notables en su resistencia a compresión e incluso con incrementos no despreciables de ésta. Se pudo verificar que el porcentaje óptimo de sustitución es del 20 %, tal como estaba reseñada en la bibliografía estudiada, para lo cual se experimentó un incremento de alrededor del 20 % de la resistencia a compresión del cemento, además se pudo apreciar una mejoría considerable 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 un aspecto negativo se determinó que la adición de ceniza al cemento provoca una demanda mayor de agua para el amasado de la mezcla, lo cual

tiendo a disminuir su resistencia mecánica, pero aún así se lograron los incrementos antes mencionados. Potenciales incrementos adicionales de resistencia a compresión se pueden esperar si se logra reducir, por alguna vía, la relación agua / cemento en la mezcla.

La tecnología desarrollada permite obtener ceniza de buena actividad puzolánica a alrededor de la mitad del costo del cemento Pórtland, lo cual constituye su principal bondad, a esto se le suma el hecho, no menos notable, de ofrecer una solución efectiva de utilización a un residuo importante de la producción agrícola que en la mayoría de los casos se vierte en ríos y otras zonas donde genera afectaciones al medio ambiente.

Se comprobó que la sencillez de la tecnología la hace muy fácil de aplicar y de hacerlo con personal poco calificado, lo cual es apropiado para las comunidades rurales asociadas a la producción de arroz, donde la implantación de la tecnología contribuiría, también, a la apertura de nuevas fuentes de trabajo.

En las conclusiones del informe final de la investigación, se expresa que el producto obtenido cumple con los requerimientos de calidad determinados. Así mismo, se afirma que la tecnología desarrollada permite producir el material puzolánico bajo un proceso productivo asimilable por un personal no calificado, bajo costos de producción menores en un 50 % de los requeridos para producir un cemento de tipo Pórtland.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILA, I. (1999): *Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz*. Tesis de maestría. INÉDITO. Caracas. UCV. 119 Pág.
- MARTIRENA, J.F., B. MIDDENDHOF, H. BUDELMANN y M. GEHRKE. (1996): *Estudio de la reacción de hidratación de aglomerantes de cal puzolana fabricados en base a desechos de la industria azucarera*. Informe resultado de trabajo de investigación. INÉDITO. Santa Clara. UCLV. 10 p.
- 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. p 1-43.
- NAGATAKI, S. (1994): "Mineral Admixtures in Concrete: State of the Art and Trends". *Concrete Technology: Past, present and future-Proceedings, of V. Moham Malhotra Symposium*. Detroit. p 447-482.
- SALAS, J., P. Castillo, M.I. Sánchez de Rojas y J Veras. (1986): "Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros". *Materiales de Construcción*, Vol. 36, Nº 203. p 21-39. Madrid.
- 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". *Materiales, Técnicas y Economía de la Construcción en los países en desarrollo, Actas del coloquio Internacional*. pp. 66-71. París.
- SOSA GRIFFIN, M. (1984): "Utilisation des Matieres Premieres Vegetales pour la production de Materiaux de Construction". DEA-STB, ENPC, París.
- SOSA GRIFFIN, M. (1994): *Utilización de materias primas vegetales para la producción de materiales de construcción. Análisis crítico*. Trabajo de ascenso. INÉDITO. Caracas. UCV. 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*. Istanbul. p 495-512.
- 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. p 66-81.