

Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz

Ing. Idalberto Águila Arboláez
Arq. Milena Sosa Griffin

Resumen

El presente artículo sirve de continuidad al tema abordado en el N° 17/III de esta revista, sobre la conveniencia del empleo de materiales puzolánicos en sustitución parcial del cemento Portland para la construcción de viviendas en Venezuela. En esta ocasión se expone el desarrollo de una tecnología para producir puzolana artificial, para lo cual se emplea como materia prima la cascarilla de arroz. Se ofrecen detalles sobre las actividades que componen el proceso productivo, definiendo la forma en que éstas se deben realizar, las herramientas y los equipos necesarios, así como la fuerza de trabajo requerida para la puesta en funcionamiento de una pequeña planta de producción. También se especifican las instalaciones con que debe contar la planta, sus características físicas y funcionales, y se incluyen costos estimados para la producción, comparándolos con los precios de venta del cemento a la población. Esta propuesta de tecnología permite producir el material puzolánico de una manera sencilla y a unos costos de alrededor de 60% de los del cemento Portland.

Descriptores:

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

Abstract

The present article serves from continuity to the topic approached in the N° 17/III of this magazine, about the convenience of the employment of pozzolanic materials in partial substitution of the Portland cement for the construction of housings in Venezuela. In this occasion the development of a technology is exposed to produce artificial pozzolan, for that which is used as matter it prevails, the rice husk. They offer details of the activities that compose the productive process defining the form in that should be carried out, the teams and necessary tools, as well as the work force required for the setting in operation of a small production plant. The facilities are specified with which it should count the plant and their physical and functional characteristics. A valuation of the dear production costs is included, comparing it with the sale prices from the cement to the population. As a result a technology proposal is achieved that allows to produce the pozzolanic material in a simple way and at some costs of around 60% of those of the portland cement.

Antecedentes

En un trabajo anterior, publicado en esta misma revista (cf. Aguila, 2001), se analizaron las posibilidades de obtener un material puzolánico —a partir de la cascarilla de arroz, hecha ceniza— con el fin de sustituir parte del cemento Portland utilizado en la construcción de viviendas de interés social en Venezuela. Sin embargo, para producir a una escala que permita su empleo efectivo en la construcción, era necesario profundizar en el estudio. Así, a partir de la experiencia adquirida en la etapa experimental de obtención del material, en este análisis —que concluye con el diseño del proceso de producción con todas las condiciones que éste demanda— se describe una propuesta de proceso productivo para la obtención de puzolanas y se hace una valoración económica para su posible establecimiento y generalización en el país, lo cual, al igual que el artículo anterior, forma parte del contenido de la tesis de maestría “Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz”, realizada por este autor en el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV, bajo la tutoría de la Dra. Milena Sosa.

Análisis de la capacidad de producción

Capacidad de producción del horno experimental

Durante la etapa de estudio de los procesos de combustión y molienda de la cascarilla se realizaron mediciones de los tiempos requeridos para cada operación y de la fuerza de trabajo, a partir de lo cual se realizó la planificación general de la producción y la programación de sus actividades. Se determinó que con el horno construido (foto 1) apenas se podía lograr una producción diaria de 20 Kg y que un hombre puede atender a la vez cuatro hornos de este tipo, por lo que una planta mínima de producción constituida

por un hombre y cuatro hornos tendría una capacidad de 80 Kg diarios de puzolanas. Este rendimiento lo puede lograr un pequeño molino cilíndrico de bolas de 50 cm de diámetro y 50 cm de largo con un hombre para operarlo.

Figura 1:
Horno experimental



Visto esto, se concluye que el horno experimental cumplió satisfactoriamente los requisitos para obtener una ceniza con buena calidad, habiéndose establecido claramente las condiciones en que debe desarrollarse el proceso de combustión. Además, su diseño y construcción resultaron sencillos y económicos, utilizándose materiales abundantes en el país, sin embargo, su gran limitante es el bajo rendimiento que posee, lo cual no resulta rentable dentro de un proceso productivo. Este bajo rendimiento está dado por dos razones; en primer lugar, porque el proceso de trabajo es discontinuo, con ciclos demasiado largos, y en segundo lugar, por su poca capacidad, dada fundamentalmente por las pequeñas dimensiones en planta.

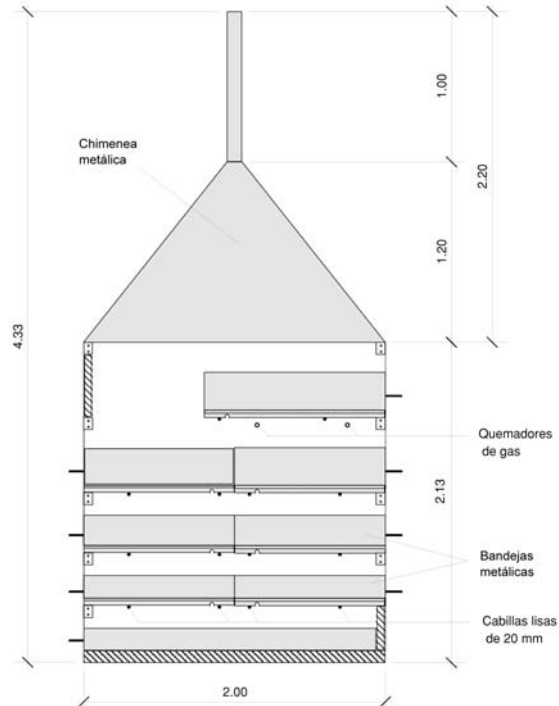
Correcciones de diseño en función de mejorar el rendimiento

Para mejorar el rendimiento del horno se realizó un nuevo diseño con los mismos materiales que el anterior, donde se pudieran mantener las condiciones que se determinaron para la combustión. Las modificaciones estuvieron dirigidas a aumentar las dimensiones en planta y, lo más importante, a lograr un proceso continuo de producción que se desarrolla de arriba hacia abajo, logrando un incremento considerable en el volumen de producción. La figura 2 muestra una sección del nuevo horno a nivel de proyecto.

Proceso de operación del horno:

1. Se colocan 50 Kg de cascarilla sobre la malla metálica y se prende fuego.
2. Pasados 15 min., se depositan los 50 Kg en la bandeja superior y se colocan 50 Kg más en la malla.
3. Pasados otros 15 min., esos nuevos 50 Kg se unen en la bandeja superior con los 50 Kg anteriores y se colocan en la malla otros 50 Kg.
4. Luego de transcurridos 15 min. más, los 100 Kg de la bandeja superior se dejan caer a la bandeja intermedia y los 50 Kg que se encontraban en la malla se depositan en la bandeja superior.

Figura 2:
Nuevo diseño del Horno

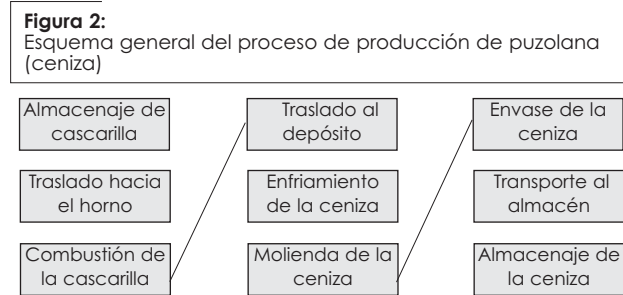


El material descende cada 30 min. de bandeja en bandeja hasta el fondo, a la vez que pierde peso al quemarse, con lo que queda en forma de ceniza entre 20%-22% del total inicial. De esta manera, cada 30 min. se extraen de la parte inferior del horno aproximadamente alrededor de 20 Kg o 22 Kg de ceniza, obteniéndose la primera cantidad luego de transcurridas unas 2 horas de trabajo. Esto implica que en las 6 horas restantes de la jornada se obtendrían unos 250 Kg de material. Si se diseña la planta con 4 hornos, cantidad que puede ser atendida por 2 obreros, la producción diaria podría ascender hasta alrededor de una tonelada. Este rendimiento corresponde a una planta mínima, si se requiere una producción mayor se pueden implementar varias líneas de producción para conformar una planta más grande en la cual, por añadidura, se podrían disminuir los costos unitarios.

Diseño del proceso de producción

A partir de las capacidades de producción definidas para los equipos principales: el horno y el molino, se definió el resto del proceso productivo y sus requerimientos de recursos, tanto en fuerza de trabajo como en equipos e instalaciones, para lo cual se tuvo en cuenta el rendimiento total del proceso y se persiguió, como objetivo esencial, que actividades muy complejas pudieran ser ejecutadas de una manera sencilla por personal con poca calificación. Así, se partió del esquema general del proceso de producción (figura 2); pa-

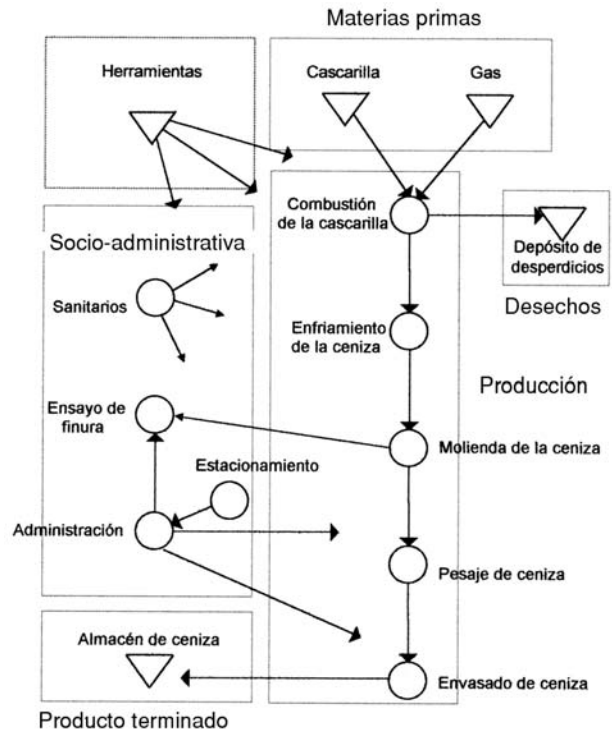
ra el esquema detallado de las actividades a realizar se plantearon las áreas que componen dicho proceso y las relaciones espaciales y funcionales de cada una (figura 3). En esta etapa se aplicaron algunos de los métodos de organización de la producción descritos por Domingo Acosta (cf. Acosta, 1994).



Descripción general del flujo de producción

1. Recepción de la cascarilla, proveniente de la arrocera, en camiones u otro medio de transporte y se descarga en el almacén.
2. Almacenaje de la cascarilla, a granel, en un volumen de aproximadamente 5 ton (50 m3), que se consumen diariamente.
3. Combustión de la cascarilla. Se carga la cascarilla con pala y se deposita en un recipiente de capacidad conocida. Se trasladan 50 Kg hasta el horno, donde se coloca y se prende fuego con los quemadores de gas. Cuando se realiza el proceso de quema, la cascarilla desciende por el interior del horno y se recoge en la parte inferior, en una bandeja metálica que se extrae y se traslada, llena, hacia el depósito de enfriamiento. En esta etapa se inspecciona visualmente el color de la ceniza.
4. Enfriamiento de la ceniza, en el depósito destinado a este fin, hasta el siguiente día.
5. Molienda: la ceniza se coloca en el molino, utilizando un recipiente de medida conocida, a razón de 150 Kg por tanda, y se muele durante 1 hora; luego se deposita en una bandeja metálica. Se inspecciona frecuentemente la finura al tacto y con regularidad se envían muestras al laboratorio para medir con precisión la finura que se va obteniendo.
6. Envasado de la ceniza: utilizando una balanza y por medio de una pala, se colocan 42,5 Kg de ceniza en una bolsa de papel y se sella.
7. Almacenaje del producto: se trasladan las bolsas a mano al almacén y se colocan sobre paletas en paquetes que contienen entre 5 y 7 bolsas de altura.
8. Despacho del producto: se cargan las bolsas en el camión u otro medio de transporte, según la demanda, pero con tiempo máximo de almacenaje de 1 semana.

Figura 3:
Relaciones funcionales y espaciales de la planta de producción



Requerimientos de fuerza de trabajo y equipos para la producción

Fuerza de trabajo:

- 1 Jefe de taller: deberá tener nivel técnico para gerenciar todo el proceso, realizar los ensayos de laboratorio correspondientes al control de la calidad y coordinar la compraventa de insumos y productos.
- 2 Operadores de horno: realizarán todas las operaciones relacionadas con la combustión de la ceniza, incluyendo el acarreo de materiales.
- 1 Operador de molino: realizará todas las operaciones relacionadas con la molienda, envase y almacenaje de la ceniza.
- Equipos, maquinarias y herramientas: 4 Hornos; Molino de bolas; Balanzas de 50 Kg y de 5 Kg; Tamiz n° 200; 2 Cronómetros; 3 Palas.

Sistema de control de la calidad

El responsable del control de la calidad es el jefe de taller, pero en el sistema también participan los operadores del horno y del molino. Dicho sistema se estructura de la siguiente forma:

1. Control de la calidad de la combustión: lo realizan los operadores del horno, frecuentemente, mediante inspección visual de la ceniza extraída del mismo, la cual debe tener un color gris claro.
2. Control inicial de la finura de molido: lo realiza el operador del molino, sistemáticamente, cuando el material sale de éste, verificando, al tacto, que la finura obtenida sea similar a la del cemento portland, estos es, que no se aprecie trabazón entre las partículas al rozar unas con otras.
3. Control final de la finura de molido: lo realiza el jefe de taller, cada 30 días y no debe dejar de hacerse cuando existan cambios en las materias primas a emplear. Se pasa el material por el tamiz N° 200 y se chequea que la cantidad retenida en el mismo no sea mayor de 5% del total.

Análisis económico

El proceso tecnológico diseñado cuenta con un marcado criterio de economía en su concepción, sin embargo, se hace necesario un análisis detallado de los costos de producción en que se incurren, relacionándolos con los costos del cemento, todo a precios de noviembre de 1999, cuando la tasa de cambio era de 635 bolívares por dólar. Para hacer esto se realizó una estimación de los costos de construcción de una planta como la que se describe y de la producción de puzolanas una vez concluida ésta, llegándose a un pronóstico de operaciones como el que se muestra en el cuadro

Conclusiones

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

Muchos investigadores de numerosos países se han limitado a demostrar, de manera experimental, las potencialidades de utilización de los materiales que están siendo objeto de estudio y a evaluar el comportamiento de los mismos, sin embargo, para lograr la aplicación práctica de estos resul-

tados es necesario trabajar en el desarrollo de tecnologías apropiadas para su producción a determinada escala.

En este trabajo 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. La tecnología desarrollada permite obtener ceniza de buena actividad puzolánica a 60% del costo del cemento Portland, lo que constituye su principal bondad, a la cual se suma el hecho de ofrecer una solución efectiva de utilización para un residuo importante de la producción agrícola. La sencillez de la tecnología la hace de muy fácil de aplicación con personal poco calificado, lo que resulta 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 y de ingreso para sus pobladores.

Cuadro

Pronóstico de operaciones
para una producción anual de 240 toneladas

	ANUAL (Bs.)	BOLSA (Bs.)
Costos de materias primas	800.000,00	141,67
Costos de mano de obra	6.720.000,00	1.190,00
Depreciaciones de edificaciones	208.223,06	36,87
Depreciaciones de equipos	833.140,00	147,54
Servicios	350.000,00	61,98
Costo de producción	8.111.363,10	1.436,39
Gastos generales y de administración	1.216.704,50	215,46
Gastos de venta	2.433.408,90	430,92
Costo total	11.761.476,50	2.082,77
Utilidades e imprevistos	1.176.147,65	208,28
Precio	12.937.624,15	2.291,05
Precio del cemento portland: Bs. 3.800,00 (sin impuestos) Ahorro: Bs.1.508,95 (40 %)		

Teniendo en cuenta los resultados favorables obtenidos, se hace necesario, como continuación del trabajo, la instrumentación de un plan piloto. Para ello, nos parece que la vía más aconsejable es lograr un convenio con una empresa procesadora de arroz para la instalación, en las zonas aledañas a la planta de producción, de una pequeña planta de obtención de ceniza; luego, de acuerdo con los resultados, extender la experiencia a otras zonas arroceras del país.

De igual forma se hace necesario evaluar, de manera práctica y experimental, la utilización del producto en la elaboración de elementos constructivos, así como en la ejecución de diversas actividades de albañilería.

Bibliografía

ACOSTA, Domingo. 1994. Manual de métodos para planificar la producción. Aplicaciones en el diseño y desarrollo tecnológico de la construcción. Mimeo. Caracas.

AGUILA, Idalberto. 1999. Tecnología alternativa de producción de cemento puzolánico con ceniza de cascarilla de arroz. Trabajo de Grado, Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. UCV. Caracas.

AGUILA, Idalberto. 2001. "Cementos puzolánicos, una alternativa para Venezuela". Revista *Tecnología y Construcción* 17-III. IDEC-FAU-UCV. Caracas.