

Empleo de la cáscara de arroz en la fundición de piezas de acero al carbono

Using of rice husk in the carbon steel casting parts process

Juan Carlos Cruz-Pérez^I, Jesús Eduardo González-Ruiz^{II}, Lorenzo Perdomo-González^{III},
Pantaleón Rodríguez-González^I

I Planta Mecánica. Santa Clara. Cuba.

Correo electrónico: tecfundicion@plantamec.co.cu

II Centro Nacional de Investigaciones Científicas. CNIC. La Habana. Cuba.

III Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Cuba.

Recibido: 16 de septiembre de 2011

Aceptado: 18 de abril de 2012

Resumen

Los materiales auxiliares desempeñan un papel importante en el aumento de la eficiencia tecnológica del proceso de fundición de piezas de acero al carbono. En este artículo se exponen los primeros resultados del empleo de la cáscara de arroz como material termoaislante en la obtención de piezas fundidas de acero al carbono. En los experimentos se evaluó la influencia de seis combinaciones de las variables espesor de pared del casquillo y capa de cobertura. En la confección de los casquillos se utilizó cáscara de arroz triturada, la que posteriormente fue aglutinada con silicato de sodio, apisonada y endurecida con CO₂, mientras que la cobertura se utilizó sin procesamiento previo. El mayor nivel de entrega de acero se obtuvo al emplear un espesor de casquillo de 65 mm y una altura de cobertura de 85 mm. El valor del ASAF generado por las variantes experimentales resultó igual o inferior a 0,48.

Palabras claves: casquillo termoaislante, polvo de cobertura, cáscara de arroz, acero fundido.

Abstract

Feeding auxiliary materials perform a very important role in improves technological efficiency of carbon steel casting parts process. In this article are exposing the first results in the rice husk using as an insulating material in such process. The variables sleeve thickness and covering thickness' influence were evaluated in six combinations by means of experiments. In sleeves preparation was used crushed rice husk, which was agglutinated with sodium silicate, compacted and hardened with CO₂, meanwhile as covering it was uses without previous preparation. The mayor liquid steel delivering level was get employing 65 mm sleeve thickness and 85 mm covering thickness. The ASAF value generated for experimental variants was equal or inferior to 0.48.

Key words: insulating sleeve, riser sleeve, hot topping, rice husk, steel cast.

Introducción

La fundición demanda una elevada cantidad y variedad de materias primas, algunas de ellas no renovables, así como del consumo de considerables cantidades de energía eléctrica y combustible [1]. La disponibilidad y el precio de muchas de las materias primas hacen compleja y elevan los costos de la fundición de piezas de acero. La forma más factible de bajar los costos de la obtención de piezas fundidas de acero es elevar la eficiencia tecnológica del proceso [2]. Lo anterior se encuentra relacionado con dos aspectos: no producir piezas defectuosas que haya que reparar o desechar y con el aprovechamiento al máximo del acero líquido [3]. El primer aspecto está vinculado con la calidad de los moldes, el estado técnico de los equipos utilizados en el taller, la organización del proceso, etc. El segundo aspecto está determinado por las concepciones tecnológicas aplicadas para el diseño del semiproducto o pieza fundida, de los alimentadores o mazarotas y por el empleo de materiales auxiliares [2]. El empleo de materiales auxiliares en la tecnología del molde para la fundición de piezas de acero, garantiza el incremento del rendimiento o eficiencia tecnológica. Además, contribuye a un ahorro notable de energía y materias primas, a aumentar la productividad en todo el proceso, a disminuir la producción de piezas defectuosas y propicia la disminución del acero líquido necesario para obtener la pieza sana. Esto último se logra a expensas de optimizar las dimensiones de las mazarotas o alimentadores en el molde.

El principio de aplicación de los materiales auxiliares consiste en aprovechar su efecto exotérmico o termoaislante para prolongar el tiempo de solidificación (módulo) de la mazarota o alimentador [4]. La prolongación del módulo térmico de la mazarota permite aumentar el volumen de acero líquido que la misma puede entregar a la pieza. Cuando es posible entregar un mayor volumen neto de la mazarota, resulta viable disminuir su tamaño y, como resultado, reducir la cantidad de acero líquido necesario para obtener la pieza sana [5]. Con este objetivo se utiliza, desde hace varios años en la fundición de acero de Planta Mecánica en Santa Clara, la cáscara de arroz como material auxiliar. Dicho material se emplea en forma de casquillo (manga) y como cobertura en la superficie libre de las mazarotas abiertas.

La selección de los materiales auxiliares se basa en las dimensiones o módulo de solidificación de las mazarotas [6]. En mazarotas hasta 100 mm de diámetro, se utilizan materiales altamente exotérmicos, ya que la reacción es de corta duración y se ajusta a una mazarota de corto tiempo de solidificación. En mazarotas de 100 hasta 200 mm de diámetro se utilizan materiales de comportamiento exotérmico y termoaislante. En mazarotas de 200 mm de diámetro en adelante, ligeramente exotérmico y altamente termoaislante.

Los casquillos y polvos de cobertura exotérmicos por lo general tienen en su composición un material oxidante y un material oxidable que garantizan la reacción. En muchos casos estos productos incluyen otros materiales, generalmente refractarios, que actúan como reguladores de la intensidad y el tiempo de la reacción y que después de concluida la misma le confieren propiedades termoaislantes al producto resultante. Dentro de los componentes de las mezclas exotérmicas más empleados se encuentran la escoria de aluminio, el polvo de aluminio, óxido de hierro, microsferas huecas de silicato de alumina, y materiales refractarios [7].

Los casquillos termoaislantes pueden estar compuestos por mezclas que incluyen en su composición fibra refractaria, carburos de silicio granulados, microsferas huecas de silicato de alumina, sílice, y otros materiales refractarios de baja densidad y elevada porosidad [8, 9]. Tanto los casquillos exotérmicos como termoaislantes se preparan mezclando sus componentes con un aglutinante orgánico o inorgánico, dándoles la forma final en un molde y endureciéndolos con un catalizador de curado (CO_2 por ejemplo) [10]. El diseño óptimo y fiable de mazarotas exotérmicas y termoaislantes obedece al conocimiento y aplicación durante el mismo de parámetros tecnológicos. Dichos parámetros son el por ciento de volumen de entrega de metal líquido que garantiza la mazarota; el módulo térmico efectivo; y el valor ASAF (*Apparent Surface Alteration Factors*) del material auxiliar en cuestión [5]. El conocimiento del valor ASAF que brinda el fabricante o proveedor del material a utilizar, es un dato de gran valor cuando se trata de aplicarlo a mazarotas cilíndricas cuyas dimensiones y parámetros tecnológicos no están tabulados. El ASAF de la combinación casquillo-cobertura es un valor que está entre 0 y 1, y expresa matemáticamente la magnitud de la disminución de la superficie de transferencia de calor en la mazarota por el efecto del material auxiliar. Mientras más pequeño sea el valor de este factor, menor es la superficie de transferencia de calor de la mazarota porque mayor es el efecto termoaislante o de calentamiento del material auxiliar en cuestión sobre la superficie. El módulo geométrico de solidificación de una pieza a fundir, es la razón del volumen que ocupa entre la superficie que

transfiere calor durante la solidificación. $M = \frac{V}{S}$ En una mazarota cilíndrica termoaislada o calentada, el

módulo térmico efectivo es $M = \frac{V}{S \times \text{ASAF}}$. Esto ilustra la importancia tecnológica del conocimiento de este factor, que permite optimizar el cálculo matemático del módulo térmico de la mazarota con el material auxiliar en cuestión.

El espesor de la capa de polvo de cobertura en la superficie superior expuesta de la mazarota cilíndrica suele determinarse por un por ciento del diámetro de la misma, teniendo caracterizado el producto en cuestión. Así por ejemplo con un polvo de buena calidad, estandarizado, el espesor de la capa de cobertura debe ser igual al menos al 10 % del diámetro de la mazarota, con el cual se garantiza un ASAF de alrededor de 0,85 en todos los casos. Con el Ferrux® 746 se logra un ASAF de 0,7 aplicando una capa equivalente al 4 % del diámetro de la mazarota. El ASAF del polvo de cobertura es extremadamente sensible al espesor de capa de material aplicado. Por ejemplo, incrementando al doble el espesor de la capa de cobertura el ASAF disminuye en un 40 % o más. Es por esta razón que la recomendación que indica que el espesor de la capa sea igual, al menos, a una décima parte del diámetro de la mazarota, debe ser rigurosamente cumplida [5].

La baja densidad de la cáscara de arroz, su elevada porosidad y conductividad térmica [11, 12], así como la densidad y las propiedades termoaislantes de su ceniza [12-17], favorecen su utilización como material auxiliar en la fundición de piezas de acero. Después de la combustión su ceniza mantiene la forma y su naturaleza porosa [18, 19]. En la producción se observa, en muchos casos, que el potencial de entrega de las mazarotas termoaisladas con este material no se aprovecha óptimamente. Debido a esto se decidió investigar los parámetros tecnológicos que sirven de base para caracterizar térmica y volumétricamente estas mazarotas y poder reducir adecuadamente su tamaño sin poner en riesgo la sanidad de la pieza. La influencia del espesor de pared de los casquillos y de la capa de cobertura no se ha evaluado en trabajos anteriores, constituyendo esto el objetivo central del trabajo. Otros aspectos valorados en el trabajo fueron la posible influencia del material estudiado sobre la composición elemental del acero y la densidad de los casquillos utilizados, cuyo valor es uno de los parámetros que más influye sobre sus características termoaislantes.

Materiales y Métodos

En la fase experimental se utilizaron seis combinaciones de las variables espesor de pared del casquillo y capa de cobertura. Los valores del espesor de capa de cobertura (45; 65 y 85mm) representan un 22,5; 32,5 y 42,5 % del diámetro de la probeta-mazarota ensayada.

Para confeccionar casquillos con una adecuada resistencia mecánica se fragmentó la cáscara de arroz en un molino de martillo artesanal, hasta obtener una composición granulométrica, caracterizada porque hasta el 80 % de su masa quedaba retenida en tres tamices (de 0,4; 0,63 y 1 mm). Posteriormente, el producto de la trituración se mezcló con agua durante 10 minutos en una mezcladora vertical de 4 kw de potencia. Luego se le adicionó silicato de sodio metalúrgico como aglutinante, con un módulo entre 2 y 2,3, y se dejó mezclar durante 1 o 2 minutos más. Después de preparada la mezcla, se moldearon los casquillos y se endurecieron soplándolos con CO₂. Posteriormente, para eliminarles la humedad residual del proceso de preparación de la mezcla, fueron tratados en una estufa eléctrica, empleando una temperatura entre 100 y 120 °C y una exposición de 2 h. Al concluir el proceso de secado, los casquillos se conservaron en un almacén especial a una temperatura entre 50 y 60 °C.

Para evaluar el efecto termoaislante de la cáscara de arroz (en forma de casquillos y de cobertura) se utilizó el método de vertido del líquido residual. El mismo consiste en colocar en un molde giratorio los casquillos (de 200 mm de diámetro interior), unidos a un sistema de alimentación que garantiza su llenado simultáneo desde abajo (sifón). Inmediatamente después de verter el acero, se colocó sobre cada probeta un aro con la altura planificada de la capa de cobertura (Figura 1).



Fig. 1. Casquillos utilizados en el ensayo (izquierda), aros vacíos para colocar la capa de cobertura (al centro) y aros llenos con cáscara de arroz para servir como cobertura (derecha).

Se esperó 15 minutos y se procedió a voltear el molde para verter el acero que permanecía líquido.

Al concluir el enfriamiento de las probetas se midió el volumen de su cavidad y de su espesor promedio de pared solidificado. El valor del módulo térmico efectivo se determinó a partir de los espesores promedio solidificados. El por ciento del volumen de entrega de metal líquido se obtuvo relacionando el volumen de la cavidad obtenida en las probetas-mazarotas y el volumen total de las probetas. El ASAF de la combinación casquillo-cobertura se determinó mediante la razón del módulo geométrico de la probeta-mazarota y el módulo térmico efectivo calculado.

Con el objetivo de evaluar la posible influencia de la cáscara de arroz sobre la composición elemental del acero, se realizaron ensayos en tres zonas (empleado el método espectral) a una muestra extraída de la probeta-mazarota fundida con el casquillo de 47 mm de espesor de pared y un espesor de cobertura de 65 mm. Las muestras empleadas en los ensayos se tomaron de la cara exterior de la probeta que se encontraba en contacto con la pared del casquillo y se elaboraron de forma rectangular con una longitud igual a la altura de la probeta-mazarota. Los ensayos se realizaron en los extremos y en el centro de dicha muestra.

Resultados y Discusión

Densidad final de los casquillos

La densidad promedio en los casquillos osciló, en función de su espesor de pared, entre $0,56 \text{ g/cm}^3$ y $0,64 \text{ g/cm}^3$. La variación este parámetro se debe a que los casquillos son confeccionados manualmente, ello incide en que varíe su compactación. Los valores de la densidad obtenidos se encuentran en el entorno de los presentados por algunos de los productos termoaislantes empleados internacionalmente en los procesos de fundición de piezas de acero [21].

Efecto sobre el volumen de entrega y el módulo

Las probetas-mazarotas mostraron una tendencia a aumentar el volumen de entrega de acero con el incremento de los niveles de las variables espesor de pared del casquillo y altura o espesor de cobertura (Figura 2). Los mayores niveles de acero entregado se alcanzaron al utilizar espesores de 70 mm y alturas del polvo de cobertura de 85 mm.

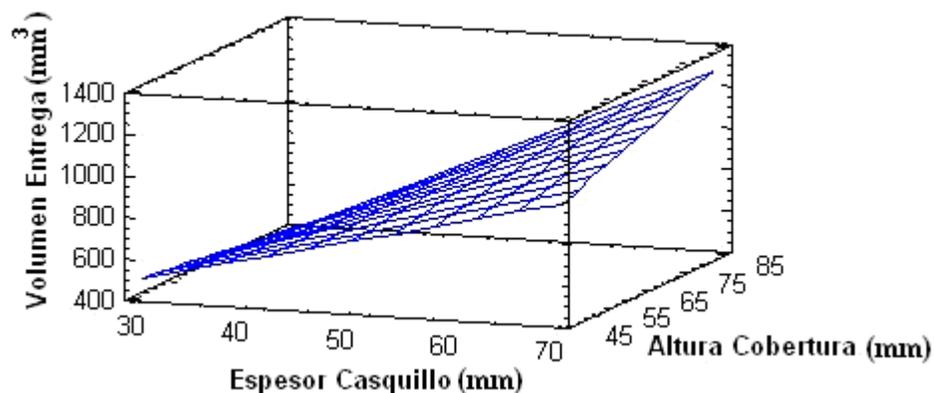


Fig. 2. Influencia del espesor de los casquillos y de la altura de la cobertura sobre el volumen de acero AISI 1045 entregado. Tiempo de solidificación: 15 minutos

Los valores de los parámetros tecnológicos fueron calculados a partir del volumen de la cavidad y del espesor promedio solidificado, con un tiempo de permanencia del acero en la probeta-mazarota de 15 minutos (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros tecnológicos calculados a partir de los resultados

Corrida	Espesor de pared del casquillo (mm)	Altura de cobertura (mm)	% de volumen de entrega	Módulo (cm)	ASAF
1	30	45	8,83	7,68	0,43
2	47	65	14,20	7,64	0,44
3	65	85	14,47	7,81	0,43
4	65	45	12,00	6,88	0,48
5	65	65	9,60	7,09	0,47
6	47	65	7,60	7,98	0,42
7	30	85	7,40	7,70	0,43

Los valores calculados del ASAF (Tabla 1) expresan el efecto de las combinaciones de espesor de pared del casquillo y cobertura estudiados. Los valores obtenidos, en todos los casos resultaron inferiores a 0,7, menor valor del ASAF reportado en la bibliografía para materiales especializados en este tipo de servicio. Dichos valores del ASAF demuestran el efecto termoaislante de la cáscara de arroz en las condiciones experimentales investigadas. Además, el incremento del espesor de cobertura pudiera aumentar los niveles de acero entregado, pues en ningún caso se utilizó una dimensión equivalente al 50 % del diámetro de la probeta-mazarota.

Los valores del módulo calculado también reflejan la importancia del efecto del material estudiado. El valor más pequeño del módulo térmico obtenido para 15 minutos de permanencia, fue de 6,88 cm, mientras que el mayor fue de 7,98 cm (Tabla 1). Al compararlo con el módulo geométrico de la probeta (3,33 cm), se aprecia un aumento de más del 200 %. Este resultado corrobora el significativo efecto termoaislante de la cáscara de arroz al ser utilizada como polvo de cobertura y en forma casquillos termoaislantes.

En cuanto al por ciento de volumen de entrega, los resultados fueron contradictorios, ya que se obtuvieron valores inferiores a 14 % (exceptuando dos corridas experimentales), magnitud reportada para mazarotas en arena y sin cobertura. Entre otros factores, incidió sobre este resultado el hecho de que el fondo de la probeta-mazarota no se encontraba en contacto con el material termoaislante estudiado. En la caja donde se fundieron las probetas, los casquillos se colocaron sobre un macho de arena sílice que tapa el canal principal del sistema de alimentación y contiene un agujero por donde entra el acero a su cavidad. Cuando el acero líquido hace contacto con este material pierde más calor que en las zonas del casquillo y la cobertura, formándose un frente de solidificación que asciende (actúa como un enfriador). En el corte longitudinal de las probetas-mazarota (Figura 3) se observó una capa solidificada en el fondo, con un espesor aproximadamente tres veces mayor que el presentado por las paredes de la probeta mazarota y un engrosamiento de la pared lateral a partir de dicha capa. Este fenómeno repercute en la disminución de la cavidad obtenida al vaciar el acero líquido, parámetro utilizado para determinar el volumen de entrega. También, probablemente influyeron sobre el volumen de entrega imprecisiones en la medición de la temperatura de vertido.



Fig. 3. Sección longitudinal de una probeta-mazarota. Tiempo de solidificación = 15 minutos, espesor de pared del casquillo = 47 mm y espesor de cobertura = 65 mm

Influencia sobre la composición elemental del acero

Para determinar la influencia de los casquillos y de la cobertura de cáscara de arroz sobre la composición elemental del acero (desoxidada con aluminio), se comparó la muestra procedente del horno con el acero de la probeta-mazarota. Las muestras de la probeta-mazarota se tomaron del extremo superior (en contacto con el casquillo y con el polvo de cobertura), en la zona central y en el extremo inferior (en contacto con el casquillo y con el macho). Los resultados indican que la utilización de la cáscara de arroz en forma de casquillos termoaislantes y de polvo de cobertura no influye significativamente sobre la composición elemental del acero al carbono AISI 1045 (tablas 2 y 3).

Tabla 2. Composición elemental del acero procedente del horno

Elemento (%)																
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	Pb	Sn	Zn	Fe	
0,422	0,31	0,51	0,024	0,014	0,12	0,04	0,13	>1,8	0,29	0,008	0,0	0,002	0,009	0,01	96,31	

Tabla 3. Composición elemental del acero procedente de las tres zonas de la probeta-mazarota

Zona	Elemento (%)															
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	Pb	Sn	Zn	Fe
I*	0,472	0,35	0,51	0,024	0,013	0,13	0,05	0,13	0,040	0,29	0,008	0,0	0,002	0,014	0,013	<97,95
II**	0,444	0,34	0,51	0,024	0,014	0,13	0,05	0,13	0,032	0,29	0,008	0,0	0,002	0,015	0,013	<98,00
III***	0,454	0,35	0,51	0,024	0,014	0,13	0,05	0,13	0,036	0,30	0,008	0,0	0,002	0,015	0,015	<97,97

* Extremo superior, ** Zona central, *** Extremo inferior

Otro aspecto a destacar es que los contenidos de carbono y de silicio del acero perteneciente a la probeta – mazarota no variaron significativamente en comparación con el acero proveniente del horno (Figura 4, Tablas 2 y 3). Dichos elementos son los que potencialmente pueden alterar la composición del acero estudiado producto de su difusión desde el casquillo y de la cobertura. No obstante, se produjeron ligeros incrementos como promedio en el contenido de ambos, aunque se encuentran dentro de los límites establecidos para el acero estudiado. Además, los contenidos de fósforo y de azufre no se elevaron (Tabla 3), aspecto positivo, pues ambas impurezas pueden afectar las propiedades del acero y generar defectos en las piezas fundidas.

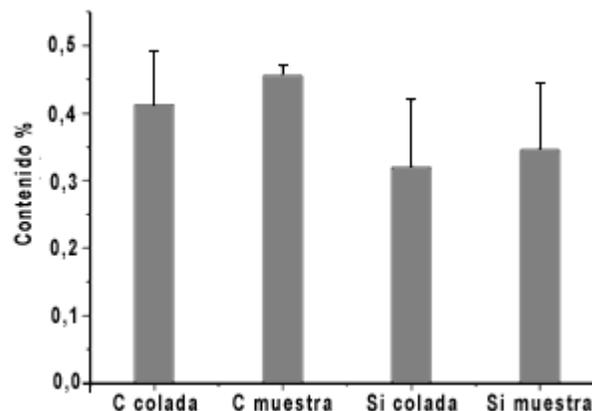


Fig. 4. Contenidos de carbono y de silicio en la muestra. C colada y Si colada representan los contenidos de carbono y de silicio en la muestra procedente del horno al final de colada. C muestra y Si muestra representan los contenidos de carbono y de silicio en la probeta-mazarota.

Los resultados de los ensayos, también demostraron que no existen diferencias significativas en la composición elemental de las diferentes zonas de la probeta mazarota (tabla 3). Al no existir heterogeneidad en la composición elemental del acero, ello debe redundar en la obtención de piezas con propiedades mecánicas homogéneas y evitar el surgimiento de grietas generadas por la segregación de carbono.

Conclusiones

En el trabajo se corroboró la factibilidad de emplear la cáscara de arroz como material auxiliar de alimentación en forma de casquillos termoaislantes y de polvo de cobertura en la fundición de piezas de acero al carbono. Se evidenció que el aumento del espesor de los casquillos y de la altura de la cobertura redundó en una tendencia al incremento de la cantidad de acero líquido entregado por las mazarotas. Por otra parte los valores del ASAF corroboraron las propiedades termoaislantes de la ceniza de la cáscara de arroz. Además, se demostró que el empleo de la cáscara de arroz en forma de casquillos y de polvo de cobertura no afecta la composición elemental del acero al carbono AISI 1045.

Los parámetros tecnológicos calculados a partir de los resultados de este estudio pueden ser utilizados para el cálculo de mazarotas de acero termoaisladas con cáscara de arroz. Dichos parámetros se podrán utilizar y corregir mediante un software de simulación o a partir de los resultados prácticos que se obtengan en la producción o en investigaciones futuras.

Referencias

1. Stubbles, J. *Energy Use in the U.S. Steel Industry: An Historical Perspective And Future Opportunities 2000* [Consultado el: 22 de noviembre de 2011].
Disponible en: <http://www.greenbiz.com/sites/default/files/document/O16F21874.pdf>
2. Wlodawer, R. *Directional Solidification of Steel Castings*. Oxford: Pergamon Press, 1966. 242 p. ISBN 008010536X.
3. Le Breton, H. *Defectos de las piezas de fundición*. Tomo I. Bilbao: Urmo. 1965. 279 p. ISBN 8431400609.
4. Ignaszak, Z. y Popielarski, P. "Problems of heat source modelling in iso-exothermic materials used as riser sleeves in foundry". *Materials Science Forum*. 2006, vol. 514 – 516, p. 1438 – 1442. ISSN 1068-820X
5. Ruddle, R. *Risening of steel castings*. Cleveland: Foseco, Inc., 1979.
6. Blair, M. y Monroe, R. "Insulating or Exothermic? Steel Casters State Their Cases". *Modern Casting*. 2011, vol. 101, nº. 5, p. 39-42.
7. Twardowska, H. y Aufderheide, R. *Exothermic sleeve composition containing aluminum dross*. United States Patent. 6,360,808. March 26, 2002.
8. Twardowska, H. y Aufderheide, R. *Insulating Sleeve compositions containing fine silica and their use*. United States Patent. 6,335,387. January 1, 2002.
9. Auderheide, R., Twardowska, H. y Showman, R. *Insulating sleeve composition and their uses*. United States Patent. 5,983,984. November 16, 1999.
10. Menon, P. R. *Sleeve, their preparation, and use*. United States Patent. 6,133,340. October 17, 2000.
11. International Rice Research Institute. *Rice Husk*. 2009 [Consultado el: 5 de noviembre de 2011].
Disponible en Web:
<http://www.knowledgebank.irri.org/rkb/index.php/rice-milling/byproducts-and-their-utilization/rice-husk>.
12. International Rice Research Institute. *Rice Husk and Rice Straw*. 2009 [Consultado el: de 5 de noviembre de 2011] Disponible en: <http://www.knowledgebank.irri.org/rkb/index.php/rice-milling/contributions-and-references-milling/further-information-byproducts/husk-and-straw-properties>.
13. Ahmed, Y. M. Z., Ewais, E. M. y Zaki, Z. I. "Production of porous silica by the combustion of rice husk ash for tundish lining". *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*. 2008, vol.15, p. 307-313.
14. Rukzon, S., Chindaprasirt, P. y Mahachai, R. "Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash". *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2009, vol. 16, nº. 2, p. 242-247.
Disponible en:
<http://repository.rmutp.ac.th/bitstream/123456789/343/1/Effect%20of%20grinding%20on%20chemical%20and%20physical%20properties%20of%20rice%20husk%20ash.pdf>
15. Bondioli, F., Barbieri, L., Ferrari, A. *et al.* "Characterization of Rice Husk Ash and Its Recycling as Quartz Substitute for the Production of Ceramic Glazes". *Journal of the American Ceramic Society*. 2009, vol. 93, nº. 1, p. 121–126. ISSN 0002-7820

16. Haslinawati, M.M. *et al.* "Effect of Temperature on Ceramic from Rice Husk Ash". *International Journal of Basic & Applied Sciences*. 2009, vol. 9 n^o. 9, p. 111-117.
Disponible en: <http://www.ijens.org/1924091%20JBAS.pdf>
17. Jian-feng, S., Shu-guang, Z., Xin-zhi, L. *et al.* "Experimental study on bulk density of different sizes of rice husk particles". *Renewable Energy Resources*. 2008. [Consultado el: 28 de noviembre 2011].
Disponible en: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NCNY200805018.htm
18. Smirnov, A. N., Podkorytov, A. L. y Yepishev, M. V. "Efficiency of Heat Loss Reduction in the Intermediate Ladle". *Metallurgical and Mining Industry*. 2010, vol. 2, n^o. 4, p. 308–313. Disponible en:
<http://www.metalljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/Smirnov308.pdf>
19. Tzong-Horng, L. "Evolution of chemistry and morphology during the carbonization and combustion of rice husk". *Carbon*. 2004, vol. 42, n^o. 4, p. 785-794.
20. AMI Feeding System Products. *AMI Refractory Spare Parts for Foundry Industries/Feeding System Products*. 2009 [Consultado el: de 29 de noviembre de 2011]
Disponible en:
<http://www.amic.biz/Data%20Brochure/AMI%20Feeding%20System%20Products%20%28Sleeve,Breaker%20Core%29.pdf>