****

**V SIMPOSIO DE MATERIALES.**

**TITULO:  *FACTIBILIDAD DE APLICAR LA CÁSCARA DE ARROZ* COMO *MATERIAL TERMOAISLANTE EN LA FUNDICIÓN DE PIEZAS DE ACERO.***

***TITLE: FEASIBILITY TO APPLY RICE HUSK AS AN INSULATING MATERIAL ON STEEL CASTING PARTS.***

 **AUTORES:** Msc. Ing. JUAN CARLOS CRUZ PÉREZ**1**. PLANTA MECÁNICA.

 SANTA CLARA. VILLA CLARA. CUBA

 E-mail: juanccruz@plantamec.co.cu

 Dr. Ing. JESÚS EDUARDO GONZÁLEZ RUIZ**2**. BIOMAT. U.H.

 CIUDAD DE LA HABANA. CUBA.

 E-mail: jesus.gonzalez@biomat.uh.cu

 Dr. Ing. LORENZO PERDOMO GONZÁLEZ**2**. C.I.S. UCLV.

 SANTA CLARA. VILLA CLARA. CUBA.

 E-mail: lperdomo@uclv.edu.cu

**INDICE.**

 Página.

# Resumen……………………………………………………….3

# Introducción……………………………………………………5

# Metodología……………………………………………………8

Resultados y discusión …………………………………………………14

# Conclusiones ……………….……………………………………..21

# Referencias Bibliográficas……….………………………………22

**RESUMEN.**

* **Problemática.** Los materiales auxiliares de alimentación desempeñan un papel muy importante en el aumento de la eficiencia metálica del proceso de fundición de piezas de acero al carbono. Las propiedades exotérmicas o termoaislantes de algunos materiales inorgánicos determinan su utilidad y eficacia para aumentar la eficiencia de alimentación de las mazarotas o alimentadores en este proceso, predominando su aplicación en todo el mundo.
* **Objetivo.** El presente trabajo tiene como objetivo abordar la factibilidad de la aplicación de la cáscara de arroz como alternativa de material termoaislante, por su comportamiento similar al de los comercializados en el mundo para el proceso de fundición de piezas de acero, y su impacto en la sustitución de importaciones de materiales para este tipo de servicio en Cuba.
* **Metodología.** Se analiza la influencia de este material orgánico en forma de casquillo, manga o camisa; y como cobertura sobre las mazarotas o alimentadores, en el comportamiento de parámetros tecnológicos propios de esta aplicación con respecto a los de materiales comercializados internacionalmente.
* **Resultados y discusión.** Se exponen resultados de la aplicación de este desecho agrícola en la fundición de piezas de acero, similares a los que se obtienen con materiales de diferentes firmas comerciales. Los resultados experimentales obtenidos muestran el potencial de la cáscara de arroz, como material termoaislante, para garantizar el mejoramiento de la eficiencia metálica del proceso de función de piezas de acero al prolongar el tiempo de solidificación de las mazarotas o alimentadores.
* **Conclusiones.** La principal conclusión derivada de los resultados que se exponen es que constituye una alternativa viable, ecológica y económica de material auxiliar de alimentación en el proceso de fundición de piezas de acero al carbono en nuestro país.

**PALABRAS CLAVE.** Casquillo termoaislante, polvo de cobertura, cáscara de arroz, acero fundido, auxiliares de alimentación, mazarotas.

***ABSTRACT.***

* **Problematic.** Feeding aids materials play a very important role in increase the metallic efficiency of carbon steel casting parts process. The exothermic or insulating properties of some inorganic materials determine their usefulness and effectiveness increase the feeding efficiency of risers or feeders in this process, its application prevailing throughout the world.
* **Objective.** The present paper has as objective to approach the feasibility of the rice husk application as an alternative of insulating material, due to its similar result to the auxiliary material used in the steel casting parts process, and its impact in the substitution of import materials for this type of service in Cuba.
* **Methodology.** The influence of this organic material in sleeve form is analyzed, and as hot topping or coverage over the risers or feeders, in the behavior of technological parameters of this application with respect to those of materials marketed internationally.
* **Results and Discussion.** The results of this agricultural waste application in the steel casting parts, similar to those obtained with materials from different commercial firms, are exposed. The experimental results obtained shown the potential of rice husk, as an insulating material, to guarantee the improving of the metallic efficiency of the steel casting parts process by increase the solidification time of the risers or feeders.
* **Conclusions.** The main conclusion derived from the exposed results are that it constitutes a viable, ecological and economic alternative of feeding aid in the carbon steel casting parts process in our country.

***KEYWORDS.*** insulating sleeve, hot topping, rice husk, steel casting, feeding aids, riser.

**1. Introducción.**

La fundición desempeña un rol importante en el desarrollo industrial de cualquier economía, por su importancia en la producción de máquinas y piezas de repuesto. Su gran fortaleza consiste en ser el método de producción de piezas de forma compleja más utilizado, pudiendo obtenerse un amplio grupo de piezas en cuanto a variedad de forma y peso. Por otro lado, Ortiz-Prado et al (2018) plantea que, por sus características, esta industria representa una importante fuente de contaminantes, ya que es un sector industrial con un elevado consumo de energía. Esto se traduce en un gran consumo de materias primas y combustibles que genera una importante huella de carbono. Sin embargo, representa también la oportunidad del reciclado de materias primas, reduciendo así la depredación indiscriminada de estos recursos no renovables.

Por esta razón, la eficiente gestión productiva de la fundición de acero, resulta compleja, de modo que maximizar su eficiencia es el modo fundamental de hacerla medioambiental y económicamente sustentable. Un factor muy importante en este propósito es disminuir al máximo el acero necesario para obtener piezas sanas (Breton., 1965) y (Wlodawer, 1966), ya que este aspecto materializa en sí mismo la posibilidad de aumentar la eficiencia de esta industria, por su favorable repercusión en el ahorro de estos recursos. Este aspecto constituyó una cuestión de supervivencia ante el surgimiento de procesos tecnológicos como el laminado, la forja, el maquinado, la soldadura eléctrica, la conformación de metales y la pailería. Los fundidores, a través de la investigación y aplicación de la ciencia desarrollaron métodos y concepciones tecnológicas, así como herramientas de cálculo y análisis más avanzadas que permitieron desarrollar una capacidad de respuesta eficiente y competitiva, posibilitando que el proceso de fundición de piezas de acero conserve un lugar destacado en el mercado de la industria manufacturera moderna.

Los defectos de alimentación en las piezas de acero son causados por la disminución de volumen que experimenta el acero durante la solidificación, Ruddle (1979). Los alimentadores o mazarotas en arena, llamados también convencionales, pueden entregar a la pieza solo el 14 % de su volumen total. Para mejorar la eficiencia del proceso de fundición, se llegó a la aplicación en los moldes de medios auxiliares de alimentación, según Wlodawer (1966), y Bernal-Lima (**nd**). Según Ruddle (1979) y Miller (1977), la aplicación de materiales exotérmicos e isotérmicos o termoaislantes en forma de machos casquillos o mangas e las mazarotas o alimentadores, retardan su enfriamiento y solidificación, contribuyendo a dirigir el proceso de solidificación hacia éstas y a aumentar el volumen de metal líquido que pueden entregar a la pieza durante la solidificación, lo cual permite reducir su tamaño. Mediante este principio se logra ahorrar acero fundido en la producción de piezas para la industria, obteniéndolas con elevada sanidad y calidad. Al Shafe, A y Azadur Rahman, A. H. M. (2015) plantean que los machos en forma de mangas o casquillos para mazarotas son una herramienta bien establecida en todo el mundo para minimizar los costos asociados a la fundición y se estima que alrededor del 80 % de todas las piezas fundidas de acero en el mundo se producen utilizando estos materiales. Los costos de importación de materiales exotérmicos e isotérmicos para este servicio son elevados, debido a esto representaría un aumento del componente en divisas convertibles para la producción de piezas fundidas de acero importar estos materiales consumibles.

Como consecuencia de esta situación en la fundición de piezas de acero de la empresa Planta Mecánica, no se utilizaban auxiliares de alimentación para direccionar la solidificación hacia las mazarotas de acero. Para dar solución a estas dificultades los especialistas del Departamento Técnico de la fundición de esta empresa comenzaron a buscar alternativas para resolverlas y en el año 1975 publicaron los resultados de un estudio realizado con la cáscara de arroz como material termoaislante, con el objetivo de introducir su aplicación en la producción. En este trabajo se tomó como base un estudio realizado por Gerstman (1955), en Canadá en el año 1955 con la cáscara de arroz y de avena, y se realizó el estudio del comportamiento de la cáscara de arroz como material de cobertura y su influencia en el aumento del rendimiento de las mazarotas de acero. Por los satisfactorios resultados de este estudio, se estableció la aplicación de la cáscara de arroz como cobertura sobre las mazarotas de acero.

A finales de los años 1980, el grupo de mezclas de moldeo del Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Fundición C.I.D.F creado en Planta Mecánica, se dio a la tarea de investigar en la búsqueda de alternativas de medios auxiliares a través del estudio de diferentes materiales de procedencia nacional, entre los que se encontraba la cáscara de arroz que manifestó propiedades adecuadas para su aplicación en la pared lateral de las mazarotas cilíndricas en forma de macho manga o camisa termo aislante. Los resultados obtenidos en los ensayos con mazarotas más pequeñas asistidas con el macho casquillo y la cobertura de cáscara de arroz fueron similares, en cuanto a volumen de acero entregado, a los obtenidos con los casquillos fabricados por Foseco y otras firmas comerciales internacionales. En 1990 comenzó a aplicarse de forma gradual en la producción y cuatro años más tarde se generalizó, llegando a utilizarse en más del 95% de la producción de piezas fundidas de acero de Planta Mecánica, según Rodríguez Gonzáles et al. (2003).

La aplicación de la cáscara de arroz como material termoaislante en la fundición de piezas de acero, permite dirigir la solidificación hacia las mazarotas y aumentar su eficiencia de alimentación a un 60 % como promedio, disminuyendo sus tamaños. Esto permite lograr un significativo ahorro anual de acero fundido, energía eléctrica, otros portadores energéticos y materia prima. Permite también garantizar la sanidad, al evitar defectos de alimentación en las piezas, con lo que aumenta la calidad final de la producción.

En Planta Mecánica se cuenta con una experiencia de más de dos décadas en su aplicación, la cual ha servido para evaluar de forma práctica su positiva influencia sobre todos los aspectos del proceso de fundición. La aplicación de este desecho agrícola constituye en la actualidad una forma de implementar la producción más limpia y el desarrollo sostenible del proceso de fundición, así como un significativo aporte a la sustitución de importaciones para la economía del país.

Actualmente no se está utilizando la cáscara de arroz en las mazarotas de acero en la fundición de Planta Mecánica, Esto trae como consecuencia una eficiencia metálica entre un 35 a 45 % como promedio, según Suárez Lisca (2017).

El presente trabajo tiene como objetivo exponer la positiva incidencia de la aplicación de la cáscara de arroz como material termoaislante en la fundición de piezas de acero, en la economía del proceso, del país, y para el medio ambiente, así como forma de producción más limpia para el desarrollo sostenible en esta industria.

**2. Metodología.**

Para aumentar la eficiencia metálica del proceso de función de piezas de acero se aplican materiales auxiliares como los exotérmicos. Los machos para mazarotas o casquillos y polvos de cobertura exotérmicos que se emplean en la fundición de piezas de acero se basan en el principio de la termita o aluminotermia. Los componentes típicamente utilizados en las mezclas de los auxiliares exotérmicos son aluminio en forma de virutas, pequeñas granallas o en polvo muy fino como agente oxidable; óxido de hierro en polvo muy fino u otro agente oxidante como elementos reaccionantes y relleno a base de materiales refractarios sobre todo alúmina, silicatos de aluminio tanto en forma de granallas como fibras o micro esferas huecas, fluoruros, etcétera. El tipo y la cantidad de estos componentes en la mezcla depende del comportamiento que se busque en el macho casquillo o la cobertura en función del tiempo de reacción para prolongar el enfriamiento y solidificación de las mazarotas, Aufderheide, et al (1999).

Con el mismo objetivo se aplican los machos casquillos de materiales que producen un efecto de aislamiento térmico, más conocidos en el ámbito de la fundición como termo aislantes o isotérmicos. El principio en el cual se sustenta el empleo de los materiales termo aislantes en la fundición se basa en aprovechar su baja conductividad térmica (menor que la del material del molde) para producir el efecto de aislamiento térmico de las mazarotas, Miller, W.C. (1977). De esta forma se retiene durante más tiempo el calor que trae el acero al llenar la mazarota, para retardar su enfriamiento y solidificación, buscando mantener la mayor parte posible de su volumen en estado líquido. La baja conductividad térmica de los materiales termoaislantes se debe a su baja densidad, elevada porosidad y refractariedad. Los auxiliares termoaislantes contienen diversos componentes según el fabricante o la marca, tales como fibra refractaria a base de silicato de alúmina o asbesto, micro esferas huecas de silicato de alúmina, carburos de silicio granulado, aglutinantes orgánicos e inorgánicos, rellenos refractarios que pueden ser magnesita, chamota y otros. La utilización de materiales aislantes en el aislamiento térmico de las mazarotas y otras partes de piezas fundidas de acero al carbono, amplió su campo de aplicación, representando un gran avance para la elevación de la eficiencia metálica de la tecnología de fundición, Curbelo Pérez, P. A. y Pérez Muñoz, H. (1990).

En la bibliografía especializada se define manga, camisa o casquillo como producto moldeable que tiene propiedades exotérmicas o termo aislantes hecho de una mezcla que cubre todo o alguna parte de algún componente del ensamble de fundición, formando parte del mismo, tales como las mazarotas o alguna zona de la pieza, Aufderheide, et al (1999).

Existen firmas que comercializan el material exotérmico parcialmente procesado, en polvo y el aglutinante separados, para que el cliente lo utilice de acuerdo a sus necesidades, o sea lo utilice como polvo de cobertura o prepare los casquillos de acuerdo a sus propias especificaciones, Foseco (1966). Los procesos de preparación de los machos casquillos son similares a los que se utilizan en la preparación de machos o noyos para lograr cavidades o partes complejas de las piezas de fundición. Este método consiste en compactar o empacar la mezcla del casquillo (los componentes y el aglutinante) en un molde o plantilla de madera, plástico o metal (caja de machos) manualmente o con una prensa, Al Shafe, A y Azadur Rahman, A. H. M. (2015).

El criterio de selección de los machos casquillos está en función del módulo o tiempo de solidificación de las mazarotas. En mazarotas de 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, Cruz Pérez (2012). También se seleccionan de acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante, estos datos se refieren al módulo geométrico de la pieza o zona de esta donde se va a colocar la mazarota, el volumen de metal que contiene el macho casquillo, su peso, el módulo efectivo de la mazarota como resultado del efecto del macho casquillo, etcétera, Ruddle (1979).

En la fundición de Planta Mecánica, desde una fecha muy cercana a su puesta en marcha surgió la necesidad de buscar alternativas de materiales exotérmicos y termoaislantes. Al principio se utilizaba como cobertura, sobre la superficie del acero en la cuchara de vertido, un granulado exotérmico importado desde Polonia con el objetivo de reducir las pérdidas de calor del acero durante el proceso de llenado de los moldes. Esto permite aumentar el tiempo disponible para realizar el llenado de cada molde con el sobrecalentamiento adecuado del acero. Ante la escases de este granulado exotérmico comenzó a utilizarse la cascara de arroz a partir del año 1966. Esta aplicación dio resultados similares a los obtenidos con dicho producto, el cual se dejó de importar.



Figura 1. Cuchara de vertido con la cobertura de cáscara de arroz sobre el acero en viaje hacia los moldes.

 Posteriormente, para aplicar la cáscara de arroz sobre las mazarotas, se realizó en 1972, por el Departamento Técnico de Fundición, un experimento que tuvo como objetivo evaluar el efecto termoaislante de la cáscara de arroz como cobertura en la determinación de la altura mínima de la mazarota para obtener sana una probeta cilíndrica de H=D 90 x 90 mm, con un módulo geométrico calculado de 1.8 cm. En el experimento las variables de entrada fueron la altura de la mazarota y la altura de cobertura, y la variable de salida fue la altura sana en la mazarota medida sobre la línea divisoria pieza-mazarota. La mazarota patrón tenía una altura de 100 mm y un módulo geométrico de 2.23 cm. Las demás mazarotas tenían una altura de 75; 50 y 25 mm con un módulo geométrico de 2.08; 1.83 y 1.34 cm respectivamente, todas de 115 mm de diámetro y cada una asistida con cobertura de cáscara de arroz natural. Los valores de la cobertura fueron 0; 25; 50 y 75 mm. Todas las probetas fundidas con la mazarota de 100 mm de altura resultaron sanas. De las probetas fundidas con la mazarota de 75 mm de altura solo resultó mala la que no tuvo cobertura. De las probetas fundidas con la mazarota de 50 mm de altura, la asistida con 25 mm de cobertura y la que no tuvo cobertura resultaron malas. Las probetas fundidas con la mazarota de 25 mm de altura resultaron malas. Con estos resultados se obtuvieron valores del Factor de Alteración Aparente de la Superficie (ASAF, por sus siglas en inglés), Ruddle (1979), para la cobertura de 0.75; 0.63 y 0.5, lográndose obtener la pieza sana con la mitad de la altura inicial de la mazarota 50 mm, como resultado del efecto termoaislante de la cobertura de la mazarota con cáscara de arroz natural (sin triturar). Se observó en las mazarotas de las probetas sanas, la concentración en su superficie superior, del volumen de la cavidad de contracción o rechupe. Estos resultados fueron publicados por el Departamentos Técnico de Fundición, (1975) y reproducidos para su distribución, como información técnica, para los tecnólogos de la fundición, generalizándose la aplicación de la cáscara de arroz como cobertura termoaislante sobre las mazarotas de acero.

Posteriormente, según Rodríguez Gonzáles et al (2003), ante la necesidad de mejorar la eficiencia metálica en la producción de piezas fundidas de acero el Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Fundición C.I.D.F. comenzó a experimentar la utilización de la cáscara de arroz para confeccionar un macho en formad de casquillo termoaislante para las mazarotas de acero. Como resultado de esta fase experimental, se estableció una tecnología para la confección de los machos casquillos de cáscara de arroz. Según Cruz Pérez (2009), para confeccionar dichos casquillos la cascara de arroz es triturada en un molino de martillos, fig. 2. Luego se mezcla con una porción de agua y silicato de sodio como aglutinante en una mezcladora situada en el taller de machos, fig. 3.



Figura 2. Molino de martillos utilizado en la trituración de cáscara de arroz para la preparación de la mezcla.

Después de preparada, la mezcla pasa al puesto de moldeo donde se confeccionan los machos casquillos de forma manual mediante un molde o caja de machos, fig. 4. En este proceso de moldeo son curados con CO2 y adquieren la consistencia necesaria para su manipulación y movimiento. Posterior a este proceso de moldeo y curado permanecen un tiempo en contacto con el aire y eliminan una parte de la humedad de la mezcla al estar en contacto con el CO2 atmosférico, entonces pasan a una estufa donde se les da un secado a una temperatura de 120°C durante 2 horas para completar la eliminación de dicha humedad. Cuando se termina el estufado pasan al almacén o cuarto caliente donde permanecen protegidos de la humedad a través de resistencias eléctricas o lámparas incandescentes hasta su colocación en el molde, fig. 5.

****

Figura 3. Mezcladora donde se prepara la mezcla de la cáscara de arroz con el silicato de sodio (Cruz Pérez, 2009, p 41)



Figura 4. Molde o caja de machos para confeccionar machos casquillos de cáscara de arroz (Cruz Pérez, 2009, p 42)

Esta tecnología del macho casquillo de cáscara de arroz se estuvo aplicando en la fundición de Plana Mecánica por más de dos décadas, con una mejoría notable en la eficiencia metálica del proceso de producción, de acuerdo a la tabla 6. Durante su aplicación en la producción se observó, en algunos casos, una eficiencia de alimentación en el orden del 70 % del volumen de la mazarota y una eficiencia metálica entre 78 y 80 %, mientras que en otros casos la eficiencia de alimentación de la mazarota era comparable a la mazarota convencional de arena (alrededor de un 14 %), denotando un desaprovechamiento del efecto termoaislante del macho casquillo y la cobertura de cáscara de arroz. Debido a esta situación, Cruz Pérez (2009), realizó un experimento conocido como vertido del líquido residual. El experimento tuvo como objetivo evaluar el potencial termoaislante de esta aplicación de la cáscara de arroz en función del aumento de la eficiencia de alimentación de las mazarotas y de la eficiencia metálica del proceso de producción, así como evaluar parámetros tecnológicos que permitieran calcular y predecir el aprovechamiento de dicho potencial termoaislante en el aumento de la eficiencia metálica de la producción. Dicha evaluación se realizó en base a un juego de 4 probetas cilíndricas, con altura y diámetro de 200 mm y módulo geométrico de 3.33 cm, en un molde giratorio. Las variables de entrada de este experimento fueron el espesor de pared del macho casquillo en tres niveles 30, 47 y 65 mm; la altura de cobertura con cáscara de arroz natural, en tres niveles 45, 65 y 85 mm; así como 20, 15, y 10 minutos de permanencia antes de decantar el molde. Las variables de salida fueron el volumen de la cavidad obtenida en la probeta y el espesor promedio del acero solidificado. Con los resultados obtenidos en este experimento se evaluaron los parámetros tecnológicos que se utilizan en el cálculo de las mazarotas por el método de los módulos y que se muestran en la tabla 1, la cual fue ampliada a partir del trabajo de Cruz Pérez (2009).



Figura 5. Almacén final donde permanecen los casquillos hasta su colocación en el molde de fundición.



Tabla 1. Parámetros tecnológicos evaluados de los resultados del experimento (Cruz Pérez, 2009, p 67)

Se analizó también la posible influencia de la cáscara de arroz en la composición química del acero. Para esto se preparó una probeta que comprendía toda la altura de la zona de contacto del acero con el macho casquillo, de una de las probetas fundidas con 20 minutos de permanencia. Los ensayos se realizaron en los extremos y el centro de dicha probeta para compararlos con los de la muestra final de la colada. En la tabla 2 aparece la composición química de la muestra final archivada en el laboratorio, de la colada en la que se fundió la probeta utilizada para extraer la muestra del análisis químico. En la tabla 3 aparece la composición química promedio de las tres zonas de la probeta preparada para este análisis.



Tabla 2. Composición química de la muestra final archivada de la colada correspondiente a la probeta con 20 minutos de permanencia (Cruz Pérez, 2009, p 64)



Tabla 3. Composición química promedio de las tres zonas de la probeta preparada para el análisis comparativo de la posible influencia química de la cáscara de arroz sobre el acero (Cruz Pérez, 2009, p 64 y 65)

**3. Resultados y discusión**

El procesamiento estadístico de los resultados obtenidos en el experimento, muestra que las variables de entrada no poseen influencia estadísticamente significativa sobre el volumen de entrega. No obstante, es apreciable que sí existen diferencias entre los resultados de algunas combinaciones casquillo-cobertura que reflejan una influencia positiva sobre este parámetro, como muestran las figuras 6 y 7, Cruz Pérez (2009 Y 2012)

Los valores del volumen de entrega de la tabla 1 están, como promedio, por debajo de la entrega de una mazarota convencional de arena (14 %), pero el promedio de los demás parámetros, evaluados para el espesor de casquillo de 30 mm se aplicaron en cálculos para mazarotas, asistidas con estos casquillos, en la producción y dieron valores entre un 55 y 70 % de eficiencia de alimentación de la



Figura 6. Superficie de respuesta obtenida con las variables de entrada sobre el volumen de entrega (Cruz Pérez, 2009, p 62)

mazarota. Esto se explica por las condiciones del



 Fig. 7. Resultados del diseño experimental para el volumen de metal líquido entregado. Tiempo de permanencia en el molde 15 min. A – espesor de casquillo = 30 mm, B – espesor de casquillo = 47,5 mm, C – espesor de casquillo = 65 mm (Cruz Pérez, 2009, p 63)

experimento, que se realizó en un régimen estático (sin entregar acero a una pieza) y con tiempos de permanencia mucho mayores que el tiempo real en el que ocurre el proceso de entrega de acero a una pieza de módulo promedio por la mazarota para obtenerla sana.

Como se puede apreciar en las talas 2 y 3, la composición química obtenida en la muestra extraída de la probeta estudiada resultó similar a la correspondiente a la muestra final de la colada en la que se fundió dicha probeta, correspondiente al acero 45. Este resultado muestra la ausencia de variaciones estadísticamente significativas en los elementos de la composición química en las zonas próximas al casquillo, en las probetas estudiadas, lo que evidencia que el empleo de la cáscara de arroz como material auxiliar no afecta la composición química del acero al carbono.

Un aspecto importante es el bajo costo de aplicación de la tecnología de la cáscara de arroz en la fundición, debido a que en todo el proceso de moldeo y preparación de estos machos casquillos intervienen dos máquinas de bajo consumo eléctrico, el molino de martillos para triturar la cáscara de arroz y la mezcladora para preparar la mezcla del casquillo. La estufa utilizada en el proceso de secado de los machos casquillos no requiere alcanzar el régimen de temperatura requerido para los machos de linaza y de melaza proteica, que es alrededor de 210°C, y no se llega a un consumo eléctrico elevado en esta operación. Por esta razón el proceso de preparación de los machos casquillos de cáscara de arroz en la fundición de Planta mecánica, no requirió de una inversión adicional en equipamiento tecnológico, siendo el molino de martillo el único equipo que fue necesario incorporar al taller de machos.

Otro efecto económico importante que produce el empleo de la cáscara de arroz en forma de machos casquillos, es en el ahorro de madera que propicia al sustituirse las plantillas de mazarotas por una simple caja de machos como la que se muestra en la figura 4. En la tecnología de mazarotas de arena, hay piezas que llevan cuatro o cinco mazarotas, siendo necesario confeccionar una plantilla para cada una. También influye el hecho de que dichas plantillas para mazarota se deterioran en el proceso de moldeo, debido a que para sacarlas del molde hay que darles juego con golpes por su contorno. Al aplicar la tecnología del macho casquillo de cáscara de arroz, desaparece la necesidad de confeccionar estas plantillas y se evitan los gastos de madera, puntillas, cola y otros materiales utilizados en el taller de plantillería para confeccionarlas, así como los gastos asociados a la reparación de las que se deterioran. Con una caja de machos de madera de pino, que no es una madera costosa, se puede elaborar casquillos durante 10 años o más sin necesidad de repararla, según la experiencia de los años de aplicación de la tecnología del macho casquillo de cáscara de arroz en Planta Mecánica. De esta forma el costo de confección de la caja de machos se amortiza con relativa rapidez abaratado también el costo de confección de los casquillos. La siguiente tabla muestra el costo de elaboración de una caja de machos para elaborar casquillos.

Tabla 4. Costo de la caja de machos para elaborar los casquillos de 200×200 (Cruz Pérez, 2009, p 74) Si fuéramos a analizar, el costo de producción para la fundición con la aplicación de casquillos importados, se podría relacionar el precio de venta, los gastos de transporte, el arancel de importación, el almacenamiento, etcétera. La mayor parte de todos estos gastos son en moneda libremente convertible. Resultaría evidente el elevado aumento del componente, en dicha moneda, del costo de producción de las piezas fundidas de acero. A esto se puede agregar, el costo del tiempo que tomaría alcanzar una experiencia productiva satisfactoria con dichos productos, o desarrollar una concepción tecnológica adecuada para una aplicación eficiente y económica de los mismos. Se podría analizar también, además de las ventajas antes mencionadas, el costo promedio de la confección de los machos casquillos de cáscara de arroz, resultando evidente la factibilidad de su aplicación en la fundición de piezas de acero en lugar de importar casquillos para este servicio, dadas las condiciones de nuestra economía. A esto se puede agregar el hecho, de que la tecnología del macho casquillo de cascara de arroz, se generalizó y se estuvo aplicado por más de veinte años en la fundición de Planta Mecánica, con un aumento de la eficiencia del proceso de fundición, incluyendo la mejoría de la calidad final de las piezas. Lo que garantiza conocimiento y experiencia en su elaboración y aplicación al moldeo de las piezas para la industria azucarera y de otras industrias de nuestro país. La siguiente tabla refleja el costo promedio de los machos casquillos de cáscara de arroz, calculado con los precios y las condiciones del año 2009.

Tabla 5. Ficha del costo promedio de la elaboración de los casquillos de cáscara de arroz (Cruz Pérez, 2009, p 73)



Figura 8. Plantillas de mazarotas rotas y deterioradas por los golpes durante la actividad de moldeo.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la notable disminución del tamaño de las mazarotas al aplicar el macho casquillo con respecto a las plantillas para mazarotas de arena. Esto se debe a que los casquillos en combinación con la cobertura de cáscara de arroz, producen un elevado efecto termo aislante que contribuye a crear gradientes de calor en el molde, lo cual permite direccionar la solidificación hacia las mazarotas, que permanecen en estado líquido por más tiempo, y entregan a las piezas un mayor por ciento de su volumen en acero líquido. Esto permite reducir sus tamaños, por lo que la aplicación de los machos casquillos y la cobertura de cáscara de arroz en la producción es muy eficaz para el incremento del rendimiento tecnológico del proceso por el ahorro de acero. Cruz Pérez (2009), reporta en la siguiente tabla, los pesos brutos y la eficiencia metálica de un grupo de piezas fundidas con mazarotas convencionales y con los machos casquillos y la cobertura de cáscara de arroz, pudiendo constatarse el notable ahorro de metal que se logra con este material, e inferir su impacto económico.



Tabla 6. Comparación de la eficiencia metálica lograda con la aplicación de la cáscara de arroz en la fundición de piezas de acero (Cruz Pérez, 2009, p 70)

Otro de los aspectos importantes de la aplicación de la cáscara de arroz como material termoaislante en la fundición, es que las cenizas generadas, tanto por los casquillos como por la cobertura, no afectan la reutilización de la arena de moldeo al no generarse, durante su combustión, compuestos o subproductos que dificulten la acción de los aglutinantes utilizados y afecten las propiedades de la mezcla de moldeo, o que generen defectos en las piezas, como sucede con algunos casquillos exotérmicos, según reportan Aufderheide, R.C. y Showman, R.E., (2002), Twardowska et al., (2002) y Prat et al., (2006). Por otra parte, dichas cenizas por ser muy ligeras, resulta fácil eliminarlas de la arena a través de un sistema mecánico por vía seca o por un sistema neumático de recuperación, Cruz Pérez (2009).

Ocholur, E. F. *et al (2017),* estudiaron la influecia de la adición de ceniza de cáscara de arroz como aditivo para modificar las propiedades de la mezcla en verde de arena sílice para fudición, en por ciento del peso de la mézcla. La adición del 1 % del peso de ceniza aumentó inicialmete la resistecia en verde de la mezcla a 97 KN/m2 pero se redujo a 64 KN/m2 cuando aumento a 6 %. La permeabilidad gaseosa bajó de 110 a 60 cm/s con el aumento de 1 a 6 % del peso de la mezcla. El contenido de humedad también se redujo de 4 a 2.8 % para un aumento de 0 a 60 % del peso de la mezcla. La conductividad térmica de la mezcla se redujo un 30 % con el 6 % del peso de la mezcla, lo que garatiza un buen potencial para fundir piezas de paredes finas.

Prabhushankar, N. *et al* (2018), reportan la variación de las propiedades de la mezcla de moldeo de arena sílice a través de la adición entre un 5 y 12.5 % del peso de la mezcla de iguales cantidades de ceniza de cáscara de arroz y de tusa de maíz. La resistencia a la compresión en verde, a la sicsalladura en verde, el contenido de humedad y la permeabilidad gaseosa disminuyeron con el aumento del contenido en la mezcla de estos aditivos; al tiempo que la resistencia a la compresión y a la sicsalladura en seco aumentaron.

Lo anterior demuestra, si se compara el peso de la ceniza de cáscara de arroz con el de la arena, que para modificar el comportamiento de las propiedades de la arena o mezcla de moldeo, se requieren cantidades abundantes de ceniza de cáscara de arroz. Por lo que la cantidad de ceniza que resulta de la aplicación de la cáscara de arroz como termoaislante es insuficiente y no influye en las propiedades de la arena, como indica la experiencia de su aplicación en Planta Mecánica. A esto se puede añadir que gran parte de esta ceniza es eliminada en el proceso de recuperación de la arena para su reutilización.

Los resultados presentados demuestran que el efecto termoaislante que producen en las mazarotas de acero el macho casquillo y la cobertura de cáscara de arroz, no es para nada despreciable y puede ser aprovechado en mejorar aún más la eficiencia metálica de la producción de piezas fundidas de acero. La aplicación, en la forma descrita, de la cáscara de arroz ha contribuido al ahorro de acero fundido, y a la sustitución de importaciones de materiales que se utilizan como auxiliares de alimentación en la fundición. Este aspecto contribuye a aumentar la eficiencia del proceso, a aumentar su rentabilidad, disminuyendo su negativa incidencia medioambiental, con lo que constituye una garantía para el desarrollo sostenible de la industria de la fundición.

Rodríguez Gonzáles et al (2003), plantean que utilizar la cáscara de arroz en la fundición tiene un impacto económico importante ya que:

* Permite disminuir el consumo de metal fundido en más de 30 % según los tipos de piezas.
* Disminuye el consumo de energía eléctrica en más de un 30 %.
* Aumenta la productividad en el moldeo y acabado de las piezas.
* Disminuye el consumo de madera y otros recursos en la elaboración y reparación de plantillas en un 25 %
* Disminuye el consumo de gases para el oxicorte de un 30 a un 40 % según los tipos de piezas.
* Permite lograr una eficiencia metálica promedio cercana al 82 %.
* Permite con una misma capacidad de hornos de fundición producir un mayor número de piezas o piezas de mayor tonelaje.
* Permite producir piezas con mayor garantía de calidad.

Estos datos nos dan una clara idea de la positiva influencia del empleo de la cáscara de arroz en la fundición como alternativa de material termoaislante.

**CONCLUSIONES**

Como conclusiones podemos afirmar lo siguiente:

1. El empleo de este material natural constituye una alternativa viable para el avance hacia una producción más eficiente y sostenible en el ámbito de la fundición de piezas de acero en nuestro país.
2. Es una solución para la utilización de materiales auxiliares de alimentación a partir de materiales de procedencia nacional, cuestión esta vital para nuestra industria de la fundición, al representar una alternativa importante y alentadora en la búsqueda de la eficiencia y la soberanía tecnológica, dada la garantía de suministro que representa al ser un subproducto de la agricultura nacional.
3. Permite sustituir importaciones, al poder mejorar notablemente la calidad y la sanidad de piezas importantes para el mercado interno y externo, así como al eliminar la necesidad de comprar materiales auxiliares para mazarotas en el mercado internacional.
4. Constituye una forma de producción más limpia al contribuir a la disminución de la carga medio ambiental que la fundición representa para el medio ambiente, ya que con su utilización disminuye el consumo de materiales importantes y energía.

**RECOMENDACIÓN**

Aplicar y generalizar este subproducto agrícola, con el objetivo de mejorar los resultados en la industria de la fundición de piezas de acero, así como motivar y concientizar más sobre la importancia de su utilización.

**REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.**

1. Al Shafe, A y. Azadur Rahman, A. H. M. Development of Small Scale Low Cost Insulating Riser Sleeves from Scraps and by Products of an Existing Foundry Industry. International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME) ISSN: 2319-6386, Volume-3 Issue-11, October 2015.
2. Aufderheide, et al. Riser sleeve for custom sizing and firm gripping. United States Patent. 5 915 450. June 29, 1999.
3. Aufderheide, R.C., Showman, R.E. Ashland Specialty Chemical Company, Dublin, Ohio. Close, J., & Zins, E.J. Dotson Company, Inc., Mankato, Minnesota. Eliminating Fish-Eye Defects in Ductile Castings. Copyright © 2002 American Foundry Society.
4. Bernal Lima, L. ALIMENTACIÓN DE PIEZAS DE ACERO CON MEDIOS AUXILIARES. Foseco S. A. DE C. V. n. d.
5. Breton, L., *Defectos de las piezas de fundición. TOMO I.*1965. (Ediciones URMO. Espartero, 10 Bilbao. España).
6. Curbelo Pérez, P. A. y Pérez Muñoz, H. Influencia del empleo y variación del espesor de casquillos exotérmicos y termoaislantes en la prolongación del tiempo de solidificación en las mazarotas. Trabajo de Diploma. UCLV. FACULTAD DE ING. MECANICA. CURSO 1989 – 1990.
7. Cruz Pérez, J.C., *Empleo de la cáscara de arroz como material auxiliar en la fundición de piezas de acero al carbono*. Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica. *Facultad de Ingeniería Mecánica*. UCLV. Santa Clara. 2009.
8. Cruz Pérez, J. C. Empleo de la Cáscara de Arroz en la Fundición de Piezas de Acero al Carbono. Revista Ingeniería Mecánica # 2 Volumen 15 2012.
9. Departamento Técnico de Fundición., *Empleo de la cáscara de arroz como aislante en las mazarotas.* Planta Mecánica. 1975. Penencia.
10. Foseco. FEEDEX. Compuestos Moldeables Exotérmicos. Folleto S.1 1966.
11. Gerstman, S.L.y.B., R. K., *Empleo de la cáscara de arroz y de avena como material aislante en la mazarota..* Revista Foundry., febrero 1955 (División Físico-Metalúrgica de Mines Branch. Departamento de minas y técnica estadística. Ottawa Canadá).
12. Martínez Méndez, J. L. Tecnología para la Fundición de Ruedas de ferrocarril de 33 pulgadas de Alta Calidad. Tesis presentada en opción al grado Académico de Master en Ingeniería Mecánica, Mención Procesos de Manufactura. UCLV. Santa Clara 2000.
13. Miller, W.C., *Insulating refractory fiber composition and articles for use in casting ferrous metals*. 1977: United States Patent. 4 014 704.
14. Ochulor, E. F. *et al.,* EFFECT OF ALUMINUM DROSS AND RICE HUSK ASH ON THERMAL AND MOULDING PROPERTIES OF SILICA SAND. Nigerian Journal of Technology. Vol. 36, No. 3, July 2017. pp. 794 – 800. Copyright© Faculty of Engineering, University of Nigeria, Nsukka, Print ISSN: 0331-8443, Electronic ISSN: 2467-8821. [www.nijotech.com](http://www.nijotech.com). http://dx.doi.org/10.4314/njt.v36i3.19.
15. Ortiz Prado, A., Ruiz Cervantes, O.y Ortiz Valera, J. A. Procesos de manufactura I. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2018, 488 p.
16. Prabhushankar, N. *et al.* *ALTERNATIVE MATERIALS FOR SILICA SAND, BINDERS AND ADDITIVES IN SAND CASTING PROCESS – A REVIEW. International Journal of Scientific Research and Review. Volume 7, Issue 10, 2018. ISSN NO: 2279-543X.*
17. Prat, J. et al. EXACTHERM®. La Mejora de la Calidad de las Piezas a Través de Formas Aislantes Específicas y Avanzadas Técnicas de Simulación (Patentado) Revista Fundidores 2006.
18. Rodriguez González, P. *et al*., *Generalización en el uso de mazarotas termoaislantes en la fundición de piezas de acero.* Ponencia al XV Forum de Ciencia y Técnca julio 2003. Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Fundición. Planta Mecánica. Santa Clara. Villa Clara.
19. Salcines Merino, M. y Lemus Clavelo, E. LA CONTRACCION. Efectos posteriores y su prevención. CURSO DE VERANO. UCLV. FACULTAD DE TECNOLOGIA. DPTO TECNOLOGIA MECANICA. SECCION DE FUNDICION. 1971.
20. Twardowska, H. et al, *Exothermic sleeve compositions containing aluminun dross. United States Patent 6,360,808*. 2002, Ashland Inc. (Dublin OH): USA.
21. Wiley. EXOTERMIC HOT TOPPING COMPOSITION. United States Patent. 3 713 852 January 30, 1973.
22. Wlodawer, R. *Directional Solidification of Steel Castings. Pergamon Press.* First English edition 1966 ed. 1966. 255 pages.