**XVIII SIMPOSIO DE SOLDADURA Y MATERIALES**

**Título:Aumento de la eficiencia económica de la fundición de piezas de acero a través de la aplicación de la cáscara de arroz como termoaislante**

***Title: Increase in the economic efficiency of the steel casting parts through the application of rice husk as thermal insulation***

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

SANTA CLARA. VILLA CLARA. CUBA

E-mail: [juanccruz@plantamec.co.cu](mailto: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](mailto: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](mailto:lperdomo@uclv.edu.cu)

Dr. Ing. AMADO EULOGIO CRUZ CRESPO**2**. C.I.S. UCLV.

SANTA CLARA. VILLA CLARA. CUBA.

E-mail: [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

* **Problemática:** La eficiencia económica de la fundición de piezas de acero es una prioridad permanente para esta industria. Para su aumento es imprescindible la disminución de los costos de producción. Los materiales auxiliares de alimentación tienen un papel muy importante en el logro de este objetivo, por lo que se utilizan en todo el mundo. Los precios de materiales comerciales para esta aplicación influyen en costos de producción relativamente elevados.
* **Objetivo:** El presente trabajo tiene como objetivo exponer las posibilidades que ofrece la aplicación de la cáscara de arroz como material termoaislante en la fundición de piezas de acero, para la disminución de los costos de producción.
* **Metodología:** Se exponen características y parámetros tecnológicos de este material orgánico en forma de casquillo y cobertura. Se mencionan los aspectos relacionados con la disminución del costo de producción logrado con respecto a los de materiales comercializados internacionalmente.
* **Resultados y discusión:** Se discuten resultados de la aplicación de este desecho agrícola, 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 disminuir los costos de producción y aumentar la eficiencia económica del proceso de función de piezas de acero.
* **Conclusiones:** La principal conclusión derivada de los resultados que se exponen es que la cáscara de arroz constituye una alternativa viable, ecológica y económica de material auxiliar de alimentación en el proceso de fundición de piezas de acero en nuestro país.

***Abstract:***

* ***Problematic.*** *The economic efficiency of steel casting parts is a constant priority in this industry. In order to its increase, it is essential to reduce production costs. Feeding aids play a very important role in achieving this goal, which is why they are use all over the world. Commercial material prices for this application result in relatively high production costs.*
* ***Objective.*** *The objective of this work is to expose the possibilities offered by the application of rice husk as a heat-insulating material in reducing production costs of the steel casting parts.*
* ***Methodology.*** *Characteristics and technological parameters of this organic material in sleeve and hot topping form are exposed. Aspects related to the production cost reduction achieved with respect to those of materials commercialized internationally are mentioned.*
* ***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 thermal insulating material, to decrease production costs and increase the economic efficiency of steel casting parts process.*
* ***Conclusions.*** *The main conclusion derived from the exposed results is that rice husk it constitutes a viable, ecological and economic alternative of feeding aid in the steel casting parts process in our country.*

**Palabras Clave:** Casquillo termoaislante; Polvo de cobertura; Cáscara de arroz; Acero fundido; Auxiliares de alimentación; Mazarotas.

***Keywords:*** I*nsulating sleeve; Hot topping; Rice husk; Steel casting; Feeding aids; Riser.*

**1. Introducción**

En la actualidad la fundición Planta Mecánica opera con muy elevados costos de producción debido, entre otros factores, al tamaño y cantidad de los alimentadores de acero que se utilizan. Esta fundición desempeña un rol importante en la reanimación industrial y económica de nuestro país, por su importancia en la producción de piezas de repuesto y para la fabricación de nuevas máquinas. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que, por sus características, la fundición es una importante fuente de contaminantes por su elevado consumo de energía, materias primas y combustibles, generando una importante huella de carbono. (Ortiz-Prado, A., 2018).

Para aumentar la eficiencia de la fundición de piezas de acero, es necesario disminuir el acero necesario para obtener las piezas sanas (Breton., 1965) y (Wlodawer, 1966). 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 naturales, o convencionales, pueden entregar a la pieza solo el 14 % de su volumen a piezas tipo placa y un 10 % o menos a piezas cilíndricas o cúbicas. Para mejorar este aspecto, se aplican medios auxiliares de alimentación (Wlodawer, R., 1966), (Bernal-Lima, L., nd). Según Ruddle (Ruddle, R. W., 1979) y Miller (Miller, W. C., 1977), la aplicación de materiales exotérmicos y termoaislantes en forma de casquillos en las mazarotas, retarda su solidificación y aumenta el volumen de metal líquido que entregan a la pieza, permitiendo reducir sus tamaños. Así se ahorra acero fundido en la producción de piezas con elevada calidad. Los machos en forma de mangas para mazarotas son una herramienta bien establecida en todo el mundo para minimizar los costos de fundición y se estima que se utilizan en la producción de alrededor del 80 % de las piezas fundidas de acero en el mundo. Solamente la industria de la fundición de acero de Estados Unidos gasta 38 millones de dólares por año en estos artículos (Al Shafe, A., 2015) (Williams, T. J., 2016).

En las condiciones de Cuba, la importación de casquillos eleva el componente en moneda libremente convertible del costo de las piezas fundidas. Debido a la imposibilidad de acceder a créditos comerciales, a dificultades financieras, a los elevados gastos de transporte y a la dificultad de obtener contratos para un suministro estable, no se utilizaban los casquillos en la fundición de piezas de acero en Planta Mecánica. Los precios de los casquillos exotérmicos e isotérmicos comerciales, aumentan el costo de producción de las piezas fundidas de acero. Por otra parte, no utilizarlos resulta en una eficiencia metálica de 35 a 45 % (Suárez Lisca, L. H., 2017). Por esta razón la eficiencia del proceso era baja y se comenzó a desarrollar alternativas que permitieran mejorar este indicador económico. Los especialistas del Departamento Técnico de la fundición de Planta Mecánica, a partir de los resultados de (Gerstman, S. L., 1955) y un estudio posterior, comenzaron a utilizar la cáscara de arroz como cobertura termoaislante sobre las mazarotas de acero, generalizándose su aplicación en la producción (Departamento Técnico de Fundición, 1975). A finales de los años 1980, el Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Fundición C.I.D.F de esta empresa, comenzó a introducir en la producción un casquillo de cáscara de arroz. La eficiencia obtenida con dicho casquillo, en combinación con la cobertura de cáscara de arroz, fue similar a la obtenida con los casquillos de Foseco y otras firmas comerciales. En 1990 comenzó a generalizarse su aplicación en la producción, llegando a utilizarse en más del 95 % de la producción de piezas fundidas de acero (Rodríguez, P. 2003). Logrando un importante ahorro anual de recursos, con mayor calidad final de la producción.

Actualmente no se utiliza el casquillo de cáscara de arroz en la fundición de Planta Mecánica. En su lugar se utiliza, en algunas piezas, el casquillo exotérmico importado EUSKATFUND, en una gama de 150 mm a 350 mm de diámetro por 200 mm de altura, sin una tabla de datos de referencia para su previa selección, con un costo de producción mayor que con el casquillo y la cobertura de cáscara de arroz. Se han realizado otros trabajos para utilizar tanto la cáscara de arroz (Idamayanti, D., 2020) (Purwadi, W., 2020) como otros subproductos, como el aserrín de madera (Al Shafe, A., 2015), en la elaboración de casquillos para minimizar o eliminar la utilización de casquillos comerciales para bajar los costos de producción.

El presente trabajo tiene como objetivo exponer las ventajas tecnológicas y económicas del casquillo y la cobertura de cáscara de arroz con respecto a casquillos importados.

**2. Metodología**

Con la introducción en la producción del casquillo de cáscara de arroz, desarrollado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Fundición C.I.D.F., se estableció una tecnología para la confección de los casquillos de cáscara de arroz en el taller de machos de la fundición. Dicha tecnología es similar, en cuanto a equipamiento y método, a la de los machos con los que se obtienen las cavidades internas de las piezas fundidas. Consiste en compactar la mezcla del casquillo (los componentes y el aglutinante) en una caja de machos de madera, plástico o metal, manualmente o con una prensa y esperar su auto endurecimiento, o endurecer o curar a través de la aplicación de un gas (Al Shafe, A., 2015). Para confeccionar los casquillos, la cascara de arroz es molida en un molino de martillos. Luego, se mezcla con una porción de agua, inicialmente, antes de agregar silicato de sodio como aglutinante en una mezcladora eléctrica. Después de preparada, la mezcla pasa a los puestos de moldeo donde se confeccionan los casquillos compactándola de forma manual en un molde o caja de machos, como la mostrada en la Figura 1.



Figura 1. Molde o caja de machos para confeccionar casquillos de cáscara de arroz (Cruz Pérez, J. C. 2009, p 42).

Después de compactada la mezcla, se retira el cilindro central de la caja de machos y es curada o endurecida con CO2 adquiriendo la resistencia necesaria para la manipulación y transporte de los casquillos. Posterior al proceso de moldeo y curado, los casquillos pasan a una estufa eléctrica, donde son secados a una temperatura de 120°C durante 2 horas para eliminar el agua agregada durante la preparación de la mezcla. Después del estufado los casquillos se guardan en un almacén cerrado, dotado de lámparas incandescentes o resistencias eléctricas con una temperatura alrededor de 70°C donde se protegen de la humedad hasta su colocación en los moldes, como muestra la figura 2.



Figura 2. Casquillos colocados en el almacén caliente.

Con el casquillo y la cobertura de cáscara de arroz en algunas piezas se obtenía una eficiencia de alimentación alrededor del 70 % del volumen de la mazarota y una eficiencia metálica entre 78 y 80 %. En otras piezas, la eficiencia de alimentación del casquillo era similar o menor a la mazarota natural (14 %), con una mala relación costo-beneficio. Debido a esta situación, se realizó un experimento conocido como vertido del líquido residual para evaluar el potencial termoaislante, en función del aumento del espesor del casquillo y la altura de la cobertura, para mejorar la relación costo-beneficio a través de una mayor eficiencia de alimentación de las mazarotas. Dicha evaluación se realizó para acero AISI 1045, en base a un juego de cuatro 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 casquillo en tres niveles 30, 47,5 y 65 mm; la altura de cobertura con cáscara de arroz natural, en tres niveles 45, 65 y 85 mm, así como 20, 10 y 15 minutos de permanencia antes de decantar el molde para verter el acero líquido. El efecto se midió tratando como variables de salida al volumen de la cavidad obtenida en las probetas y el espesor promedio del acero solidificado.

Se analizó la posible influencia de la cáscara de arroz en la composición química del acero estudiado AISI 1045, preparando una muestra a toda la altura en la zona de contacto del acero con el casquillo de cáscara de arroz, de una de las probetas fundidas con 20 minutos de permanencia. Los ensayos se realizaron en los extremos y el centro de dicha muestra, determinando el valor promedio de cada elemento, para compararlos con los de la muestra final de la colada.

**3. Resultados y discusión**

Con los resultados obtenidos en los experimentos se evaluaron parámetros tecnológicos que se utilizan en el cálculo, por el método de los módulos, de mazarotas asistidas con las combinaciones casquillo-cobertura estudiadas, mostrados en la Tabla 1, (Cruz Pérez, J. C., 2009).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Molde | Esp. casquillo mm | Altura cobertura mm | Permanencia min. | Volum. Entrega % | Módulo aparente cm | Coefic. *x* | Coefic. *y* | MEF |
| 1 | 30 | 45 | 20 | 7,27 | 6,51 | 0,32 | 0,73 | 2,5 |
| 47,5 | 65 | 20 | 5,5 | 8 | 0,34 | 0,74 | 2,4 |
| 2 | 30 | 45 | 15 | 8,83 | 7,7 | 0,32 | 0,73 | 2,5 |
| 47,5 | 65 | 15 | 14,2 | 7,6 | 0,34 | 0,74 | 2,4 |
| 65 | 85 | 15 | 14,47 | 7,82 | 0,34 | 0,75 | 2,4 |
| 3 | 30 | 85 | 10 | 16 | 5,3 | 0,62 | 0,67 | 1,6 |
| 30 | 45 | 10 | 15,89 | 6 | 0,5 | 0,73 | 1,9 |
| 47,5 | 65 | 10 | 18,2 | 6,2 | 0,45 | 0,76 | 2 |
| 65 | 85 | 10 | 14,7 | 5,7 | 0,5 | 0,7 | 1,9 |
| 4 | 65 | 45 | 15 | 12 | 6,9 | 0,43 | 0,75 | 2,1 |
| 65 | 65 | 15 | 9,6 | 7,1 | 0,4 | 0,72 | 2,2 |
| 47,5 | 65 | 15 | 7,6 | 8 | 0,31 | 0,75 | 2,54 |
| 30 | 85 | 15 | 7,4 | 7,7 | 0,32 | 0,73 | 2,5 |

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

El procesamiento estadístico de los resultados obtenidos en los experimentos, muestra que las variables de entrada tienen una influencia positiva sobre el volumen de entrega, como muestra la Figura 3 (Cruz Pérez, J. C., 2009 y 2012).

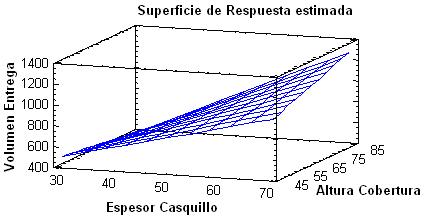


Figura 3. Superficie de respuesta obtenida con las variables de entrada sobre el volumen de entrega (Cruz Pérez, J. C., 2009, p 62)

Los valores del volumen de entrega de la tabla 1 están, como promedio, por debajo de la entrega de una mazarota natural de arena (14 %). No obstante, el valor de los factores *x* e *y* obtenidos, están en el entorno de los valores encontrados en la bibliografía consultada (Ruddle, R. W., 1979), (Williams, T. J., 2016). Los valores obtenidos del factor de prolongación del módulo MEF (por sus siglas en idioma inglés) en algunos valores superan los encontrados en la bibliografía (Williams, T. J., 2016), (Idamayanti, D., 2020), (Purwadi, W., 2020). El promedio de los coeficientes *x* e *y* evaluados para el casquillo de 30 mm, se aplicaron en cálculos de mazarotas con estos casquillos, en la producción y dieron valores entre un 55 y 70 % de eficiencia de alimentación de la mazarota.

En la tabla 2 aparecen los valores de los elementos químicos de la final de la colada en la que se fundió la probeta de la que se extrajo la muestra para el análisis químico, y los valores de los elementos obtenidos en dicho análisis. Solo se trabajó con los valores de los elementos más importantes para la marca y las propiedades del acero analizado.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Composición | C | Si | Mn | P | S |
| Final colada | 0,405 | 0,330 | 0,52 | 0,026 | 0,042 |
| Muestra probeta | 0,457 | 0,347 | 0,51 | 0,024 | 0,014 |

Tabla 2. Comparación de la composición química final de la colada y de la muestra cortada de una de las probetas fundidas con 20 minutos de permanencia (Cruz Pérez, J. C., 2009, p 64

Como se puede apreciar en la Tabla 2, la composición química obtenida en la muestra extraída de la probeta estudiada, resultó similar a la final de la colada en la que esta fue fundida, correspondiente al acero AISI 1045. Se aprecia la ausencia de variaciones significativas de los elementos en las zonas próximas al casquillo, evidenciando que la cáscara de arroz no afecta la composición química del acero al carbono.

En la confección de los casquillos intervienen dos equipos de bajo consumo eléctrico, el molino de martillos y la mezcladora en la que se prepara la mezcla. Dicha mezcladora tiene una potencia de 4 KW, una capacidad de 0,16 m3, trabaja a 50 rpm, y abastece dos puestos de moldeo, al preparar cada mezcla en 10 minutos. En el secado de los casquillos, no se llegaba a utilizar la potencia de diseño de la estufa, concebida para una temperatura de 210°C, requerida para los machos de linaza, y no se generaba un consumo eléctrico elevado en esta operación. Para proteger los casquillos de la humedad en el almacén caliente, tampoco se producía un consumo elevado de electricidad. Introducir los casquillos de cáscara de arroz en la fundición de Planta Mecánica no requirió de una gran inversión, el molino de martillo fue el único equipo incluido en el taller de machos.

La utilización de la cáscara de arroz en la fundición de Planta Mecánica comenzó casi con su inauguración en el año 1966. Pocos meses después de estar produciendo, se agotó un granulado exotérmico importado desde Polonia, que se utilizaba como cobertura sobre la superficie del acero en la cuchara de vertido para reducir las pérdidas de calor durante el llenado de los moldes. Para evitar las dificultades en las operaciones de este proceso y las pérdidas económicas que produciría no contar con una cobertura, se comenzó a utilizar la cáscara de arroz en sustitución de dicho granulado exotérmico, obteniéndose un resultado similar al obtenido con el mismo, el cual se dejó de importar.

Las cenizas generadas, tanto por los casquillos como por la cobertura de cáscara de arroz, no afectan la recuperación de la arena de moldeo al no generarse, durante su combustión, compuestos que dificulten la acción de los aglutinantes y afecten las propiedades de la mezcla de moldeo, o que generen defectos en las piezas, como puede suceder con casquillos comerciales, según (Aufderheide, R.C., 2002), (Twardowska et al., 2002) y (Prat, J., 2006). Para modificar las propiedades de la mezcla de moldeo, se requieren cantidades abundantes de ceniza de cáscara de arroz en la arena. La cantidad de esta que resulta de la aplicación de la cáscara de arroz como termoaislante es insuficiente para esto (Ocholur, E. F., 2017) y (Prabhushankar, N. et al., 2018). Por otra parte, dichas cenizas son muy ligeras y resulta fácil eliminarlas de la arena a través de un sistema mecánico por vía seca o un sistema neumático de recuperación, (Cruz Pérez, J. C., 2009).

El costo de preparación de una caja de machos para un casquillo de diámetro y altura igual a 200 mm, como la que se muestra en la figura 1, a los precios actuales de los materiales, energía y salarios es de 113 459,36 CUP. 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, como sucedió durante los años en que se utilizó el casquillo en la fundición de Planta Mecánica. De esta forma dicho costo se amortiza con relativa rapidez, abaratando también el costo de preparación de los casquillos. El costo promedio de la elaboración de los casquillos de cáscara de arroz es de 125,69 CUP, según la ficha del costo elaborada para sus dimensiones y tiempo de moldeo, a los precios actuales de los materiales, energía y salarios.

El aumento de la eficiencia metálica en el molde es una de las razones más importantes para utilizar un casquillo alimentador. Para eso se requiere del conocimiento de sus características, de lo contrario habrá que hacer ensayos prueba y error para su adecuada selección. Si un casquillo no da como resultado una mazarota más pequeña y con una eficiencia mayor que la alcanzada con una mazarota natural, aplicarlo implica un desperdicio de recursos. Por lo tanto, es importante saber qué mejoramiento de la eficiencia se puede lograr con ese casquillo. De hecho, a pesar de la amplia utilización de los casquillos comerciales, una encuesta realizada a los fundidores detectó una falta de consenso sobre su eficacia.

Esto se debe a que los fabricantes utilizan materiales de composición y propiedades desconocidas en su fabricación y a que proporcionan orientación sobre su utilización, en su mayoría, sin fundamento técnico. La aplicación de los casquillos comerciales en la fundición se basa en la confianza en la precisión de los datos suministrados por los proveedores, las conjeturas y el ensayo prueba y error. Los fundidores desconocen qué casquillo y de qué proveedor, es más eficaz para una determinada pieza de fundición. Debido a esto, la mayoría de las fundiciones utilizan la simulación por computadora para dimensionar sus mazarotas y seleccionar los casquillos. Pero, la base de datos de entrada para la simulación de las propiedades termofísicas y coeficientes de transferencia de calor de los casquillos comerciales, y muchos de los materiales del molde de fundición, para las interfaces metal-casquillo y casquillo-molde no está disponible y es tratada como una "caja negra'', al ser propiedad de los fabricantes y estar oculta para el usuario del software.

Se realizó una investigación sobre la fundición de piezas tipo cubo y piezas tipo placa de volumen equivalente a los cubos, utilizando un grupo de trece casquillos comerciales exotérmicos e isotérmicos de cinco fabricantes. Los resultados mostraron que los casquillos son menos efectivos para aumentar la eficiencia en la fundición de piezas tipo placa que en las piezas tipo cubo del mismo volumen. Se observó que el espesor óptimo del casquillo es independiente de su diámetro, es constante y depende principalmente de la geometría de la pieza. Se comprobó que se puede aumentar la eficiencia en piezas tipo cubo, utilizando casquillos más gruesos que los comercialmente disponibles. Los de diámetros más pequeños generalmente son lo suficientemente gruesos para lograr el máximo aumento de eficiencia al tener un espesor >0,2 veces su diámetro (>0,2D). Para mazarotas de 4 a aproximadamente 8 pulgadas de diámetro los casquillos comerciales son demasiado delgados con menos de 0,1D, y están por debajo del espesor óptimo para piezas tipo cubo, 0,2D. Los casquillos >10 pulgadas de diámetro, tienen un espesor menor o igual a 0.1D y están por debajo del espesor óptimo para la eficiencia máxima al utilizarlos en piezas tipo cubo. Se concluye en de que duplicar el espesor de casquillos de diámetros mayores podría resultar en un aumento de la eficiencia de un 10 %, produciendo un beneficio mayor con casquillos más gruesos (Williams, T. J., 2016).

Los casquillos de la marca comercial EUROCAST EXO importados por Planta Mecánica para la fundición se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Casquillos exotérmicos importados para la fundición de piezas de acero en Planta Mecánica.

Los precios de estos casquillos aparecen en la Tabla 3 en USD de acuerdo a la oferta realizada por la entidad comercializadora RODABILSA, y en CUP según contabilidad de la empresa.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Dimensiones del casquillo | | Precio | |
| Ø Interior mm | Ø Exterior mm | MLC | CUP |
| 150 | 180 | 7,84 | 295,35 |
| 200 | 220 | 9,92 | 373,75 |
| 250 | 295 | 12,20 | 459,77 |
| 300 | 350 | 13,80 | 519,90 |
| 350 | 410 | 17,91 | 674,84 |
| Promedio | | 12,33 | 464,72 |

Tabla 3 Precios de los casquillos EUROCAST EXO, todos de 200 mm de altura.

Al analizar el costo de producción de las piezas fundidas de acero utilizando casquillos importados, se tiene en cuenta 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 MLC. Resultando evidente el aumento de dicho componente en el costo de producción. A esto se puede agregar, el costo de las pruebas tecnológicas para obtener datos que permitan la selección más adecuada de dichos casquillos, ya que no se cuenta con una tabla para su selección, como la mostrada en la Figura 5. Aspecto este ya resuelto con el casquillo de cáscara de arroz por las investigaciones realizadas.

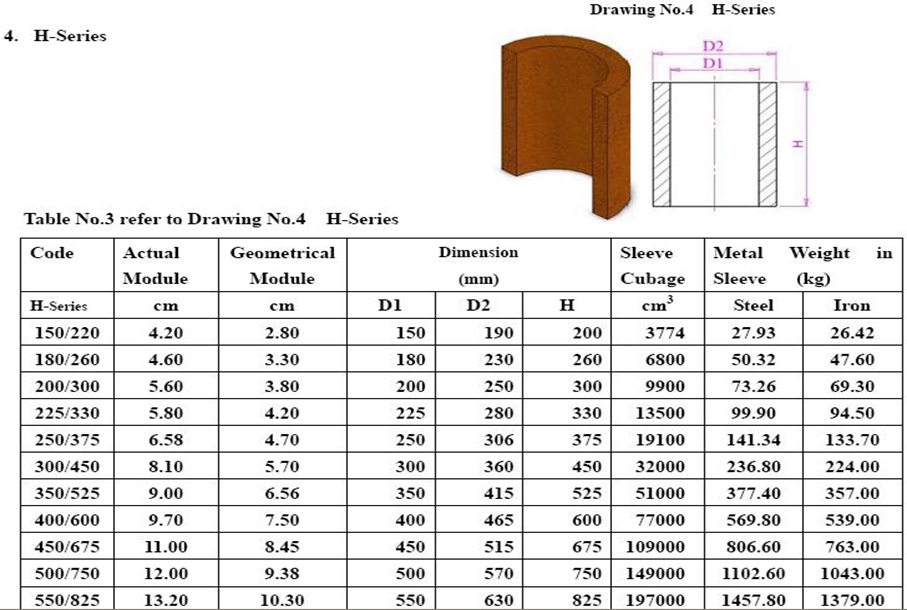


Figura 5. Ejemplo de tabla para la selección de un casquillo comercial para la fundición (Certified, A, I., 2008).

Con la utilización en la producción de estos casquillos importados, no se obtiene un aumento significativo en la eficiencia ya que las mazarotas no muestran una cavidad de contracción o entrega de acero a la pieza al no seleccionarse adecuadamente.

**4. 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 limpia, 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 con garantía de suministro estable, 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.
3. Permite sustituir la importación de casquillos comerciales para mazarotas, al poder mejorar notablemente la calidad y la sanidad de piezas importantes del plan de producción.

**5. RECOMENDACIÓN**

Aplicar y generalizar el casquillo de cáscara de arroz, con el objetivo de mejorar la eficiencia metálica y económica de la industria de la fundición de piezas de acero, así como motivar y concientizar más sobre la importancia de su utilización.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Al Shafe, A. a. (2015, October). Development of Small Sacale Low Cost Insulating Riser Sleeves from Scraps and by Products of an Existing Foyndry Industry. International Journal of Innovative Science and Modern Engineering. (IJISME), ISSN: 2319-6386, Volume-3 Issue-11. 3(11).
2. 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.
3. Bernal Lima, L. ALIMENTACIÓN DE PIEZAS DE ACERO CON MEDIOS AUXILIARES. Foseco S. A. DE C. V. n. d.
4. Breton, L., *Defectos de las piezas de fundición. TOMO I.*1965. (Ediciones URMO. Espartero, 10 Bilbao. España).
5. Certified, A.I., AMI® Feeding System Products. , in (Insulating Exothermic sleeves. Breaker Core, Exothermic Core, Pouring Cup). 2008.
6. 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.
7. Departamento Técnico de Fundición., *Empleo de la cáscara de arroz como aislante en las mazarotas.* Planta Mecánica. 1975. Penencia.
8. Gerstman, S.L., *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).
9. Idamayanti, D. (2020). Rice Husk Waste as an Exothermic Material for a Riser Sleeve for Steel Casting. *Internacional Journal of Technology 11(1)*, 71-80.
10. 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.
11. Miller, W.C., *Insulating refractory fiber composition and articles for use in casting ferrous metals*. 1977: United States Patent. 4 014 704.
12. 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.
13. 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.
14. 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.*
15. 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.
16. Purwadi, W. (2020). The Thickness Effect of Exothermic Sleeve Made From Rice Husk on Its Performance as A Riser in Steel Casting. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Retrieved from http//ww.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter115882020.pdf.
17. 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.
18. Ruddle, R.W., Risering of steel castings. 1979, Printed in the United States of America. © Foseco, Inc. : Published by FOSeCO®.
19. Salcines Merino, C. M. LA CONTRACCION. Efectos posteriores y su prevención. CURSO DE VERANO. UCLV. FACULTAD DE TECNOLOGIA. DPTO TECNOLOGIA MECANICA. SECCION DE FUNDICION. 1971.
20. Steger, A. (1963). Empleo de materiales aislantes en la fundición. Fundición. España., p. 8.
21. Suáres Lisca, L. H., Incremento del rendimiento tecnológico mediante la disminución de defectos en la fundición de piezas de acero tipo ruedas. Tesis doctoral. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara 2017.
22. Twardowska, H. et al, *Exothermic sleeve compositions containing aluminun dross. United States Patent 6,360,808*. 2002, Ashland Inc. (Dublin OH): USA.
23. Williams, T. J. (2016). Thermophysical Properties and Performance of Riser sleeves for Steel Castings. . International Journal of Metalcasting, 10(4), 535-555.
24. Wlodawer, R. *Directional Solidification of Steel Castings. Pergamon Press.* First English edition 1966 ed. 1966. 255 pages. (Al Shafe, 2015).