

Artículo Original

**DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE
UNA MEZCLA DE MOLDEO TIPO ÚNICA CON ELEMENTOS
REFRACTARIOS**

**DETERMINATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF A SINGLE TYPE
MOLDING MIX WITH REFRACTORY ELEMENTS**

Lázaro Humberto Suárez Lisca ^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-1870-4295>

Norge I. Coello Machado ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8642-604X>

Juan Carlos Cruz Pérez ² <https://orcid.org/0000-0002-4527-2865>

¹ Departamento Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½ Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Empresa Planta Mecánica "Fabric Aguilar Noriega". Zona Industrial Calle A no. 39 e/c, Arroyo Carrascal y Carretera a Planta Mecánica, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 13, 2022; Revisado: Febrero 2, 2022; Aceptado: Marzo 25, 2022

RESUMEN

Introducción:

En la Empresa Planta Mecánica "Fabric Aguilar Noriega" la fabricación de piezas como resultado de la fundición ha disminuido notablemente en los últimos años, no sin dejar de ser una de las principales formas de producción. En este proceso se utilizan mezclas que varían en sus propiedades y composición, de acuerdo a la utilización para la cual se tenga prevista, como MC-3 (Moldes con terrajas), MCE-4 (Piezas grandes de acero), MR-1 (Mezcla única), esta última mezcla está compuesta por bentonita y melaza, como aglutinantes, acompañando a la arena sílice.

Objetivo:

Realizar una caracterización de una mezcla de moldeo tipo única con la utilización de aditivos refractarios, productos de la molienda de ladrillos de chamota, desechados en las reparaciones de los hornos de la empresa.

Materiales y Métodos:

Para la realización de este trabajo se realizó un diseño de experimento, teniendo en cuenta los principales materiales, arena sílice y bentonita y sustituyendo la melaza por el elemento refractario.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Lázaro H. Suárez, Email: lazarosl@uclv.edu.cu



Resultados y Discusión:

Los resultados de los experimentos arrojaron que la mezcla con mejores propiedades es la que tiene una relación refractario-bentonita (1:9). Se realizó una prueba real con esta mezcla, utilizando una aleación de aluminio, donde se apreció un excelente resultado.

Conclusiones:

La principal conclusión es que a partir de los resultados obtenidos es un hecho la sustitución de la melaza por elementos refractarios para ciertos tipos de aleaciones, en este caso aluminio.

Palabras clave: bentonita; material refractario; mezcla de moldeo.

ABSTRACT

Introduction:

In the Mechanical Plant “Fabric Aguilar Noriega”, the manufacture of parts as a result of casting has decreased notably in recent years, although it is still one of the main forms of production. In the molding process, mixtures are used that vary in their properties and composition, according to the intended use, such as MC-3, MCE-4 (Large steel pieces), MR-1 (single mixture), this last mixture is composed of bentonite and molasses, as binders, together with the silica sand.

Objective:

To perform a characterization of a unique type molding mixture with the use of refractory additives, products of the grinding of chamotte bricks, discarded in the repairs of the company's furnaces.

Materials and Methods:

In order to carry out this work, a design of experiment was carried out, taking into account the main materials, silica sand and bentonite, and substituting molasses for the refractory element.

Results and Discussion:

The results of the experiments showed that the mixture with the best properties is the one with a refractory-bentonite ratio (1:9). A real test was carried out with this mixture, using an aluminum alloy, where an excellent result was observed.

Conclusions:

The main conclusion is that from the results obtained, it can be stated as a fact that molasses can be substituted by refractory elements for certain types of alloys, in this case aluminum.

Keywords: bentonite; refractory elements; molding mixture.

1. INTRODUCCIÓN

Existen un gran número de tipos de mezclas de moldeo, la principal diferencia está en su uso, para piezas pequeñas, medianas y grandes, por ejemplo. La mezcla denominada MR1, compuesta por bentonita y melaza como aglutinantes, acompañando a la arena sílice, es una mezcla que se puede denominar única según Ibrahim y col., (2014). La utilización de la melaza ha quedado relegada en los últimos tiempos, dado

fundamentalmente por su utilización en otras esferas de la vida, ejemplo como alimento animal como se puede ver en COMEL (2010) y el mejoramiento de suelos según Bhardwaj y col., (2021).

Se han realizado numerosas investigaciones acerca del valor energético de la melaza como se puede apreciar en M'Ndegwa (2011), y tomando como referencia el valor energético del maíz americano, está mayoritariamente aceptado un valor energético para las melazas del 75% del que tiene el maíz. Por lo tanto, y desde un punto de vista exclusivamente económico, cuando el precio de la melaza sea inferior al 75% del precio del maíz, resulta interesante utilizar las melazas como fuente de energía en lugar del maíz según COMEL (2010). Según la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en el mes de mayo 2022, el precio del maíz es de 310,33 dólares por toneladas y el de la melaza según Poballe.SA, es de 1250 dólares la tonelada, esto evidencia que es un rublo exportable de consideración y por tanto su utilización en la industria de la fundición queda descartada.

En la Empresa Planta Mecánica “Fabric Aguilar Noriega” de Villa Clara, Cuba, se han desarrollado un gran número de investigaciones sobre mezclas de moldeo, cada una con una finalidad distinta, que van desde mezclas de moldeo con arcillas naturales según Santiesteban Ruiz (2009), hasta mezclas con resinas furánicas utilizando catalizadores nacionales. Desde la desaparición del grupo de investigaciones propias de la empresa no se realizan estos tipos de trabajos. En aras de continuar con esta línea de trabajo se realiza esta investigación, que trata sobre la utilización en este caso de elementos refractarios en la composición de la mezcla

En el trabajo se busca determinar las principales propiedades de una mezcla de moldeo de tipo única, que sustituya a las mezclas tradicionales en la producción de aleaciones no ferrosas, para ello se determinaron las bases teóricas para respaldar la propuesta de la mezcla de moldeo, se realizó un estudio teórico de las principales mezclas de moldeo utilizadas en la Empresa, se diseñó un experimento para determinar la mejor relación arena-aditivo-bentonita, y por último se realizó una comparación entre la mezcla propuesta y las tradicionales, teniendo en cuenta las propiedades analizadas.

Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización de una mezcla de moldeo tipo única con la utilización de aditivos refractarios, productos de la molienda de ladrillos de chamota, desechados en las reparaciones de los hornos de la empresa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El aditivo es una sustancia que se añade a la mezcla de moldeo diferente a la arcilla según Salcines (1985). En el caso de este trabajo se propone un ladrillo refractario de chamota, un trabajo similar lo muestra Marin (2019), el cual es ampliamente utilizado en la Empresa Planta Mecánica “Fabric Aguilar Noriega” como revestimiento de las cazuelas, en este caso es un refractario con un 42% de óxido de silicio (SiO). Por un material básico de moldeo refractario se entienden sustancias que tiene un alto punto de fusión (temperatura de fusión). El punto de fusión del material básico de moldeo refractario, según Deters, (2020), está ventajosamente por encima de 600 °C, preferiblemente por encima de 900 °C, en particular preferiblemente por encima de 1200 °C y sobre todo preferiblemente por encima de 1500 °C. La chamota es un

material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, piedras refractarias, u otro producto cerámico cocido, tiene un contenido mínimo de: 40 % de alúmina, un 30 % mínimo de sílice, un 4 % máximo de óxido de hierro (III), un 2 % máximo de óxido de calcio y de óxido de magnesio en total. Su punto de fusión es de unos 1780 °C. Absorbe un máximo del 7 % de agua según Inoriza (2003). Los materiales refractarios se podrían clasificar de diversas maneras, un ejemplo de ello se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los materiales refractarios

<i>Por su carácter químico</i>	<i>Por su composición química</i>	<i>Por su naturaleza química</i>	<i>Por su presentación</i>	<i>Por su finalidad</i>
Ácidos Neutros Básicos	Sílice Sílice-alúmina Magnesia Zirconia Otros	Oxídicos No Oxídicos	Conformados No conformados Otros	Denso Aislante

Para el estudio de una mezcla de moldeo es necesario realizar un grupo de ensayos, Ibrahim y col., (2014), Granulometría de la arena, Sinterización, Resistencia mecánica a tracción, compresión y cizallamiento, tanto en seco como en verde, Contenido de humedad y Permeabilidad. En las tablas 2 y 3 se muestran las principales propiedades de los materiales que intervienen en el diseño de experimentos, diseño cuantitativo 2^k , en este caso con dos variables y tres respuestas o sea 2^3 y con tres réplicas.

Tabla 2. Principales propiedades de la mezcla patrón

<i>Composición de la mezcla MR-1</i>		<i>Propiedades de la mezcla MR-1</i>	
<i>Material</i>	<i>%</i>	<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
Arena de retorno	94	Humedad en verde	4,0-6,0 %
Bentonita de sodio	3	Permeabilidad en verde	80 cm ⁴ /(g.min)
Agua	Hasta la humedad requerida	Resistencia a la compresión en verde	0,50-0,75 kg/cm ²
Melaza	3	-	-

Tabla 3. Composición química de los elementos que conforman la mezcla

<i>Elementos</i>	<i>Compuestos</i>	<i>Valor</i>
Arena sílice	SiO ₂	96 %
	Fe ₂ O ₂	0,85 % máx.
	CaO	0,10 % máx.
	MgO	0,10 % máx.
	Arcilla	1,0 %
Bentonita	SiO ₂	54,70 %
	AlO ₃	11,78 %

	Fe ₂ O ₃	8,63 %
	TiO ₂	0,83 %
	CaO	5,27 %
	MgO	1,62 %
	Na ₂ O	1,10 %
	K ₂ O	0,14 %
Ladrillo Refractario	Al ₂ O ₃	40 %
	Sílice (SiO ₂)	30 % mín.
	Fe ₂ O ₃	4 % máx.
	CaO	2 % máx.
	MgO	2 % máx.
	Absorbe un máximo del 7 % de agua	

2.1 Preparación de las muestras

Las variables escogidas, para estudiar las propiedades de la mezcla propuesta, serán: el porcentaje de refractario y el por ciento de bentonita, en el caso de la arena se mantendrá constante. Los valores en los que se moverán las variables se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Valores máximos y mínimos de las variables a estudiar

<i>Elemento</i>	<i>Min (%)</i>	<i>Max (%)</i>
Refractario	1	9
Bentonita	1	9

Se realizaron ocho muestras, cada muestra pesa 150 ± 1 g, 135 ± 1 g de la arena sílice y diferentes porcentajes de bentonita y chamota, tal y como se muestra en la tabla 5, para determinar así la mejor relación arena-aditivo-bentonita.

Tabla 5. Distribución obtenida a partir del diseño de experimentos propuesto

<i>Corrida</i>	<i>Peso Total de la mezcla (±1g)</i>	<i>Arena (%)</i>	<i>Arena (±1g)</i>	<i>Refractario (%)</i>	<i>Refractario (±1g)</i>	<i>Bentonita (%)</i>	<i>Bentonita (±1g)</i>
1	150	90	135	9	13,5	1	1,5
2	150	90	135	7	10,5	3	4,5
3	150	90	135	1	1,5	9	13,5
4	150	90	135	5	7,5	5	7,5
5	150	90	135	3	4,5	7	10,5

*El experimento se planifica con tres réplicas.

2.2 Preparación de las probetas.

Las dimensiones y formas de las probetas para los ensayos que se realizan, permeabilidad y resistencia a la compresión en verde y seco, son cilíndricas, con diámetro de 50 mm y una altura de 50 ± 1 mm, el peso de la misma es de 150 ± 1 g (Taye, 2015). El resultado obtenido de la probeta se muestra en la figura 1.



Figura 1. Probeta obtenida con mezcla en verde

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas de la 6 a la 9, se muestran los resultados obtenidos de los diferentes ensayos. Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de los análisis granulométricos de la arena y el material particulado obtenido de la molienda del ladrillo refractario, en el caso de la tabla 8 muestra las mezclas estudiadas a partir de las distintas relaciones Arena-Bentonita-Material Refractario y los resultados obtenidos después de hacer los ensayos de resistencias, en verde y en seco, y la determinación de la humedad relativa de cada una de ellas. Nótese que la mezcla número 3, con una relación Refractario-Bentonita 1:9, presenta los mayores valores de resistencia y la menor humedad.

Tabla 6. Resultado granulométrico de la arena sílice

<i>Tamiz AFS</i>	<i>Apertura malla (mm)</i>	<i>Residuo (g)</i>	<i>% sobre tamiz</i>	<i>% acumulado</i>
20	0,833	1,3	2,6	2,6
30	0,589	3,8	7,6	10,2
40	0,414	0,0	0,0	10,2
100	0,147	38,2	76,4	86,6
140	0,104	4,3	8,6	95,2
200	0,074	1,1	2,2	97,4
fondo	-	0,0	0,0	-
Total	-	48,7	97,4	-

Tabla 7. Resultado granulométrico del ladrillo refractario

<i>Tamiz AFS</i>	<i>Apertura malla (mm)</i>	<i>Residuo (g)</i>	<i>% sobre tamiz</i>	<i>% acumulado</i>
20	0,833	11,3	22,6	22,6
30	0,589	8,2	16,4	39,0
40	0,414	0,3	0,6	39,6
100	0,147	15,3	30,6	70,2
140	0,104	3,6	7,2	77,4
200	0,074	2,7	5,4	82,8
fondo	-	7,0	14,0	96,8
Total	-	48,4	96,8	-

Tabla 8. Resultado obtenido en las mediciones

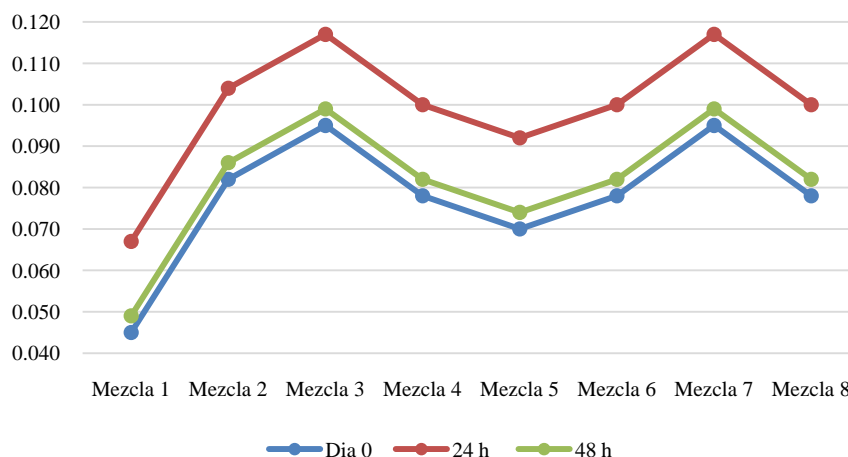
<i>Corri da</i>	<i>Arena (%)</i>	<i>Arena (g)</i>	<i>Refractario (%)</i>	<i>Refractario (g)</i>	<i>Bentonita (%)</i>	<i>Bentonita (g)</i>	<i>Resistencia Verde (MPa)</i>	<i>Resistencia Seco (MPa)</i>	<i>Humedad Relativa (%)</i>
1	90	135	9	13,5	1	1,5	0,045	0,13	22,2
2	90	135	7	10,5	3	4,5	0,082	0,11	21,4
3	90	135	1	1,5	9	13,5	0,095	0,13	11,3
4	90	135	5	7,5	5	7,5	0,078	0,12	13,9
5	90	135	3	4,5	7	10,5	0,070	0,125	12,5

Tabla 9. Mediciones realizadas de la resistencia en verde en el tiempo y vida de banco obtenida

<i>Mezcla</i>	<i>Día 0</i>	<i>24 h</i>	<i>48 h</i>	<i>Max</i>	<i>Vida de Banco</i>
1	0,045	0,067	0,049	0,067	0,047
2	0,082	0,104	0,086	0,104	0,073
3	0,095	0,117	0,099	0,117	0,082
4	0,078	0,100	0,082	0,100	0,070
5	0,070	0,092	0,074	0,092	0,064

La vida de banco, mostrada en la tabla 9, caracteriza la capacidad de una mezcla de moldeo de conservar sus propiedades en el tiempo (Salcines, 1985), algunos investigadores evalúan esta propiedad como el tiempo transcurrido hasta que la mezcla pierde hasta un 30% de una propiedad, en el caso de la esta investigación se tomó como referencia la resistencia máxima a la compresión en seco.

En la figura 2 y 3 se pueden apreciar los valores de resistencia en verde y en seco, obtenidos en los ensayos, el nivel de resistencia en verde que alcanza la muestra 3 es muy marcado. La muestra 7 es la réplica de la muestra 3. La resistencia en verde pasadas las 24 h aumenta y luego comienza a disminuir, esto es un comportamiento estándar en las mezclas de moldeo.

**Figura 2.** Gráfico de las resistencias en verde vs tiempo

En la figura 3 se muestran los valores de resistencia en seco para cada mezcla.

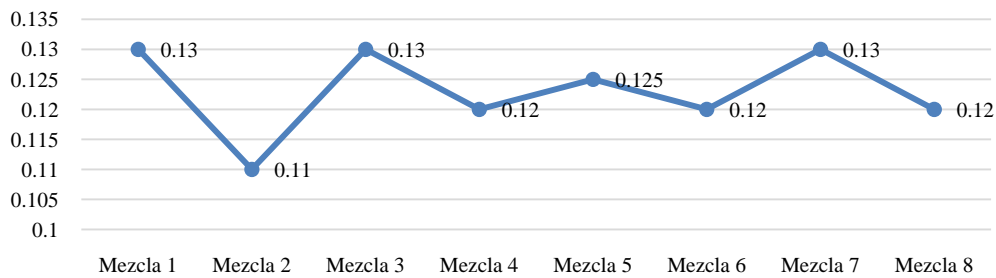


Figura 3. Gráfico de las resistencias en seco para cada mezcla

3.1. Trabajo con las tres variables

En el tratamiento estadístico se realiza un estudio con las tres variables principales a estudiar, resistencia en seco, resistencia en verde y la humedad, para determinar un punto óptimo, donde el comportamiento deseado debería ser, las resistencias con valores máximos y la humedad con valores mínimos.

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos y se resalta la mezcla 3 como la que tiene los valores más altos para las variables resistencia en verde y en seco y presenta el menor por ciento de humedad, avalándola como la relación de los componentes Arena-Bentonita-Material Refractario con mejores propiedades para su utilización.

Tabla 10. Resultados obtenidos con las tres variables respuestas

<i>Fila</i>	<i>Res. Verde (MPa)</i>	<i>Res. Seco (MPa)</i>	<i>Humedad (%)</i>
1	0,045	0,13	22,1
2	0,082	0,11	21,4
3	0,095	0,13	11,3
4	0,078	0,12	14,0
5	0,07	0,125	12,5

En la tabla 11 se muestra el resumen de la mezcla marcada como óptima.

Tabla 11. Composición y propiedades de la mezcla seleccionada

<i>Muestra</i>	<i>Arena (%)</i>	<i>Arena (g)</i>	<i>Refractario (%)</i>	<i>Refractario (g)</i>	<i>Bentonita (%)</i>	<i>Bentonita (g)</i>	<i>Res. Verde (MPa)</i>	<i>Res. Seco (MPa)</i>	<i>Humedad (%)</i>
3	90	135	1	1,5	9	13,5	0,095	0,13	11,3

En la tabla 12 se aprecia una comparación entre la mezcla patrón, MR1, y la mezcla obtenida en el estudio como la óptima. Luego de realizada la tabla podemos observar que ambas mezclas poseen características similares, solo discrepan en el aspecto de la humedad. Esta diferencia se debe a que la mezcla propuesta no presenta melaza, la cual juega un papel fundamental en la aglutinación de la mezcla, y por tanto fue necesario aumentar el nivel de humedad para lograr una mayor compactación.

Tabla 12. Comparación realizada a ambas mezclas

<i>Característica</i>	<i>Mezcla con aditivo refractario</i>	<i>Mezcla denominada MR-1</i>
Humedad %	11,3	4,0-6,0
Resistencia Verde kg/cm ²	0,96	0,5-0,75
Permeabilidad cm ⁴ /g.min	154	≥ 80

Para llevar a la práctica los resultados obtenidos de la mezcla propuesta se realizó la fundición de una pieza de aluminio, figura 4, utilizando las proporciones recomendadas en aras de tener una idea real del comportamiento de la mezcla. El resultado obtenido y mostrado en la figura señalada, es excelente, medido fundamentalmente por la inspección visual de la calidad superficial.



Figura 4. Pieza obtenida utilizando la mezcla propuesta

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados experimentales conducen a que la relación Componente refractario-Bentonita que mejores propiedades ofrece, de los parámetros medidos (por ciento de humedad, resistencia en verde, permeabilidad y vida de banco) se corresponde con la mezcla número 3, la cual tiene una relación 1:9. Las propiedades obtenidas en la relación, presentan parámetros mejores que los que proporciona la MR1 que sirve de patrón a la mezcla propuesta.
2. Con los resultados obtenidos en el estudio de la vida de banco, se puede decir que la misma, en todas las mezclas propuestas sobrepasa las 48 h de elaboración, es decir, la mezcla mantiene sus propiedades y no pierde su utilidad en dicho tiempo.
3. Con la prueba realizada a partir de la mezcla propuesta, se obtuvo una pieza de aluminio, muestra un excelente desempeño de la misma ante las condiciones de temperatura de la aleación vertida.

REFERENCIAS

- Bhardwaj, A., Sharma, R.K., & Sharma, A., Stabilization of clayey soil using waste foundry sand and molasses., In Sustainable Development Through Engineering Innovations., Springer, 2021, pp. 641-649.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-9554-7_57
- Comel, Uso de melazas en alimentación animal., Compañía de melazas S.A., 2010.

<http://www.ciademelazas.com/usumelazaanimal2.asp>

- Deters, H., Sistema multicomponente para la producción de moldes y núcleos y procedimientos para la producción de moldes y núcleos., Oficina Española de Patentes y Marcas, ES 2 778 075 T3, Agosto, 2020, pp. 1-16. <https://patentados.com/2020/sistema-multicomponente>
- Ibrahim, B., Tijjani, Y., Rafukka, I.A., & Suleiman, M.U., Application of molasses as a binder in sand mold operation., Applied Mechanics and Materials, Vol. 660, 2014, pp. 301-305. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.660.301>
- Inoriza, R., Introducción a los materiales refractarios., Técnica Industrial, Vol. 248, 2003, pp. 54-57. <https://www.tecnicaindustrial.es/introduccion-a-los-materiales-refractarios/>
- M'ndegwa, J.K., The effect of cane molasses on strength of expansive clay soil., Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, Vol. 2, No. 6, 2011, pp. 1034-1041. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-effect-of-cane-molasses-on-strength-of-clay-M%E2%80%99Ndegwa/fc4d9a5541b1cef380570fa8e9a17a6122717611>
- Marin, A., Factibilidad del uso de los desechos de los ladrillos de MgO-C., X Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica, COMEC 2019 en el marco de la II Convención Científica Internacional UCLV 2019, Cayos de Villa Clara, Cuba, 23 al 30 de junio del 2019. <https://convencion.uclv.cu/es/event/x-conferencia-internacional-de-ingenieria-mecanica-comec-2019-v-simposio-de-materiales-16/track/factibilidad-del-uso-de-los-desechos-de-los-ladrillos-de-mgo-c-1048>
- Salcines, C.M., Propiedades de las mezclas y arenas de moldeo., Tecnología de fundición., Tomo I, Editorial Pueblo y Educación, Primera Edición, Ciudad de la Habana, Cuba, 1985, pp. 52-136.
- Santiesteban, J.M., Evaluación de las mezclas de moldeo autofraguantes con diferentes proporciones de arena, catalizador y resina., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia, Departamento Metalurgia-Química en el Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba, 2009. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1602>
- Taye, B., Stabilization of expansive clay soil with sugar cane molasses and cement., Thesis submitted for the Degree of Master of Science in Civil Engineering. Addis Ababa University, Ethiopia, 2015. <http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/9345>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Lázaro Humberto Suárez Lisca. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Dr.C. Norge I. Coello Machado. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- M.Sc. Juan Carlos Cruz Pérez. Colaboró con la realización de los ensayos de laboratorios y la obtención de la pieza final.