

Empleo de cromita cubana en la piquera de las cazuelas de vaciado de acero

Use of cuban chromite in the bottom outlets of the casting ladles



<https://cu-id.com/2144/v17e14>

^{id} Augusto Marino Skerritt García^{1*}, ^{id} Nilda Caballero Stevens², ^{id} Lázaro Manuel Viera Jaime²

RESUMEN: Uno de los factores de mayor influencia en el costo del acero de la empresa siderúrgica Antillana de Acero, es el alto precio de los materiales de importación. Por tanto, es menester trabajar en la sustitución de algunos materiales de importación. El objetivo del trabajo es la determinación de la capacidad de la cromita cubana de la Mina Mamina, de Camagüey, en estado virgen, para cubrir piqueras de cazuelas de vaciado de la Acería Eléctrica de Antillana de Acero. Se cubre la piquera de 7 cazuelas con el material sometido a prueba para realizar 63 coladas de acero. La resistencia térmica de la cromita cubana se pone de manifiesto durante las pruebas realizadas. Basado en estos resultados se concluye que la Cromita Cubana puede ser utilizada para cubrir piqueras de cazuelas, lo cual puede bajar considerablemente el costo del acero.

Palabras Clave: Cromita, piquera, colada de acero, resistencia térmica, cazuela de vaciado.

ABSTRACT: One of the factors with greater influence in the costs of the steel of the Antillana de Acero Steel plant is the high prices of imported materials. Therefore, it is necessary to work on replacing some imported materials. The objective of this work is to determine the capacity of the Cuban Chromite from the Mamina mine in Camaguey, in its virgin state, to cover the bottom outlet of the casting ladles of the electric steelwork in Antillana de Acero. The bottom outlet of seven ladles are covered with the material that is being tested to perform 63 steel castings. The thermal resistance of the Cuban Chromite can be seen in the test carried out. Based on these results it can be concluded that the Cuban Chromite may be used to cover the bottom outlets of the ladles which can lower the cost of the steel considerably.

Keywords: Chromite, bottom outlets, steel casting, thermal resistance, casting ladles.

INTRODUCCIÓN

Un elemento que incrementa el costo del indicador refractario en la Antillana de Acero es el alto precio de la arena importada que se emplea para rellenar la piquera de la cazuela, lo cual resulta un aumento sustancial en el costo de la tonelada de acero.

Las piqueras de las cazuelas de vaciado deben ser rellenas con un material termorresistente, para evitar que el acero fundido se asiente y solidifique dentro de ella. Este material debe ser capaz de soportar esfuerzos mecánicos, químicos, y ser resistente a la dilatación térmica a altas temperaturas sin que se produzcan filtraciones por el período de tiempo que el metal se encuentre en su superficie. La temperatura promedio a que se evacuan las hornadas puede superar los 1650 °C, mientras la temperatura promedio de subida a la Máquina de Vaciado Continuo (MVC) puede ser superior a 1640 °C.

Para el proceso de elaboración de acero en hornos de arco eléctrico (HAE), se emplean los siguientes equipamientos: la olla o cazuela de vaciado, que hace de cuerpo del horno cuchara (HC), la artesa, y la Máquina de Vaciado Continuo (MVC).

La cazuela de vaciado es un recipiente metálico revestido de elementos refractarios, con la función de recibir el metal líquido evacuado por el HAE y transportarlo al resto de las instalaciones: HC y MVC; por lo que este equipo debe tener características especiales para soportar por largo tiempo esfuerzos de toda índole, lo que sería imposible lograr sin la utilización de materiales cerámicos (Skerritt & Suárez, 2011).

La artesa es un recipiente metálico revestido de elementos refractarios, con la función de recibir el metal de la cazuela de vaciado y distribuirlo a las diferentes líneas de la MVC.

Recibido: 02/01/2025

Aprobado en su forma original: 12/04/2025

¹Empresa Siderúrgica José Martí "Antillana de Acero" Calle 20 No. 10522, Cotorro, La Habana, Cuba.

lmviera@mecanica.cujae.edu.cu

²Dpto. de Metalurgia y Materiales de la Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE,

Calle 20 No. 10522, Cotorro, La Habana, Cuba. nilda@mecanica.cujae.edu.cu

*Correo electrónico: skerritt@aacero.co.cu

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Investigación: Augusto Marino Skerritt García, Nilda Caballero Stevens y Lázaro Manuel Viera Jaime. Redacción-revisión y edición: Augusto Marino Skerritt García.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Las arenas consideradas como material de excelencia para esta función son las de zirconio, por cuanto tienen buena conductividad térmica, alta densidad aparente, buena estabilidad, no es fácil humedecer con acero fundido y otras excelentes propiedades, pero su precio es demasiado alto.

El óxido de zirconio (ZrO_2) se caracteriza por tener tres transformaciones polimórficas. Su estructura cristalina es monoclinica desde la temperatura ambiente hasta $1170\text{ }^\circ\text{C}$, tetragonal desde $1171\text{ }^\circ\text{C}$ hasta $2370\text{ }^\circ\text{C}$ y cúbica desde $2371\text{ }^\circ\text{C}$ hasta su temperatura de fusión. En consideración con el rango de operaciones de los hornos, se debe prestar atención a la transformación de tetragonal a monoclinico y viceversa ya que la misma está asociada con cambios volumétricos de 3 a 5% y a la formación de fisuras en el material cerámico. Algunos óxidos como el MgO , CaO y el Y_2O_3 , entre otros, estabilizan la fase cúbica de la zirconia desde la temperatura ambiente hasta la de fusión y evitan el fenómeno de expansión. Esta fase cúbica no experimenta transformación con lo que aumenta la resistencia a la formación de grietas. (Gómez C. & Fernández D., 2019).

Las arenas de zirconio presentan bajo coeficiente de expansión. En comparación con el cuarzo, a temperaturas por debajo de $500\text{ }^\circ\text{C}$, expansiona dos veces menos, mientras que entre 500 y $1000\text{ }^\circ\text{C}$ su expansión es tres veces menor. El peso específico de la arena de zirconio es alto, del orden de $4,7\text{ g/cm}^3$ y el coeficiente de acumulación de calor alcanza valores de $50\text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$. La arena de cromita tiene propiedades bastante similares a la arena de zirconio, empleada en lugares donde se requieran altas propiedades refractarias. (Moya L.A., 2019).

Sin embargo, las arenas de relleno a base de zircón tienen algunas desventajas en su aplicación en relación con las arenas de cromita y sílice. La base de zircón se adhiere a las paredes refractarias de la piqueta. (African Pegmatite, 2024).

Las arenas de cromita siempre son comparadas con las arenas de zirconio para cubrir la piqueta de las cazuelas y artesas por sus propiedades de resistir la dilatación térmica.

La arena de cromita es un producto de alta refractariedad con una gran resistencia a la penetración del metal. (Dionicio Chinchay RL & Tovar Figueroa JH, 2018).

En Cuba existen importantes yacimientos de cromo, por lo que esta investigación va encaminada a caracterizar y realizar pruebas con la arena cubana, a fin de determinar la posible sustitución del material importado.

Las grandes reservas de cromitas refractarias disponibles en Cuba y en particular en la provincia de Camagüey, donde existen yacimientos con más de 59 millones de toneladas, con contenidos de 30 % de Cr_2O_3 en su composición química, hacen atractiva la idea de estudiar la posibilidad de obtener cromo en el

cordón de soldadura a partir de utilizar esas cromitas en lugar del $FeCr$. (Oñoz *et al.*, 2021).

Las cromitas se clasifican según su composición química en tres tipos fundamentales: (GEOMINSAL, 2022).

- Cromitas Grado Metalúrgico.
- Cromitas Grado Químico.
- Cromitas Grado Refractario

Aunque la diferencia entre los tres grados no está muy clara y cada vez se utilizan mezclas de diferentes grados para los distintos empleos, se puede establecer lo siguiente:

Cromita Grado Metalúrgico: Su característica fundamental es que son cromitas de alto contenido de cromo ($Cr_2O_3 > 40\%$) y una relación $Cr/Fe > 3$. Se emplean en la producción de Ferrocromo y en la producción de aceros especiales. En estos procesos son perjudiciales los materiales finos por lo que se prefieren los minerales en trozos gruesos (Rajón). Los finos, para emplearse deben ser aglomerados. En gran parte estos finos se emplean en refractarios de cromitas, aunque su calidad es inferior y su precio también, así como en arenas de cromitas para moldes de fundición de aceros, que requieren resistir temperaturas más altas.

Cromita Grado Químico: Su característica fundamental es que son cromitas de alto contenido de cromo (menor generalmente que el metalúrgico), pero el contenido de hierro es más alto $Cr/Fe < 3$. En ella es muy perjudicial la presencia de Al_2O_3 , pues incrementa los consumos de reactivos en la producción de sales de cromo.

Cromita Grado Refractario: Se caracterizan por poseer un alto contenido de Al_2O_3 (25 - 32%) y por tanto un contenido moderado de Cr_2O_3 (30 - 38 %), generalmente se exige un contenido de $Cr_2O_3 + Al_2O_3 > 58\%$. Esto se debe a que en el mineral de cromo parte del Cr^{+3} es sustituido por Al^{+3} , de ahí sus características altamente refractarias.

En el caso de las cromitas cubanas que actualmente se explotan, son del grado refractario, generalmente del tipo de cromo espinela con alto contenido de cromopicotita de Al_2O_3 (25 - 30 %), alto contenido de MgO (16 - 18 %), contenido moderado de Cr_2O_3 (28 - 36 %) y bajo contenido de FeO ($< 15\%$). Esta constitución química unida a sus propiedades físicas por ser un mineral macizo, de alta dureza, le confieren propiedades inmejorables para la fabricación de refractarios básicos, al nivel de los mejores del mundo (tipo filipino). Estos refractarios se emplean en altos hornos de acero, en la producción de vidrio, cemento, etc. También se emplea con éxito desde hace años en la industria nacional como arena de cromitas para moldes de fundición de acero. Por su alta refractariedad y dureza posee características inmejorables para este empleo a nivel internacional,

aunque no tenga contenidos altos de cromo (por ser de alta alúmina como se explicó anteriormente). Por último, se pudiera plantear que los finos de cromita (granulometría < 0.074 mm), se usan como pinturas de moldes de fundición, lo cual mejora el acabado de las piezas.

Entre los óxidos que acompañan a la cromita cubana se encuentran el MgO, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃ y CaO, siendo los fundamentales Cr₂O₃, MgO y la Al₂O₃.

El MgO es un óxido básico muy empleado en la metalurgia. El material que se emplea en los hornos para producir metales, debe resistir condiciones difíciles durante su trabajo a elevadas temperaturas, ello incluye: a) corrosión y erosión por sólidos, líquidos, humos y gases y b) cargas termomecánicas generadas en diferentes partes del horno. Las cerámicas refractarias se emplean en los hornos y alrededor del 70% de la producción mundial es utilizada en la industria metalúrgica. Los refractarios básicos (principalmente los de magnesita), constituyen una de las familias más importantes y se emplean en la cazuela metalúrgica, en hornos eléctricos de arco, en hornos básicos de oxígeno y en hornos especiales para la metalurgia no ferrosa. El problema surge debido al rápido deterioro (por desgaste, grietas, corrosión química surgida durante la fusión del metal) del refractario debido a su trabajo bajo condiciones extremas, lo cual requiere de una gran erogación de dinero para el mantenimiento o restitución del refractario dañado año tras año. (Fernández Gonzáles, 2022).

En la industria del acero existe la tendencia a utilizar refractarios moldeables con altos contenidos de alúmina y de espinelas. Ambos, la espinela Al₂O₃ y los refractarios Al₂O₃-MgO están siendo reemplazados por la nano- Al₂O₃ debido a sus propiedades superiores y su menor costo. La adición de nano- Al₂O₃ promueve la densificación de refractarios de MgO-C debido a la formación de MgAl₂O₄, AlN, y fases Al₄C₃. La nano- Al₂O₃ también mejora la resistencia a la oxidación de los refractarios de MgO-C. Se ha demostrado que cuando el tamaño de las partículas de Cr₂O₃ se reduce hasta (20 nm, la densidad del refractario MgO se reduce hasta temperaturas relativamente bajas de ≈ 850 °C. (Gómez C, 2020).

El cerámico óxido de aluminio o alúmina (Al₂O₃) es uno de los óxidos más estables debido a los enlaces iónicos y covalentes entre los átomos de Al y O. Se ha utilizado en implantes ortopédicos desde 1970 debido a su excelente biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, alta dureza, resistencia al desgaste, bajo coeficiente de fricción, estabilidad de fase y una resistencia mecánica suficiente para resistir la fatiga. Las razones de la excelente resistencia al desgaste y comportamiento de fricción están asociadas con la energía de superficie y suavidad de la superficie de este cerámico. (Reyes S.Y & López, 2020).

Una importante cantidad de materiales refractarios silicoaluminosos poseen mullita en su composición. Esta es una fase cristalina en el sistema SiO₂-Al₂O₃, la cual se caracteriza por tener buenas propiedades termomecánicas, como altos módulos de ruptura, buena resistencia al choque térmico, resistencia a la abrasión, resistencia al ataque de metales fundidos y a cierto tipo de escorias, estabilidad química, etc. Estas características de la mullita, sumado a elevado punto de fusión (≥ 1800°C), hacen que sea un material de interés tecnológico y de gran aplicación en procesos industriales a elevadas temperaturas. (Mocciaro A. *et al.*, 2017).

El Fe₂O₃, también presente en la cromita, suele no aportarle propiedades beneficiosas al material. Los resultados han mostrado que las mezclas con altos contenidos de Fe₂O₃ (>4% en peso) no son adecuados para la formación de vitrocerámicos. Estos resultados se asocian a la alta estabilidad del vidrio debido a la presencia de Fe³⁺, el cual incrementa la conectividad y estabilidad de la estructura vítrea. (Montoya E. *et al.*, 2020).

A temperaturas muy altas, el FeO se disuelve y forma una espinela secundaria. Esta espinela cambia el volumen de la capa sinterizada y provoca agrietamiento cuando se abre la compuerta deslizante. (African Pegmatite, 2024).

La arena empleada en el tape de la piquera de la cazuela y la artesa es importada y tiene un precio considerable, lo cual representa un gran peso en el costo de la tonelada de acero, es por ello la importancia que adquiere esta investigación.

El objetivo del trabajo es la determinación de la capacidad de la Cromita Cubana de la Mina Mamina, de Camagüey, en estado virgen, para cubrir piqueras de cazuelas de vaciado y artesas de la Acería Eléctrica de Antillana de Acero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material estudiado es la arena de la mina Mamina de la provincia de Camagüey, República de Cuba, se envasó en bolsas de 10 kilogramos para depositarlas en la piquera de las cazuelas de vaciado de la Acería Eléctrica. La arena es de color negro parduzco, con 10% de humedad natural y densidad de 3,8 a 4,2 g/cm³. Su composición química se determinó según la norma cubana NC 40-14 de 1983, mostrada en la *tabla 1*. La granulometría se determinó según la norma NC 631:2008, mostrada en la *tabla 2*.

La arena no se sometió a ningún proceso de preparación antes de ser aplicada, puesto que solo se deseaba comprobar las propiedades termorresistentes del material virgen.

Para su aplicación se lanzaron tres bolsas a la piquera de las cazuelas, con lo cual se procedió a su relleno. Las bolsas se colocaron de forma tal que adoptaran la forma de un menisco convexo.

Este procedimiento se aplicó a 7 cazuelas, en las que se vaciaron 63 hornadas de acero al carbono. Ellas se identificaron con los números 4, 6, 19, 24, 26, 33 y 34.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis químico promedio realizado a las Arenas de la Mina Mamina se muestra en la **tabla 1**, también se coloca la composición de la Arena Pexam, para establecer comparación.

Tabla 1. Composición química de la cromita Mina Mamina de Camagüey y la arena Pexam.

Material	Propiedades químicas %						
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO
Arena Mina Mamina	26 - 28	5,0	12,0	≤28,0	18,0	1,0	-
Arena Pexam	14,51	14,46	24,39	38,80	7,50	-	-

Si realizamos una comparación de la Cromita cubana (Mina Mamina) con la Cromita española (Arena Pexam), veremos que hay cierta diferencia entre los principales óxidos que garantizan la refractariedad del material. Exceptuando el Cr₂O₃ que es más bajo en la Cromita cubana, el MgO y la Al₂O₃ son más altos en la cubana que en la española, lo que le confiere propiedades especiales.

Como se acota arriba en el caso de las Cromitas cubanas que actualmente se explotan, son del grado refractario, generalmente del tipo de cromo espinela con alto contenido de cromopicotita de Al₂O₃ (25 - 30 %), alto contenido de MgO (16 - 18 %), contenido moderado de Cr₂O₃ (28 -36 %) y bajo contenido de FeO (< 15 %). Esta constitución química unida a sus propiedades físicas por ser un mineral macizo, de alta dureza, le confieren propiedades inmejorables para la fabricación de refractarios básicos, al nivel de los mejores del mundo. (GEOMINSAL, 2022).

El resultado promedio de la determinación de la granulometría de la Cromita Mina Mamina de Camagüey se muestra en la **tabla 2**, también se coloca la granulometría de la Arena Pexam.

Tabla 2. Granulometrías de la Cromita cubana y Arena Pexam.

Material	Granulometría %		
	>1 mm	0.1-1 mm	<0.1 mm
Arena Mina Mamina	8	67	25
Arena Pexam	0,0	99,3	0,7

Si establecemos una comparación de granulometrías, veremos que la Arena Pexam tiene un 99.3% de granos entre 0.1-1.0 mm y los granos menores

que 0.1 mm no alcanzan el 1%, cuestión que favorece la apertura libre de la piqueta cuando se acciona el cierre de corredera. En nuestro caso solo necesitamos experimentar si a pesar de no tener la Cromita cubana en estado virgen, como es lógico, para ello habría que prepararla, una granulometría del rigor que establece la Arena Pexam, es capaz de mantener la capacidad de no permitir la filtración de metal a través del material.

Para comprobar si la arena cubana cumple con los requisitos para cubrir la piqueta de las cazuelas de vaciado de acero, fueron seleccionadas 7 cazuelas. Cada una de ellas recibe desde el HAE, un promedio de 70 toneladas de acero al carbono en cada hornada. Una vez recibida la carga metálica, la cazuela se estaciona en el HC para realizar el afino del metal y una vez obtenidos los parámetros de composición química, temperatura y limpieza de las impurezas, subir a la MVC, donde se cuela para obtener la palanquilla.

Las cazuelas conservan la numeración que se emplea en la acería para su trabajo cotidiano. Durante la etapa experimental se mantuvo el control de la cantidad de hornadas vaciadas sin que se observara hasta el final del proceso filtración de metal a través del material de la piqueta. La presencia de filtraciones de metal es un factor invalidante para la correcta utilización de las arenas en las piquetas.

En la **tabla 3** se incluyen los resultados obtenidos al vaciar el acero en cazuelas, en cuya piqueta se aplicó la arena de cromita.

Tabla 3. Resultados de los experimentos.

No. de orden	No de cazuela	Cantidad de hornadas
1	4	6
2	6	7
3	19	12
4	24	10
5	26	9
6	33	15
7	34	4
Total	7	63

Las propiedades más importantes de una arena de relleno son la granulometría, la baja expansión térmica, la flexibilidad, composición y embalaje. Estas propiedades tienen un impacto significativo en la formación de la corteza sinterizada y su desempeño cuando la arena de relleno hace contacto con el acero líquido. (Dionicio Chinchay RL & Tovar Figueroa JH, 2018).

Los resultados obtenidos demuestran que la Cromita cubana presenta baja expansión térmica, buena flexibilidad y adecuada composición química. Este experimento avala el empleo de dicha arena para cubrir la piqueta de las cazuelas.

CONCLUSIONES

1. No se observa filtración de las cazuelas por la zona en que se aplica la cromita.
2. Es posible la utilización de la Cromita cubana para cubrir piqueras de cazuelas de vaciado de acero, con lo cual se logra el empleo de materias primas nacionales, disminuyéndose el costo de la producción de acero.
3. La Cromita cubana presenta baja expansión térmica, buena flexibilidad y adecuada composición química.

BIBLIOGRAFÍA

- African Pegmatite. 2024. Arena de relleno de fundición. Tipos. Usos y Ventajas. <<https://mineralmilling.com/es/arenas-de-relleno-de-fundicion-tipos-usos-y-ventajas>> [Consultado: Octubre 30, 2024].
- Dionicio Chinchay, Roger Luis & Tovar Figueroa, Jairo Humberto. 2018. Producción de acero en horno de inducción en Aceros del Perú S.A.C: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Disponible en: <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/950/browse?type=author&value=Dionicio+Chinchay%2C+Roger+Luis>> [Consultado: Octubre 30, 2024].
- GEOMINSAL. 2018. Cromo. Disponible en: < <https://www.geominsal.cu/wpcontent/uploads/2018/02/Cromo.pdf> > [Consultado: Diciembre 2, 2022].
- Fernández González D. 2022. MgO-ZrO₂ Ceramic Composites for Silicomanganese Production. Disponible en:< <https://www.researchgate.net/profile/>> [Consultado: Diciembre 10, 2024].
- Gómez & Fernández, 2019. MgO Refractory Dope. Disponible en: <<https://www.researchgate.net/publication/338126843> > [Consultado: Diciembre 1, 2019].
- Gómez C. & *et al.* 2020. Development of an Ultra-Low Carbon MgO Refractory Doped with α -Al₂O₃ Nanoparticles for the Steelmaking Industry: A Microstructural and Thermo-Mechanical Study. Disponible en:< <https://www.researchgate.net/publication/339074782Development>> [Consultado: Diciembre 1, 2019].
- Mocciaro A., Lombardi, María B. & Nestor Scian, A. 2017. "Desarrollo de materiales cerámicos refractarios de baja densidad a partir de agentes ligantes nanoestructurados y carbón". Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol. 56 (Núm. 6), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.05.003>. Disponible en:<<https://www.elsevier.es/es-revista-boletin-sociedad-espanola-ceramica-vidrio>> [Consultado: Marzo 15, 2024].
- Moya Rodríguez LA, 2019. Caracterización de una mezcla de moldeo tipo única con elementos refractarios. Disponible en: < <https://www.dspace.uclv.edu.cu> > [Consultado: Octubre 30, 2024].
- Montoya E. & *et al.* 2020. Nuevos materiales vitrocerámicos basados en mezclas ternarias y cuaternarias de residuos industriales, escoria siderúrgica, escoria de cobre, ceniza volante y vidrio de ventana. Disponible en: < <https://www.science-direct.com/science/article/mii/S036631752033> > [Consultado: Octubre 30, 2024].
- Oficina Nacional de Normalización. 1983. Minerales. Cromita refractaria. Análisis químico. Norma Cubana NC: 40-14:1983, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización. 2008. Minerales. Análisis granulométrico por tamizado. Requisitos generales. Norma Cubana NC: 631:2008, Cuba.
- Oñoz P. & otros. 2021. Evaluación de las cromitas refractarias de Camagüey como fue potencial de cromo para electrodos revestidos de recargue por soldadura. Min. Geol. vol.37 (No.1).
- Reyes SY & López. 2020. Formato de Reporte Técnico. Disponible en: < <https://www.Cathi.uaej.mx/bitstream/handle/20.500.11961/22069/> > [Consultado: Octubre 30, 2024].
- Skerritt & Suárez, 2011. Informe técnico de la Empresa Antillana de Acero. Estudio de mejoramiento de la durabilidad de las cazuelas de vaciado del Taller Acería Eléctrica de Antillana de Acero, pág. 23.