

Electrodo cinta con revestimiento de rutilo y cromita refractaria destinado al recargue de piezas expuestas a desgaste adhesivo

Tape electrode with coating of rutile and refractory chromite destined for recharging the parts exposed to adhesive wear

Pablo Oñoz Gutiérrez^{1,*}, Manuel Rodríguez Pérez², Lorenzo Perdomo González², Luis Lázaro González Mustafá¹, Juan Carlos de Zayas Rivero¹

¹ Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFREP). Universidad de Camagüey. Circunvalación norte km 5½. Camagüey, Cuba.

² Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera de Camajuaní km 5½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

*Autor de correspondencia: pablo.onoz@reduc.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](#)



Recibido: 17 mayo 2021 **Aceptado:** 1 junio 2021 **Publicado:** 1 de septiembre 2021

Resumen

La utilización de minerales como la cromita refractaria en la composición del revestimiento constituye una posibilidad para la sustitución del FeCr como fuente de Cr en los electrodos tipo cinta con núcleo rectangular para el recargue por soldadura. En este trabajo se presenta la problemática de evaluar el comportamiento operativo de los electrodos en función de la composición del revestimiento. El objetivo consistió en determinar la influencia de la cromita refractaria y el grafito sobre el comportamiento operativo y las propiedades del metal depositado por un electrodo tipo cinta y revestimiento de rutilo. El desempeño operativo se evaluó de forma cualitativa aplicando un criterio de expertos. Se determinó de forma experimental el efecto de la composición del revestimiento sobre la composición química y la dureza del metal depositado por los electrodos. Los resultados reflejan que la introducción de cromita y grafito en la composición del revestimiento de rutilo no provocan cambios significativos en las propiedades operativas del electrodo. Finalmente se comprueba que es posible alear el cordón de soldadura con más de 2% de Cr y más de 1,1% de C, mediante la reducción carbotérmica de la cromita refractaria, a partir del calor aportado por el arco eléctrico durante el recargue por soldadura con electrodos revestidos.

Palabras clave: electrodo cinta, cromita, recargue, revestimiento de rutilo, propiedades operativas

Abstract

The use of minerals such as refractory chromite in the coating composition is a possibility for the replacement of FeCr as a source of Cr in tape-type electrodes with a rectangular core for recharging by welding. The work presents the problem of evaluating the operating behavior of the electrodes depending on the composition of the coating. The objective consisted in determining the influence of refractory chromite and graphite on the operating behavior and the properties of the metal deposited by a ribbon-type electrode and rutile coating. Operational performance was qualitatively evaluated by applying expert criteria. The effect of the coating composition on the chemical composition and hardness of the metal deposited by the electrodes was determined experimentally. The results reflect that the introduction of chromite and graphite in the rutile coating composition does not cause

significant changes in the operating properties of the electrode. Finally, it is verified that it is possible to allocate the weld bead with more than 2% of Cr and more than 1.1% of C, by means of the carbothermic reduction of the refractory chromite, from the heat contributed by the electric arc during the recharging by welding with coated electrodes.

Keywords: electrode tape, chromites, recharge, operating properties, rutile coated

1. Introducción

En Cuba, los electrodos rutílicos para soldadura constituyen el consumible exclusivo que se produce en sus fábricas, por tanto todos los electrodos empleados en la recuperación de piezas son importados. Dichos electrodos tienen un precio muy superior a los electrodos convencionales para soldadura. Por ejemplo, el electrodo UTP 620 muy utilizado en la industria azucarera para el recargue de una amplia variedad de piezas, tiene un precio superior en más de 10 veces al del electrodo E6013.

Según la especificación AWS A5.13/A5.13M de la Sociedad Americana de Soldadura, en la composición química de la mayoría de los electrodos para recargue el Cr está presente. Se conoce como un fuerte formador de carburos dentro de este sistema de aleación y el aumento de su contenido incrementa la dureza y resistencia al desgaste [1]. La principal fuente de cromo en estos electrodos la constituye el FeCr introducido en el revestimiento.

Esta ferroaleación en Cuba no se produce debido a que la mayoría de las cromitas son refractarias y al alto consumo energético requerido para su producción [2]. Sin embargo, las grandes reservas de cromitas refractarias disponibles en el país y en particular en la provincia de Camagüey [3], constituyen una fuente potencial para la obtención de Cr en el cordón de soldadura, a partir de su introducción en el revestimiento de electrodos para recargue.

En el campo de la metalurgia se reporta que la aleación directa con Cr a partir de la cromita, es una tecnología de fundición alentadora para producir aceros aleados [4]. No obstante, en la bibliografía no se han encontrado reportes acerca del empleo de cromitas refractarias como fuente de Cr, en mezclas para revestimientos de electrodos de recargue por soldadura, lo cual puede favorecer desde el punto de vista económico su producción, considerando que el precio de este mineral es inferior al del FeCr en polvo de bajo por ciento de C.

En el caso particular de los procesos de soldadura, si se garantiza la reducción carbotérmica de determinadas cantidades de cromita refractaria, utilizada en la masa del revestimiento de los electrodos, bajo el efecto del calor del arco eléctrico es posible la transferencia de Cr al metal depositado [5]. De esta manera se conseguiría obtener recargues con aportes no elevados de Cr, recomendados para piezas expuestas al desgaste por adhesión y baja abrasión, de acuerdo a lo reportado por la especificación AWS A5.13: 2010.

Para garantizar la reducción carbotérmica de la cromita es necesario la utilización de un agente reductor que en este caso puede ser el C, utilizado con éxito en otros trabajos [6]. Este elemento adicionado al revestimiento en forma de grafito, favorece la presencia en la capa de recargue de determinadas microestructuras, como por ejemplo; la martensita, la cual incrementa la resistencia al desgaste adhesivo y a la abrasión de baja intensidad [7].

Por otra parte, en la recuperación de piezas con grandes superficies planas, mediante el recargue por soldadura manual por arco eléctrico, es importante obtener un metal depositado con elevada

resistencia al desgaste, y al mismo tiempo una alta productividad durante el proceso. El incremento del ancho del cordón en cada pasada, repercute de forma positiva en una menor dilución y en mejores propiedades mecánicas del metal depositado, así como un incremento de la productividad. Estas propiedades pueden obtenerse mediante la utilización de electrodos revestidos con núcleo de sección rectangular [8].

A partir de las consideraciones anteriormente señalas, en el presente trabajo se evalúa la influencia de la composición del revestimiento sobre el comportamiento operativo y las propiedades del metal depositado por un electrodo con núcleo de sección rectangular y revestimiento de rutilo combinado con cromita refractaria y grafito.

2. Materiales y Métodos

Características del núcleo y el revestimiento del electrodo

El núcleo del electrodo se fabricó de acero AISI 1020 con las siguientes dimensiones: ancho 10 mm, espesor 3 mm y largo 130 mm. El espesor del revestimiento es de 2 mm y el largo de 100 mm. Con el objetivo de garantizar un buen comportamiento operativo del electrodo, en el estudio se decidió mantener en la composición del revestimiento, un 50% de la masa utilizada en la fabricación de electrodos para soldadura del tipo rutilo E6013, de acuerdo a la clasificación de la especificación AWS A5.1.

La cromita refractaria utilizada proviene de la mina Victoria I de la provincia de Camagüey, cuya composición química se muestra en la Tabla 1. Este tipo de cromita posee cantidades significativas de espinela cromífera, acompañada fundamentalmente por clorita y serpentina [3].

Tabla 1. Composición química del concentrado de cromo, en %-masa

Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	FeO	CaO
31,13	28,05	19,71	5,62	13,60	0,5

Como agente reductor se empleó el C en forma de grafito de tipo plateado con pureza técnica. Estos componentes (arena de cromita y grafito granulado) fueron triturados en un molino de bolas y tamizados para obtener una fracción con tamaño de grano: $0,125 \geq X \leq 0,25$ mm [9]. Como aglutinante de los componentes de la mezcla del revestimiento se utilizó el silicato de sodio, constituido por (SiO₂: 29,29 %, Na₂O: 10,20 % y H₂O: 60,51%) y un módulo de 2,87.

Para la investigación se ha asumido que el 50% del total de la composición del revestimiento a estudiar está constituido por una mezcla base de rutilo (matriz) [9]. Esto conlleva a que la suma del resto de los componentes de la mezcla (cromita y grafito) sea dosificada en base a un 50%. Las cantidades de cromita (X1) y grafito (X2) deben tener una determinada relación para garantizar el fenómeno de la reducción carbotérmica. A partir de estudios realizados [5, 10, 11] se ha determinado que las variaciones de cromita y grafito de acuerdo a las mezclas a utilizar en los experimentos deben de estar en un rango que se enmarca dentro de las fronteras: $25 \leq X1 \leq 40\%$; $10 \leq X2 \leq 25\%$, cumpliéndose $\Sigma (X1: X2) = 50\%$.

Para el estudio se empleó la siguiente dosificación de los componentes del revestimiento: mezcla de rutilo: 50%; cromita refractaria: 40%, grafito: 10%, para un 100% de mezcla. Con esta dosificación se realizaron cinco replicas experimentales.

Fabricación de los electrodos

Los componentes del revestimiento fueron dosificados mediante pesaje en una balanza técnica con una precisión de 0,01 g y el mezclado para su homogenización se realizó en un tambor rotatorio durante 30 min. Luego de mezclada la masa seca, ésta fue aglutinada con un 30% de silicato de sodio respecto al peso de la misma. La aplicación del revestimiento se realizó mediante el prensado de la mezcla al núcleo de los electrodos utilizando un juego de moldes [8]. Los electrodos (Figura 1) se secaron al aire por 24 h y en estufa por 2 h a una temperatura de 120 °C.

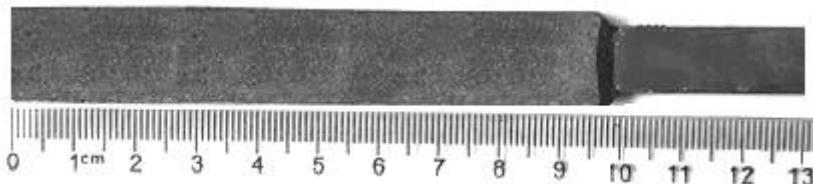


Fig.1 Electrodo revestido con núcleo de sección rectangular de 10 x 3 mm

Evaluación del desempeño operativo del electrodo en estudio

El electrodo se sometió a pruebas de soldadura con la técnica de arrastre sin oscilación, empleando el régimen de soldadura mostrado en la Tabla 2. La soldadura se realizó por un soldador calificado utilizando como fuente de alimentación un rectificador tipo SPB 350. El metal base empleado fue un acero AISI 1010 con las siguientes dimensiones: 100 x 50 x 10 mm. Los cordones se depositaron en una longitud de \approx 90 mm y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Tabla 2. Régimen de soldadura empleado en la experimentación

Intensidad de la corriente (A)	Tipo de corriente y polaridad	Velocidad de soldadura (cm/min)
200 \pm 5	CDPN*	18

* Corriente directa de polaridad normal (electrodo negativo)

Basado en trabajos previos [1, 8], se utilizó un sistema de expertos para evaluar cualitativamente la operatividad del electrodo. De acuerdo a la metodología, en la Tabla 3 se muestran las propiedades estudiadas para el consumible y la evaluación que obtendría en cada caso, según su comportamiento. En el presente trabajo participaron como expertos cinco especialistas en tecnología de soldadura con más de 20 años de experiencia.

Determinación de la composición química y la dureza del metal depositado

Las probetas para el análisis de composición química se fabricaron siguiendo las indicaciones de la especificación AWS A.13: 2010 a partir de un acero AISI 1010. Para el relleno se empleó corriente directa con polaridad normal con la intensidad de corriente seleccionada. El relleno fue continuo, con pausas para la limpieza y cambio de electrodos. Al terminar la soldadura las probetas se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente y a continuación se esmerilaron para uniformar la superficie. El análisis de composición química se realizó en el equipo de espectrometría por emisión óptica de marca SPECTRO, modelo Spectromax del año 2017.

Para determinar la dureza en el metal depositado, se depositaron cordones de soldadura de \approx 90 mm de longitud en probetas de acero AISI 1010 de 100 x 50 x 10 mm. El ensayo de dureza se realizó según las indicaciones de la norma ISO 6508, en un durómetro Rockwell modelo HS 200 del año 2017. Las mediciones se realizaron en la pasada única siguiendo la secuencia siguiente: en cada probeta se depositó un cordón de soldadura que se dejó enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Posteriormente se limpió la escoria y las salpicaduras, y se esmerilaron los cordones para uniformar las superficies.

Tabla 3. Criterios para definir la operatividad del electrodo

Propiedades evaluadas	Observación	Evaluación
Desprendimiento de la escoria	Se desprende una vez terminada la soldadura	Excelente
	Se desprende fácilmente con golpes ligeros con la piqueta	Buena
	Se desprende con golpes reiterados con la piqueta	Regular
	La escoria queda atrapada al reiterar los golpes	Mala
Sanidad del cordón	No se aprecian defectos	Excelente
	Pocos defectos pequeños	Buena
	Defectos grandes aislados o en colonias	Regular
	Muchos defectos en todo el cordón	Mala
Aspecto del cordón	El cordón es uniforme en ancho y altura	Excelente
	El ancho es uniforme y la altura presenta irregularidad	Buena
	El ancho y la altura son irregulares	Regular
	Cordón muy irregular y discontinuo	Mala
Estabilidad del arco	El arco arde estable y funde parejo el revestimiento	Excelente
	El arco es estable pero se producen salpicaduras	Buena
	El arco arde con dificultad y el electrodo tiende a soldarse	Regular
	El arco es muy inestable y se apaga a ratos, el electrodo funde mal	Mala

3. Resultados y Discusión

Desempeño operativo del electrodo

La evaluación de las características operativas del electrodo se realizó de forma cualitativa mediante el criterio de expertos de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Desempeño operativo del electrodo en estudio

Exp.	Desprendimiento de la escoria	Sanidad del cordón	Aspecto del cordón	Estabilidad del arco
1	Bien	Excelente	Excelente	Bien
2	Bien	Bien	Regular	Bien
3	Bien	Excelente	Excelente	Bien
4	Bien	Excelente	Bien	Bien
5	Bien	Bien	Bien	Bien

El desprendimiento de la escoria se evaluó de bien en todos los cordones de soldadura (Tabla 4). De igual modo, la estabilidad del arco resultó buena en todas las soldaduras; aunque el arco ardió estable se generaron muchas salpicaduras. Es importante señalar que las salpicaduras en su mayoría no eran metal fundido, se trató de grumos de escoria y óxidos provenientes de la ganga del mineral y exceso de grafito (Figura 2a). Los mismos se removían con facilidad mediante el cepillado manual y no afectaron la calidad del cordón de soldadura, Figura 2 (1-5).



Fig.2 Cordones de soldadura experimentales

El aspecto del cordón se evaluó de excelente en el 40% de los cordones de soldadura, mientras el 40%, fue evaluado de bien y el resto (20%) de regular, dado por una mayor velocidad de fusión del electrodo y gran cantidad de escoria y gases que resulta difícil de controlar por el soldador no adestrado en el empleo de este tipo de electrodo.

La sanidad del cordón se evaluó de excelente en el 60% de los casos, mientras el resto (40%) resultó bien, debido a defectos de forma, dado por irregularidades en las conchas y pequeñas cavidades gaseosas superficiales. Estas últimas, están dadas por los gases que quedan atrapados entre la escoria y el metal fundido solidificado, debido a que la naturaleza de la escoria dificulta la salida de los gases durante la solidificación del baño metálico, siendo estos abundantes durante la fusión del electrodo.

La mayor afectación en las propiedades operativas está dada por las salpicaduras y grumos que se forman durante la fusión del electrodo y afectan la estética del cordón de soldadura sin limpiar. Este comportamiento se debe a la composición de la cromita, en la cual se encuentran los óxidos de Al_2O_3 , MgO y CaO que poseen una elevada estabilidad química y por tanto no resulta posible efectuar su reducción y pasan a formar parte de la escoria [12].

Efecto de la cromita y el grafito sobre la composición química del metal depositado

El resultado del análisis de composición química del metal depositado con las diferentes réplicas del electrodo se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición química del depósito (en %-masa)

Muestras	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	1,13	0,253	0,255	0,0461	0,0148	2,43
2	1,22	0,243	0,265	0,0468	0,0138	2,28
3	1,31	0,237	0,253	0,0391	0,0132	2,31
4	1,38	0,246	0,253	0,0448	0,0142	2,37
5	1,16	0,258	0,265	0,0422	0,0132	2,14
Promedio	1,24	0,2474	0,2582	0,0438	0,01384	2,31

El grafito tiene una influencia favorable sobre la cantidad de C en el cordón de soldadura, y puede estar en solución sólida con el Fe o formando carburos de Fe o de Cr, mientras que la cromita no contribuye a la trasferencia del C al cordón de soldadura. Esto se debe a que los óxidos FeO , SiO_2 y Cr_2O_3 son reducidos por el C según las reacciones (1-3), lo cual consume parte del C adicionado a la mezcla.





De acuerdo a la Tabla 5 existe una contribución favorable de la cromita sobre la composición química del cordón de soldadura en cuanto al aporte de Cr. Este resultado es totalmente lógico debido a que el componente portador del Cr es el Cr_2O_3 y favorece la obtención de este elemento en el metal depositado [13].

El grafito ayuda a la transferencia del Cr debido a que el C reduce al Cr_2O_3 y propicia la presencia de este elemento en el cordón de soldadura en solución sólida o formando carburos. En este caso, resulta más probable desde el punto de vista termodinámico la formación del carburo del tipo Cr_7C_3 , a partir de la reducción carbotérmica, al requerir una temperatura más baja para su formación [14].

A partir de los resultados de la composición química mostrados en la Tabla 5, se puede hacer un análisis de las particularidades de la aleación obtenida con los electrodos fabricados. En el caso del C, el promedio es de 1,24%, lo que está en correspondencia con los aceros hipereutectoides. Si además, se considera el contenido de Cr (2,31%), la aleación es semejante a un acero de baja aleación de alto carbono. Estos aceros se caracterizan por su alta dureza después del tratamiento térmico (temple + revenido) y elevada resistencia al desgaste adhesivo y abrasión de baja tensión, [15].

Los valores de dureza de los depósitos, realizados con los electrodos fabricados a partir de la mezcla del revestimiento experimental, se muestran en la Tabla 6. La dureza en la primera capa con enfriamiento al aire, varía entre 53,6 y 57,8 HRC, con un valor promedio de 55,2 HRC. Tanto la cromita como el grafito resultan significativos para la magnitud de la dureza. Esto se debe a que el grafito aporta C a la aleación y la cromita es fuente de Cr, incrementándose la templabilidad del depósito. En estado de fusión el Cr es capaz de sustituir los átomos de Fe del acero y formar una solución sólida que aumenta la resistencia mecánica y la dureza del cordón. Además, la atmósfera gaseosa de alta temperatura y alto contenido de CO favorece el proceso de formación de carburos en el metal depositado [16]. El Cr es un formador de carburos como son la cementita aleada $(Fe,Cr)_3C$ y otros; es además un fuerte promotor de perlita, pues aumenta la solubilidad del carbono en la austenita e inhibe así la formación de la ferrita. Pero también es un promotor de temple y carburos durante la solidificación [17, 18].

Tabla 6. Dureza en los cordones de soldadura en la primera pasada, en HRC

Muestras	Puntos de medición			Dureza promedio
	1	2	3	
1	57,8	58,6	57	57,8
2	54	55,6	55,3	55,0
3	53	54,4	53,3	53,6
4	54,2	53,5	55,6	54,4
5	54,1	56	55,7	55,3

De igual modo, el Cr ejerce una gran influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del acero. Dentro de sus beneficios está el elevar la resistencia al desgaste, la dureza y la templabilidad [19].

4. Conclusiones

Se demostró la viabilidad de alear el cordón de soldadura con Cr (hasta 2,31%) utilizando un electrodo con núcleo de sección rectangular, con revestimiento de rutilo con cromita refractaria y grafito, durante el recargue por soldadura manual por arco eléctrico. Esto se debe a que se garantiza

la reducción carbotérmica de la cromita, a partir del calor aportado por el arco eléctrico. Las propiedades operativas del electrodo resultaron buenas, no obstante durante la fusión se manifestaron muchas salpicaduras y grumos que afectan la estética del cordón de soldadura sin limpiar. Esto se debe a la composición de la cromita, en la cual se encuentran los óxidos de Al_2O_3 , MgO y CaO que poseen una elevada estabilidad química y por tanto no resulta posible efectuar su reducción y pasan a formar parte de la escoria. Por otra parte, la utilización de las cromitas refractarias en el revestimiento como fuente de Cr, demuestran la posibilidad sustituir al FeCr en la fabricación de consumibles con aportes no elevados de este elemento destinados al recargue.

Referencias

1. Ortiz, T., *Desarrollo de un electrodo tubular revestido a partir de una ferroaleación del sistema Fe-Cr-Mn-Si-C para el recargue de piezas sometidas a desgaste abrasivo*. Tesis de Doctorado, 2018. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
2. González, J.E., Quintana, R., Arniella, A., Rodríguez, A., Alujas, A., *Evaluación del proceso de reducción aluminotérmica de un concentrado cromífero del yacimiento Merceditas*. Revista CENIC de Ciencias Químicas, 2008. **39**(1): p. 23-28.
3. Chang, A., Cabrera, I., Toledo, C. *Estudio mineralógico de cromititas de la mina “Victoria I”, Camagüey, Cuba*. Infomin, 2018. **10**(2): p. 3-13.
4. Xianfeng, H., *Studies on carbothermic reduction of chromite in the presence of FeOx*. Tesis de Doctorado, 2016. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. Luleå University of Technology.
5. Oñoz, P., Rodríguez, M., Perdomo, L., Quinta, F., Acosta, U., *Evaluación de las cromitas refractarias de Camagüey como fuente potencial de cromo para electrodos revestidos de recargue por soldadura*. Minería y Geología, 2021. **37**(1): p. 44-57.
6. Perdomo L., Quintana R., Cruz A., Gómez C.R., *Obtaining of components of fluxes for submerged arc welding from the carbothermic reduction of chromite refractory*. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 2017. **40**(1): p. 42-51.
7. García, A., Río, C., Varela, A., Naya, S., Losada, R., García, L., *Influencia del carbono y el cromo en el comportamiento tribológico de aleaciones férreas*, Revista de Metalurgia, 2005. **41**(Extra): p. 493-497. DOI: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2005.v41.iExtra.1083>.
8. Oñoz, P., De Zayas, J.C., Rodríguez, M., Fernández, J., *Evaluación operacional y de consumo de un electrodo revestido con núcleo rectangular, destinado para el relleno de piezas*. Revista Centro Azúcar, 2020. **47**(4): p. 12-21.
9. González, O., Gómez, C.R., Bernabé, U., *Metodología para la selección de la mejor variante entre electrodos de doble revestimiento para recargue*. TecnoLógicas, 2020. **23**(49): p. 72-80. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1608>.
10. Cruz, A., Perdomo, P., Quintana, P., Scotti, A., *Fundente para Recargue por Soldadura con Arco Sumergido a Partir de Ferrocromo-manganoso y Escoria de la Reducción Simultánea de Cromita y Pirolusita*. Soldagem & Inspeção, 2019. **24**: e2424. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI24.24>.
11. Perdomo, L., Quintana, R., Cruz, A., Gómez, C.R., *Obtención en horno eléctrico de arco de aleaciones del sistema Fe-Mn-Cr-C y escorias destinadas al desarrollo de consumibles de soldadura*. Minería y Geología, 2018. **34**(1): p. 92-107.
12. Cruz, A., Díaz, E.D., Scotti A., *Efecto de la pirolusita, la caliza+fluorita y el ferrocromomanganoso sobre el desempeño de un electrodo básico con revestimiento periférico*. Minería y Geología, 2015. **31**(4): p. 84-99.
13. Ortiz, T., Cruz, A., Rodríguez, M., *Caracterización de depósitos de un electrodo tubular del sistema Fe-Cr-Mn-Si-C destinado al recargue de piezas sometidas a desgaste abrasivo*. Centro Azúcar, 2017. **44**(3): p. 93-100.

14. Potapov, N.N., Feklistov, S.I., Volobuev, Yu.S., *A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steels.* Welding International, 2009. **23**(10): p. 800-803. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09507110903093025>.
15. Askeland, D., Wright, W., *Ciencia e ingeniería de materiales*, 2017. 7^{ma} Ed. México, DF: Cengage Learning. ISBN: 978-607-526-063-1.
16. Volshenco, V.H., Yampolskii, B., Vinokurov, V.A., Frolov, V.V., Parajin, B.A., *Teoría de los procesos de soldadura*, 1988. 2^{da} Ed. Moscú: Vyszhaia Zhkola. ISBN 5-06-001473-8.
17. Rodríguez, M., Perdomo, L., Escobedo, J., Béjar, L., Medina, A., Soriano, J., Alfonso, I., *Ánálisis microestructural de revestimientos de fundiciones blancas hipoeutéticas con adiciones de Si y V.* Revista de Metalurgia, 2018. **54**(2): p. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.117>.
18. Fernández, A.R., Cruz, A., Ariza, R.A., Scotti, A., Guedes, A., *Caracterización de depósitos obtenidos con electrodos tubulares revestidos para el recargue de medios de labranza sometidos a desgaste abrasivo en el sector azucarero.* Revista Centro Azúcar, 2014. **42**(2): p. 1-11.
19. Gresesqui, E., Rodríguez, I., González, T., *Caracterización del acero 70XL empleado en la fabricación de bolas para la molienda del Clinker.* Minería y Geología, 2017. **33**(4): p. 486-497.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses con otras instituciones o investigadores en cuanto a los resultados presentados en el trabajo.

Contribución de los autores

Pablo Oñoz Gutiérrez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8704-8450>

Participó en el diseño de la investigación, la formulación de la composición del revestimiento del electrodo, la evaluación de los resultados experimentales. Redacción y edición del manuscrito.

Manuel Rodríguez Pérez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4092-3470>

Participó en el diseño de la investigación, la revisión bibliográfica y el análisis de los resultados. Redacción del manuscrito.

Lorenzo Perdomo-González. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3425-1487>

Participó en el diseño de la investigación, la formulación de la composición del revestimiento del electrodo, la evaluación de los resultados experimentales. Redacción y edición del manuscrito.

Luis Lázaro González Mustafá. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9383-1599>

Participó en el diseño de la investigación, la gestión de los recursos para el trabajo experimental, así como en el análisis de los resultados.

Juan Carlos de Zayas Rivero. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-8738-9631>

Participó en el diseño de la investigación, revisión bibliográfica y el trabajo experimental, así como en el análisis de los resultados.