**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIAS**

**Manufactura, Soldadura y Materiales**

**Potencialidades de las cenizas de la combustión del marabú y de los finos de la producción de carbón como componentes de un revestimiento periférico para la conversión de electrodos de soldadura a electrodos de recargue**

***Potentialities of ash from marabou combustion and fines from charcoal production as components of a peripheral coating for the conversion of welding electrodes to hardfacing electrodes***

**Amado Cruz-Crespo1, Maikel Cruz Díaz 2, Tamara M. Ortiz Méndez3, Manuel Acevedo Pérez4, Manuel Rodriguez Pérez5, Alejandro Duffus Scott6**

1- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)

2- Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [maykelcd@uclv.edu.cu](mailto:maykelcd@uclv.edu.cu)

3- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [tortiz@uclv.cu](mailto:tortiz@uclv.cu)

4- Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [manuelap@uclv.edu.cu](mailto:manuelap@uclv.edu.cu)

5- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [manuelr@uclv.edu.cu](mailto:manuelr@uclv.edu.cu)

6- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [aduffus@uclv.edu.cu](mailto:aduffus@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

**Problemática:** Las empresas agrícolas en cuba no cuentan con disponibilidad de electrodos de recargue para alargar la vida útil de los órganos de trabajo de implementos agrícolas. Las entidades agrícolas utilizan fundamentalmente la leña de marabú como método de cocción en los comedores, al tiempo que, en los asentamientos rurales, las escuelas, panaderías, dulcerías, entre otros, también utilizan este tipo de combustible, generando cenizas como residual. La producción de carbón de marabú produce fino en la clasificación que es descartado.

**Objetivo(s):** Validar las potencialidades de las cenizas de la combustión del marabú y los finos de la producción de carbón de marabú como componentes de un revestimiento periférico en electrodos de soldadura para su conversión a electrodos de recargue de aperos de labranza que trabajan en abrasión.

**Metodología:** En base ala composición química de la ceniza de la combustión del marabú, se elabora una estrategia de adecuación del sistema ternario de óxidos SiO2-CaO-Na2O para la elaboración de un revestimiento periférico con silicato de sodio como aglutinante. Se prevé la adición de CaO en forma de caliza para la adecuación de las propiedades del sistema; así como la adición de polvo de carbón de marabú en la mezcla del revestimiento para aportar carbono al baño de soldadura.

**Resultados y discusión:** Son definidas las potencialidades delas cenizas de marabú y los finos de la producción del marabú como componentes de un revestimiento periférico para la conversión de electrodos de soldadura a electrodos de recargue de aperos de labranza.

**Conclusiones:** Es validada la posibilidad de conversión de electrodos de soldadura a electrodos de recargue, a partir de la aplicación de un revestimiento periférico a base de de cenizas de la combustión del marabú y de finos de la producción de carbón de marabú.

***Abstract:***

***Problem:*** *Agricultural companies in Cuba do not have hardfacing electrodes available to extend the useful life of the working organs of agricultural implements. Agricultural entities mainly use marabou firewood as a cooking method in dining rooms, while, in rural settlements, schools, bakeries, candy stores, among others, also use this type of fuel, generating ashes as residual. Marabou charcoal production produces fine grading that is discarded.*

***Objective (s):*** *To validate the potentialities of the ash from the combustion of the marabou and the fines from the production of marabou charcoal as components of a peripheral coating on welding electrodes for their conversion to hardfacing electrodes for tillage implements that work in abrasion.*

***Methodology:*** *Based on the chemical composition of the ash from the marabou combustion, a strategy is developed to adapt the ternary system of oxides SiO2-CaO-Na2O for the elaboration of a peripheral coating with sodium silicate as a binder. The addition of CaO in the form of limestone is foreseen to adapt the properties of the system; as well as the addition of marabou charcoal powder in the coating mixture to add carbon to the weld pool.*

***Results and discussion:*** *The potentialities of marabou ashes and fines from marabou production as components of a peripheral coating for the conversion of welding electrodes to hardfacing electrodes of tillage implements are defined.*

***Conclusions:*** *The possibility of converting welding electrodes to* *hardfacing electrodes is validated, from the application of a peripheral coating based on ash from the combustion of marabou and fines from the production of marabou charcoal.*

**Palabras Clave:** Electrodo revestido; Recargue; SMAW; Aperos de labranza; Cenizas de marabú.

***Keywords:*** Coated electrode; Hardfacing; SMAW; Farm implement; Marabou Ash.

**1. Introducción**

El desgaste abrasivo constituye la causa principal de deterioro de los órganos de trabajo de los aperos de labranza de la tierra (Ortiz et al, 2008; Fernandes et al, 2014). El deterioro de los elementos conduce en ocasiones a labores ineficientes de agrotecnia, por la alteración de la geometría y dimensiones del elemento, que repercute en la productividad por área de las plantaciones (López et al, 2007a). También, el empleo de herramientas desgastadas implica una mayor demanda de potencia, que redunda en un incremento del consumo de combustible de las máquinas agrícolas (López et al, 2007b).

Los consumibles de recargue para el enfrentamiento al desgaste abrasivo presentan altos precios, resultando prácticamente inaccesibles para las entidades de producción agrícola, que comercializan casi la totalidad de sus producciones con destino al consumo de la población. Ello se agrava frente al hecho que, todos los consumibles de recargue en el país son importados; por tanto, aun cuando las entidades disponen de recursos financieros, surgen desabastecimientos por las condiciones de desventaja en que opera el comercio exterior para Cuba.

Frente a tales circunstancias, es frecuente la realización de operaciones de labranza con elementos desgastados o el recargue con electrodos de soldadura, no apropiados para tal desempeño. En la fabricación de órganos de trabajo, con frecuencia se utilizan materiales, cuya vida útil se prorrogaría si en la propia fabricación se aplicara un recubrimiento resistente al desgaste abrasivo en las superficies de trabajo.

El proceso SMAW es adecuado para el recargue de órganos de trabajo de implementos agrícolas, ya que: hay alta diversidad en la configuración y las dimensiones de los órganos de trabajo de los aperos de labranza, las cantidades no permiten establecer trabajos en serie, las condiciones de campo o taller donde se realizan solo cuentan con este proceso y se requiere soldar en diferentes posiciones.

Por otra parte, los precios de electrodos de soldadura son más accesibles y los suministros resultan más estables en el país. Los más frecuentes en el mercado son los electrodos AWS E 6013 y AWS E 7018, que contienen en su sistema de aleación elementos, que si hubiera suficiente contenido de carbono formarían estructuras duras en los depósitos. Por tanto, de ello se infiere que, si al sistema de aleación de un electrodo se le adicionase carbono, mediante una materia prima que lo contenga, se lograría un metal depositado con una microestructura de alta dureza, apropiada para el desempeño al desgaste abrasivo. Tal modificación a electrodos de soldadura podría ser realizada en base a la aplicación de un revestimiento periférico, sobre lo cual se tienen algunas experiencias exitosas precedentes en el Centro de Investigaciones de Soldadura (Cruz-Crespo et al, 2015; Cruz-Crespo et al, 2018)

Dadas las particularidades del sector agrícola, cuyas unidades productivas están diseminadas en todos los municipios del país, las soluciones para el mantenimiento y reparación de los medios de labranza deben concebirse desde la perspectiva del desarrollo local. En tal sentido, el revestimiento a aplicar para la conversión de un electrodo debe concebirse en base a minerales y residuales locales y que pueda ser aplicado en instalaciones de alta sencillez tecnológica y que no requieran o que requieran muy bajos niveles de inversión. Al mismo tiempo, para que la idea sea generalizable, debe ser considerado que los residuales y componentes que se utilicen existan en otros lugares o que puedan ser sustituidos por equivalentes disponibles.

El aporte de carbono al revestimiento periférico del electrodo podría ser en base a la adición de finos de carbón vegetal, ya que este producto contiene significativos niveles de carbono fijo. Dado que la producción de carbón constituye una actividad del sector agrícola y que, en la producción de este producto se genera un fino descartable durante la clasificación por cribado, su aplicación en el electrodo sería, además de técnicamente viable, beneficiosa en el sentido de la sostenibilidad económica y ambiental.

Todas las cenizas de la combustión de biomasa presentan significativamente alto contenido de SiO2, con presencia de otros óxidos como CaO, Na2O, K2O, entre otros, que podrían ejercer efectos positivos en la estabilización del arco y la formación de una escoria apropiada para la protección y aleación del metal depositado (Najarro et al, 2021). Vinculado con la actividad agrícola, a lo largo de todo el país se generan cenizas de la combustión del bagazo de la caña, de cascarilla del arroz, de la cáscara del café, de la leña, entre otras, que harían viable la utilización de cenizas en la aplicación del revestimiento periférico para la conversión del electrodo.

Además de las cenizas de residuos agrícolas, podría incluso ser valorada la adición de cierta cantidad de algún residuo agrícola directamente sin combustionar, ya que la biomasa contiene significativa cantidad de celulosa, que es un componente empleado con frecuencia en el revestimiento de electrodos.

Por otra parte, la producción de carbón vegetal constituye una actividad que se incrementa en las unidades agrícolas, basada en la madera de marabú que constituye una plaga que ocupa tierras que deben ser plantadas para la producción de alimentos. En la producción del carbón se realiza una clasificación por tamizado, quedando como residual un polvo que es descartado. Este residual pulverizado, podría ser aprovechado como materia prima para el revestimiento periférico en la conversión de electrodos de soldadura de acero a electrodos para el recargue de piezas.

También, a lo largo de todo el país se cuenta con alta disponibilidad de caliza (alto contenido de CaCO3) y dolomita (alto contenido de CaCO3 y MgCO3), que se emplean en las localidades como árido para la construcción de viviendas y obras sociales y que podrían ser utilizadas como componente del revestimiento a aplicar, ya que aportan CaO y CO2, que podríanfavorecer las propiedades del revestimiento. Se hace notar, que la cascara del huevo de gallina presenta altos niveles de CaCO3, por lo que podría ser utilizada en lugar de la caliza mineral.

Para la aplicación de revestimiento periférico en la conversión de un consumible de soldadura a uno de recargue, las cantidades de materia prima para satisfacer las demandas serían muy pequeñas (a un electrodo se le aplicaría alrededor de 15 g de revestimiento periférico) (Cruz-Crespo et al, 2015; Cruz-Crespo et al, 2018); por tanto, no se requieren concebir esquemas logísticos complejos, ni de instalaciones específicas, para la transportación, almacenaje y preparación de las materias primas.

En base a lo planteado, el objetivo del presente trabajo es: Validar las potencialidades de las cenizas de la combustión del marabú y los finos de la producción de carbón de marabú como componentes de un revestimiento periférico en electrodos de soldadura para su conversión a electrodos de recargue de aperos de labranza que trabajan en abrasión

**2. Metodología**

En base a que en todo el país los comedores de las entidades agrícolas, los comedores de entidades de interés social (policlínicos, escuelas), las panaderías y dulcerías de asentamientos rurales, utilizan leña de marabú como combustible fundamental, se define emplear este residual como materia prima del revestimiento periférico para la conversión del electrodo.

Fueron tomadas 10 muestras de 1 kg cada una en 10 cocinas de diferentes municipios de la provincia Villa Clara, con el propósito de buscar representatividad, ya que la composición de las cenizas de biomasa depende de la parte de la planta de donde se extrae la madera, de la edad de la planta y de las características del suelo. No obstante, se destaca que dichos factores no provocan alteraciones drásticas de la composición de la ceniza de la leña de un mismo tipo de plantación. Las 10 muestras fueron colocadas en un mezclador y sometidas a un proceso de homogenización durante 30 min, luego fue realizado un proceso de cuarteo hasta obtener una muestra homogenizada representativa de 1 kg, de la cual fue tomada la muestra para el análisis químico, el cual fue realizado por Espectrometría de Absorción Atómica.

A partir de la composición química de la ceniza de la combustión del marabú fue evaluado su sistema mayoritario de óxidos, en base a un diagrama de equilibrio de fases y fueron valoradas sus condiciones de fusibilidad para revestimiento de un electrodo. O sea, fue contrastada su temperatura de fusión, según la ubicación en el diagrama, con la del núcleo del electrodo (en el entorno de 1500 oC), preestableciendo como condición, la fusión simultanea o con un muy leve retardo por parte del revestimiento.

Luego, a partir de la consideración de que el aglomerante a usar para la elaboración de la mezcla del revestimiento es el silicato de sodio, fue considerado el efecto de los componentes fundamentales (SiO2 y Na2O) sobre el sistema de óxidos inicial de las cenizas.

Por último, considerando la migración hacia una región más favorable del diagrama para la composición del revestimiento de un electrodo, y previendo también favorecer la basicidad del sistema de óxidos, la estabilidad del arco y el desprendimiento de la escoria, fue prevista la adicoón de CaO en forma de carbonato de calcio, aportado en forma de mineral de caliza.

Para la conformación de la mezcla de revestimiento, los componentes de la masa seca (cenizas de la combustión del marabú, caliza y carbón de marabú), serán llevados a una granulometría menor que 0,25 mm. Dado que la ceniza obtenida de la combusión, ya sale con una granulometría fina, solo será sometida a un proceso de tamizado para eliminar algún cisco de carbón o de madera. De manera similar, el fino de carbón, resultante del proceso de clasificación, contiene gran cantidad de fino, por lo que solo es necesario realizar tamizado para obtener la fracción requerida. La caliza que se utiliza en la mezcla de mortero para el acabado de revestimiento de paredes presenta también un alto nivel de finos, por lo que la fracción requerida sería obtenida por tamizado.

La aplicación del revestimiento periférico a los electrodos para su conversión sigue procedimientos similares a los descritos en trabajos precedentes (Cruz-Crespo et al, 2015; Cruz-Crespo et al, 2018). Los componentes de la masa seca serán añadidos en orden ascendente de sus densidades (carbón, caliza, ceniza) a un mesclador de tambor rotatorio con 5 grados de inclinación, de modo tal que se asegura la homogenización de la mezcla por flujo a contracorriente. La masa seca homogenizada será aglomerada con 40 % de silicato de sodio, añadiendo agua hasta logar la consistencia requerida de la mezcla.

Luego, la pasta será aplicada por inmersión sobre electrodos rutílicos o básicos (AWS E6013 o AWS E 7018), siendo secados al sol durante 3 h y calcinados a 160 oC durante 2 h. La calcinación de los electrodos podría ser realizada, aprovechando el calor de la combustión de leña de marabú en las propias cocinas que generan la ceniza. Para garantizar mayores niveles de aporte serán usados electrodos de 4 mm de diámetro.

**3. Resultados y discusión**

**3.1 Concepción del sistema de óxidos del revestimiento periférico del electrodo**

En la Tabla 1 se muestran los resultados de composición química de la ceniza de la combustión del marabú, expresados en forma elemental. En base a la consideración de que en la ceniza los elementos se encuentran en forma oxidada, fue realizada la conversión de la composición, que se muestra en la referida tabla.

Tabla 1. Composición química de la ceniza, % en masa.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Composición en forma elemental** | | | | | | | | |
| **Mg** | **Ca** | **Mn** | **Fe** | **Zn** | **Cu** | **K** | **Na** | **Si** |
| 0,475 | 4,614 | 0,0097 | 2,353 | 0,023 | 0,005 | 4,31 | 0,45 | 38,99 |
| **Composición en forma de óxidos** | | | | | | | | |
| **MgO** | **CaO** | **MnO** | **Fe2O3** | **ZnO** | **CuO** | **K2O** | **Na2O** | **SiO2** |
| 0,792 | 6,460 | 0,013 | 3,361 | 0,029 | 0,006 | 5,20 | 0,60 | 83,54 |

De los resultados de la Tabla 1 se observa que los óxidos mayoritarios son el SiO2, el CaO y el K2O, cuya suma representa el 95,2 % del total de óxidos. Si el sistema se lleva a la composición ternaria (que la suma de los tres óxidos representa el 100 %), queda de la siguiente forma: SiO2 – 87,75 %; CaO – 6,79 %; K2O – 5,46 %. Al ser llevada esta composición al sistema ternario de la Figura 2, se observa que se ubica en la región cercana al vértice del SiO2, en el entorno de la isoterma de 1600 oC, superior a la temperatura de fusión del acero que es del entorno de 1500 oC. Ello hace inferir la necesidad de migrar en el diagrama hacia una región de menor temperatura de fusión, ya que el revestimiento del electrodo debe fundirse simultáneamente o ligeramente retardado con respecto al núcleo (Cruz-Crespo et al, 2009).

Para la aplicación del revestimiento periférico al electrodo, se requiere emplear un aglomerante que forme la pasta y la adhiera al revestimiento del electrodo de partida. Con frecuencia en resvestimientos de electrodos es utilizado como aglomerante silicato de sodio que aporta SiO2 y Na2O (Crespo et al, 2007; Cruz-Crespo et al, 2015; Cruz-Crespo et al, 2018). Ello significa que habría un cierto corrimiento hacia el vértice del SiO2 y hacia el aumento de Na2O, pero manteniéndose en la misma región del diagrama (Figura 1), que se caracteriza por una muy baja fluidez de la escoria, implicando la necesidad de migrar hacia una región más favorable.

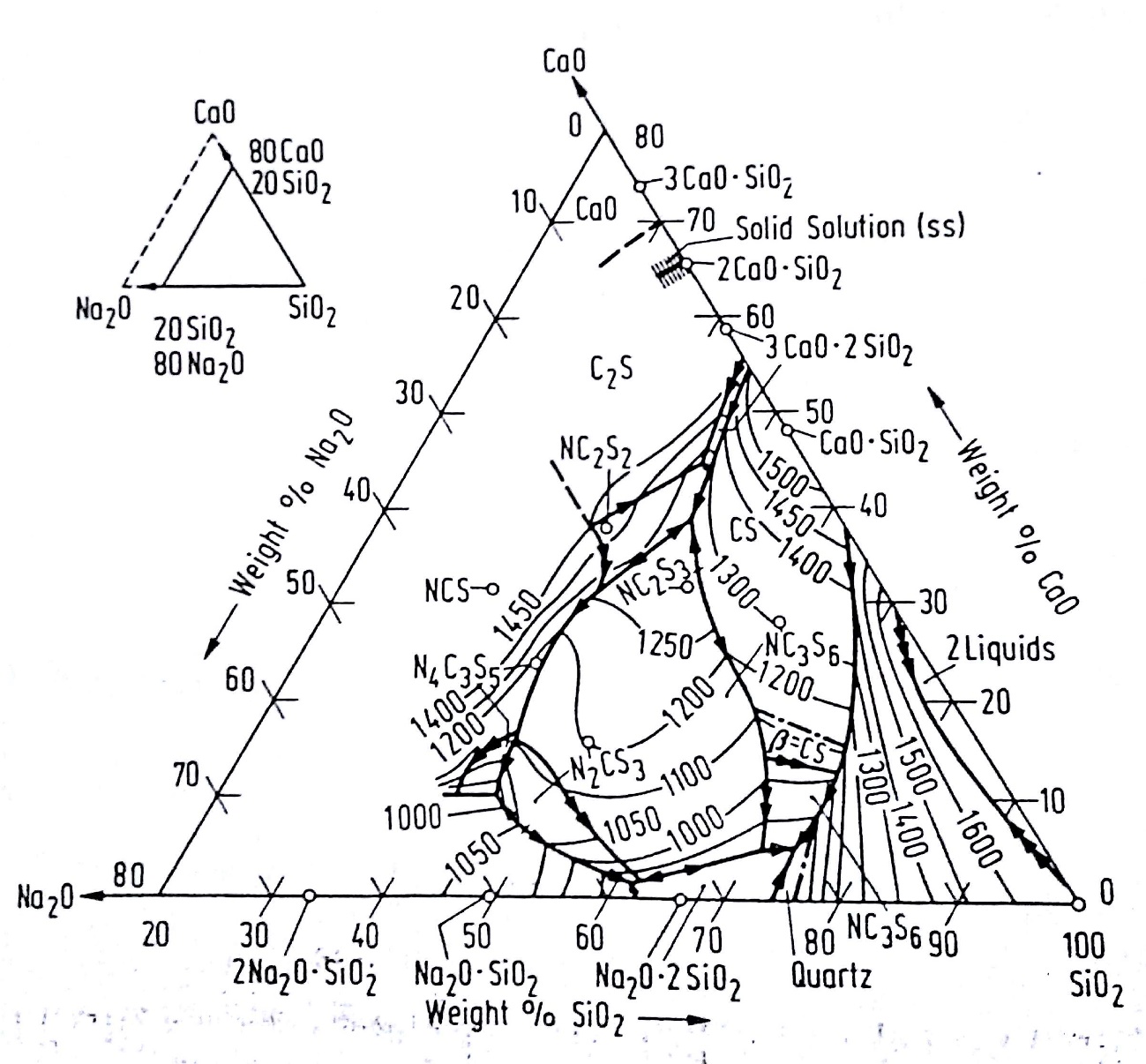
****

Figura 2. Diagrama de fases Na2O - SiO2 - CaO (Committee for Fundamental Metallurgy, 1981).

Se decide migrar hacia la región de la wallastonita (CaO.SiO2) en el diagrama de la Figura 1, ya que esta ubicación proporcionaría un revestimiento más adecuado, dado que la escoria se caracterizaría por una mayor fluidez y basicidad, que favorecen el desempeño del electrodo (Cruz-Crespo et al, 2009). Para ello, se decide realizar la adición de CaO al sistema, manteniendo constante la relación SiO2/Na2O. La composición en la región de la walllastonita, luego del incremento de CaO, estaría enmarcada en la proximidad de la isoterma de 1500 oC, o sea muy próxima a la del acero del núcleo del electrodo. Para aportar el CaO requerido, se realiza la adición de caliza, que contiene en el entorno de 96 % de CaCO3. Al calentarse el revestimiento del electrodo en la soldadura, a la temperatura de aproximadamente 850 oC ocurre la disociación de la caliza (CaCO3CaO + CO2), aportando CaO que pasa a la escoria y liberando CO2, que favorece la protección de la columna del arco (Crespo et al, 2007).

**3.2 Valoración de la adición de carbono como sistema de aleación en el revestimiento periférico**

Al revestimiento concebido para garantizar el sistema de óxidos de la escoria, en base a las adiciones de ceniza, caliza y silicato de sodio, le debe ser añadido un sistema de aleación que garantice las propiedades del metal depositado para enfrentamiento al desgaste. Para ello, como ya fue planteado se añade carbono, mediante la adición de carbón vegetal. Tal aumento del carbono en el revestimiento, conducirá a la transferencia de este elemento al depósito. Para altos contenidos de carbono y en las condiciones de alta velocidad de enfriamiento, propio de los procesos de recargue por soldadura, la formación de martensita es inminente, con cierta presencia de austenita residual, a causa de la cinética de la transformación (Najarro et al, 2021). La microestructura con predominio de martensita garantiza alta dureza del metal y consecuentemente sus adecuadas propiedades para trabajo en condiciones de desgaste abrasivo de los medios de labranza.

El revestimiento periférico concebido puede ser aplicado a electrodos rutílicos AWS E6013 o AWS E7018, que son los dos tipos de electrodos SMAW de mayor distribución en el mercado. Dado por sus propiedades básicas y su sistema de aleación, el AWS E7018, podría brindar mejores resultados; no obstante, al ser el electrodo AWS E6013, el único tipo de electrodo que se produce en el país, podría ser esta una condicionante a pensar que debe ser valorada la aplicación del revestimiento a estos, o sea a los rutílicos.

**4. Conclusiones**

1. Se demuestra la viabilidad de conversión de un electrodo de soldadura por SMAW a uno de recargue, mediante la aplicación de un revestimiento periféricos con cenizas de la combustión del marabú, caliza, finos descartados de la producción de carbón del marabú y aglomerado con silicato de sodio.
2. La ceniza se caracteriza por el sistema de óxidos mayoritario de SiO2-CaO-Na2O, ubicándose en la región cercana al vértice del SiO2, caracterizado por alta temperatura de fusión y alta viscosidad, requiriendo de la adición de CaO para migrar a la región de la Wallastonita, con mejores propiedades para el desempeño de un revestimiento de electrodo.
3. La adición de carbono al revestimiento periférico, junto a las altas tasas de enfriamiento que tienen lugar en la soldadura, garantizan la formación de una estructura martensítica con presencia de austenita residual, que por su alta dureza se considera apropiado para el trabajo en condiciones de abrasión de los órganos de trabajo de los aperos de labranza.
4. El revestimiento periférico concebido puede ser aplicado a electrodos AWS E6013 o AWS E7018, siendo los últimos más probables de brindar mejor desempeño, por su sistema ded aleación y sus características básicas. Al ser los AWS E6013, el único tipo que se produce en el país, debe ser jerarquizado este electrodo como candidato para la aplicación del revestimiento periférico.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Cruz-Crespo A., Díaz-Cedré E. M., Scotti A. Efecto de la pirolusita, la caliza+fluorita y el ferrocromomanganeso sobre el desempeño de un electrodo básico con revestimiento periférico. Minería y Geología / v.31 n.4 / octubre-diciembre / 2015 / p. 84-99 ISSN 1993 8012. <http://www.redalyc.org/toc.oa?id=2235&numero=43341>
2. Cruz-Crespo A., Fernandez Fuentes R., and Scotti A. The Influence of Calcite, Fluorite, and Rutile on the Fusion-Related Behavior of Metal Cored Coated Electrodes for Hardfacing. Journal of Materials Engineering and Performance. JMEPEG \_DOI: 10.1007/s11665-009-9543-2. Septiembre de 2009.)
3. Committee for Fundamental Metallurgy. Slag atlas. Dusseldorf: Verlag Stahleinsen M.B.H.; 1981. 282 p.
4. Crespo A.C., Rodríguez M., Scotti A. Operational behavior assesment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing, Journal of Materials Processing Technology (2007), doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.07.048.
5. Fernández Fuentes A. R., Cruz-Crespo A., Ariza Gonçalves R., Scotti A. y Guedes De Alcãntara N. Caracterización de depósitos obtenidos con electrodos tubulares revestidos para el recargue de medios de labranza sometidos a desgaste abrasivo en el sector azucarero. Centro Azúcar Vol 41, No.2,Abril-Junio2014 (pp.1-11);
6. Cruz-Crespo A., Díaz Cedré E., Perdomo González L., Scotti A. Performance of a rutile electrode for SMAW under the effect of the composition of an applied peripheral coating. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 41, No. 2, 62-70, 2018.
7. López E., Cruz Crespo A., Iglesias C., Herrera M., González O. Obtención de un fundente para soldadura por arco sumergido para el recargue de la superficie de trabajo de los aperos de labranza. Revista Ciencias Agropecuarias, año/vol 16, No 001, Universidad Agraria de La Habana, Cuba 2007a, pp 61-64. ISSN: 1010-2760
8. López E., Cruz Crespo A., Iglesias C., Herrera M., González O. Aumento de la resistencia al desgaste de aperos mediante la aplicación de recargue superficial por soldadura automática. Revista Ciencias Agropecuarias, año/vol 16, No 004, Universidad Agraria de La Habana, Cuba 2007b, pp 28-31. ISSN: 1010-2760.
9. Ortiz Méndez T, Cruz Crespo A, Rodríguez Pérez M. (2008). Evaluación de depósitos de electrodos tubulares CIS1 con vistas al recargue de cuchillas cañeras. Centro Azúcar. Volumen 35/Año 2008/Nro 1, Santa Clara, Cuba. p 62., ISSN: 0253-5777
10. Najarro R., Cruz-Crespo A., Perdomo L., Duffus A., Almeida G., Morales M. J.. Vínculo de la Composición de Recubrimientos SAW con la Composición de Fundentes Obtenidos con Escoria de Acería y Cenizas de Cascarilla del Arroz. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 44, Nº 2, Mayo-Agosto, 2021, 117-126