

Artículo Original

PARÁMETROS DE CONSUMO DE ELECTRODOS CON CENIZAS Y CARBÓN DE MARABÚ EN UN REVESTIMIENTO PERIFÉRICO

CONSUMPTION PARAMETERS OF ELECTRODES WITH ASH AND MARABOU CHARCOAL IN A PERIPHERAL COATING

Maykel Cruz Díaz¹ <https://orcid.org/0009-0003-9165-6362>
Amado Cruz Crespo^{2*} <https://orcid.org/0000-0003-0227-9853>
Manuel Acevedo Pérez² <https://orcid.org/0000-0002-6385-1166>
Alejandro Duffus Scott² <https://orcid.org/0000-0001-9959-5697>
Rodolfo Najarro Quintero³ <https://orcid.org/0000-0002-6760-4269>
Eduardo M. Díaz Cedré⁴ <https://orcid.org/0000-0002-4547-837X>

¹ Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

² Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi-La Maná, Ecuador.

⁴ Fabricación y Tecnología en Soldadura S.A de C.V, Querétaro, Qro, México.

Recibido: Marzo 22, 2025; Revisado: Marzo 29, 2025; Aceptado: Abril 7, 2025

RESUMEN

Introducción:

Los consumibles de recargue para enfrentar abrasión presentan altos precios, ocurriendo desabastecimiento en entidades agrícolas. Sin embargo, los electrodos para soldadura son baratos, por lo que constituye una oportunidad la conversión de estos a recargue, mediante aplicación de revestimiento periférico con residuales.

Objetivo:

Establecer el efecto del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico de electrodo AWS E7018 convertido para recargue y de la corriente de soldadura sobre los parámetros de consumo.

Materiales y Métodos:

Se realiza el estudio, en base a un diseño experimental, del comportamiento de los



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: Amado Cruz, Email: acruz@uclv.edu.cu



parámetros de consumo (Tasas de consumo y de deposición y rendimiento) de electrodo AWS E7018 convertido a recargue por aplicación de revestimiento periférico con cenizas y carbón de marabú. Se determina la dureza del depósito del electrodo de mejor desempeño y se compara con la del electrodo sin revestimiento periférico y con la de un disco de grada.

Resultados y Discusión:

Son establecidos los vínculos de los parámetros de consumo con el contenido de carbón de marabú en el electrodo y de la corriente de soldadura como variables independientes. Las tendencias de comportamiento de las respuestas son explicadas fenomenológicamente.

Conclusiones:

Se define la mejor condición de contenido de carbón de marabú en el revestimiento del electrodo (50 %) y de corriente de soldadura (115 A), para garantizar el mejor desempeño de parámetros de consumo y que propicia un depósito adecuado para recubrir elementos de trabajo de aperos de labranza con electrodo AWS E7018 convertido a consumible de recargue.

Palabras clave: aperos de labranza; cenizas y carbón de marabú; electrodo revestido; recargue; SMAW.

ABSTRACT

Introduction:

Hardfacing consumables to combat abrasion are expensive, leading to shortages in agricultural areas. However, welding electrodes are inexpensive, so converting them to hardfacing by applying peripheral coating with residuals represents an opportunity.

Objective:

To establish the effect of marabou charcoal content in the peripheral coating of AWS E7018 electrode converted for overlay and of the welding current on the consumption parameters.

Materials and Methods:

An experimental design study was conducted to study the behavior of consumption parameters (consumption, deposition, and efficiency) of an AWS E7018 electrode converted to hardfacing by applying a peripheral coating with ash and marabou charcoal. The deposit hardness of the best-performing electrode was determined and compared with that of the electrode without a peripheral coating and with that of a harrow disc.

Results and Discussion:

The relationships between consumption parameters and the marabou carbon content in the electrode and the welding current as independent variables are established. Behavioral trends in the responses are explained phenomenologically.

Conclusions:

The best condition of marabou carbon content in the electrode coating (50%) and welding current (115 A) is defined to ensure the best performance of consumption parameters and to promote an adequate deposit for coating working elements of farming implements with AWS E7018 electrode converted to hardfacing consumable.

Keywords: farm implements; marabou ashes and charcoal; coated electrode; hardfacing; SMAW.

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; Fernández 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); implicando una mayor demanda de potencia y consecuentemente un incremento del consumo de combustible de las máquinas agrícolas (López et al., 2007b).

Los consumibles de recargue por Soldadura Manual con Electrodo Revestido (SMAW, por sus siglas en inglés), para el enfrentamiento al desgaste abrasivo, presentan altos precios, al tiempo que en Cuba todos son de importación, lo cual condiciona periodos de desabastecimiento en entidades agrícolas. Por otra parte, los electrodos para soldadura de unión AWS E 6013 y AWS E 7018, son baratos y con estabilidad de abastecimiento en el mercado, pero el metal depositado no garantiza las propiedades para trabajar en condiciones de desgaste abrasivo.

En correspondencia con experiencias previas (Cruz et al., 2015; Cruz et al., 2018; Santiago, 2023) los electrodos AWS E 6013 y AWS E 7018 pueden ser convertidos a electrodos de recargue en base a la aplicación de un revestimiento periférico, que propicie un aumento de su dureza. González (2021) y Santiago (2023) validaron el empleo de un sistema de óxidos de $\text{CaO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ en dicho revestimiento periférico para la conversión de electrodos, estableciendo la composición de una mezcla de cenizas de la combustión de leña de marabú y caliza, con empleo de silicato de sodio como aglomerante. Dichos autores también valoraron de manera exploratoria, la viabilidad de empleo de finos de carbón de marabú en el sistema de aleación del revestimiento periférico para aportar carbono. Sin embargo, hasta el presente no se han realizado estudios para establecer el efecto del contenido del carbón de marabú en el revestimiento periférico, ni de la corriente de soldadura sobre los parámetros de consumo del electrodo.

La ceniza de la combustión de leña de marabú se genera como residual en la cocción de alimentos en cocinas de bases productivas agrícolas y los finos de carbón de marabú son descartados en la producción de dicho carbón; mientras la caliza es un mineral abundante, ampliamente utilizado en la construcción. Por tanto, la aplicación de revestimiento periférico para la conversión de electrodos de soldadura a recargue con empleo de dichas materias primas, lleva implícito un criterio de sustentabilidad, viable de ser realizado en las condiciones de talleres de mantenimiento y reparación de equipos agrícolas.

El desarrollo de un revestimiento requiere inexorablemente de un enfoque fenomenológico para sustentar el desempeño del electrodo. Por ello, el comportamiento de los parámetros de consumo constituye un elemento esencial para validar su aplicación, lo cual depende del efecto de la composición del revestimiento y de las condiciones de régimen de soldadura, esencialmente de la corriente (Cruz et al., 2008; Cruz et al., 2010; Cruz et al., 2015; Cruz et al., 2018; González et al., 2014).

En base a lo planteado, el objetivo del presente trabajo consiste en establecer el efecto del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico de electrodo AWS E7018 convertido para recargue y de la corriente de soldadura sobre los parámetros de consumo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Elaboración de los electrodos

A electrodos básicos AWS E 7018 de 4 mm de diámetro de núcleo le fueron aplicados diferentes revestimientos periféricos con vistas a evaluar el efecto del contenido de carbón de marabú en dicho revestimiento y de la corriente de soldadura sobre el desempeño de los parámetros de consumo.

Como materias primas aportadoras al sistema de óxidos (sistema binario SiO₂-CaO) del revestimiento periférico del electrodo, en el presente trabajo fueron empleadas caliza del yacimiento “Palenque” y cenizas de la combustión de marabú en la Minindustria “Cubanacán” perteneciente a la CCS “Pando Ferrer” de Placetas. Estas dos materias primas, se adicionaron en una relación Caliza:Ceniza de marabú=1:1, en base a lo establecido en trabajos previos: González (2021) y Santiago (2023). Con el propósito de adicionar carbono al sistema de aleación del electrodo se añadió carbón de marabú a la masa seca del electrodo, considerándose como la variable independiente X₁. Los contenidos porcentuales de carbón (X₁) en la masa seca, fueron movidos en tres niveles, 30 %, 40 % y 50 %. El carbón de marabú utilizado fue el fino, descartado de la producción de carbón en la Empresa Forestal Integral (EFI) del municipio de Cifuentes. La corriente de soldadura (X₂) fue considerada la otra variable, moviéndose en los niveles 115 A, 137,5 A y 160 A. De lo planteado, se consideran 9 experimentos, en correspondencia con un diseño factorial (N=3^k, donde N es el número de experimentos, 3 son los niveles y K es el número de variables). La matriz del plan experimental se muestra en la Tabla 1. Fueron consideradas como respuestas Y_i, la tasa de consumo (Tc, g/min), la tasa de deposición (Td, g/min) y el Rendimiento (R, %).

Tabla 1. Plan experimental

<i>No</i>	<i>X₁</i>	<i>X₂</i>
1	50	160
2	50	115
3	30	160
4	30	115
5	40	160
6	40	115
7	50	137,5
8	30	137,5
9	40	137,5

X₁- Contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico (C), (%);

X₂- Corriente de soldadura (Is), (A)

Fue realizada la preparación de las materias primas. La caliza, recibida en forma de grava (tamaños de granos en el entorno de 15 mm), fue sometida a trituration y

molienda en el molino de bolas del Laboratorio de Materiales de Soldadura, del Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), y fue llevada por tamizado a la granulometría $\leq 0,15$ mm. La ceniza de la combustión de leña de marabú, solo requirió tamizado a una granulometría $\leq 0,15$ mm para eliminar materias extrañas, como algún pequeño fragmento de carbón. El carbón de marabú fue recibido en fracciones de hasta 6 mm; por lo que requirió de un proceso de molienda y tamizado a la granulometría entre 0,10 mm y 0,25 mm, lo cual fue realizado en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la UCLV.

De acuerdo con el plan experimental de la Tabla 1, fueron preparadas las mezclas de componentes (mezclas con 30 %, con 40 % y con 50 % de carbón marabú) en el laboratorio de Materiales de Soldadura del CIS, mediante pesaje en una balanza técnica y mezclado para su homogenización en un tambor rotatorio durante 30 min. Luego de mezclada la masa seca, esta fue aglutinada con un 40 % (referido al 100 % de dicha masa seca) de silicato de sodio, cuya composición es: (29,39 % SiO_2 , 10,10 % Na_2O , 60,51 % H_2O) y con adiciones complementarias de agua para dar la textura adecuada a la pasta para su aplicación al revestimiento periférico de los electrodos. Cada una de las mezclas preparadas fue aplicada por extrusión como revestimiento periférico a electrodos AWS E 7018 de 4 mm. Los electrodos revestidos fueron secados al aire durante 24 horas y luego calcinados a 160°C en una estufa por un intervalo de 2 horas. Los electrodos obtenidos presentaron los siguientes factores de revestimiento: $d_{\text{Rext}}:d_{\text{Rint}}=1,46$; $d_{\text{Rext}}:d_n=2,37$, donde d_{Rext} (9,5 mm), d_{Rint} (6,5 mm) y d_n (4,0 mm) son los diámetros del revestimiento externo aplicado, del revestimiento interno (del electrodo E AWS 7018) y del núcleo, respectivamente.

2.2 Evaluación del comportamiento de los electrodos

Fueron realizados cordones sobre planchas de acero AISI 1020 de 200x50x6 mm en posición plana en el Laboratorio de Soldadura del CIS. Los depósitos fueron realizados por un soldador entrenado para mantener relativamente invariables la velocidad de soldadura y la longitud del arco. La velocidad de avance estuvo en el entorno de los 14 cm/min y la longitud del arco se mantuvo corta. La corriente de soldadura, como fue planteado anteriormente, adoptó los valores 115 A, 137,5 A y 160 A (Tabla 1). Fue utilizada corriente continua con polaridad inversa (CC+). El electrodo se mantuvo en un ángulo aproximado de 105° en relación a la línea de soldadura, en la dirección halando el cordón.

Las chapas de metal base y los electrodos fueron pesadas antes de la realización de los ensayos en una balanza técnica. Después de cada ensayo fue pesada la colilla del electrodo y la plancha con el depósito, para de este modo determinar la masa de metal depositada y la masa de electrodo consumida.

Del depósito de mejor desempeño, en el Laboratorio de Metalografía del CIS, fue extraída una muestra mediante cortes transversales, a la cual le fue medida la dureza en la parte centro superior del cordón. Con el propósito de verificar si hubo modificaciones en las propiedades del metal depositado al aplicar el revestimiento periférico, fue obtenido también un depósito con electrodo AWS E7018 sin revestimiento periférico y fue determinada su dureza. Con el propósito de usarla como referencia, fue extraída una

muestra de un disco de grada, a la cual le fue determinada la dureza.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comportamiento de los parámetros de consumo de los electrodos

En la Tabla 2 se muestran los resultados de parámetros de consumo (Tasa de consumo, Tasa de deposición y Rendimiento) para cada punto experimental de la Tabla 1. A partir del procesamiento del diseño experimental (Tablas 1 y 2), con el software Statgraphics Centurión XV.II, fueron obtenidas las ecuaciones de regresión y las gráficas de superficies respuesta del comportamiento de la Tasa de consumo, de la Tasa de deposición y del Rendimiento, en función de las variables dependientes, contenido del carbón de marabú en el revestimiento (X_1) y corriente de soldadura (X_2).

Tabla 2. Resultados de Tasas de consumo y deposición y de Rendimiento

No	Tc, g/min	Td, g/min	R, %
1	36,83	19,33	52,49
2	28,67	15,50	54,07
3	36,17	17,83	49,31
4	27,67	14,33	51,81
5	36,50	18,17	49,77
6	28,17	14,67	52,07
7	32,16	17,25	53,64
8	31,67	16,00	50,53
9	32,17	16,50	51,30

Tc- Tasa de consumo; Td- Tasa de deposición; R- Rendimiento

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la Tasa de consumo en función del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico y de la corriente de soldadura, en correspondencia con el modelo de regresión de la ecuación (1), cuyo ajuste fue alto ($R^2_{aj} = 99,76 \%$). Se observa, un comportamiento lineal de la Tasa de consumo, siendo mucho más marcado el efecto de la corriente de soldadura que el del contenido de carbón en el revestimiento. Se hace notar que el mayor efecto sobre la tasa de consumo lo ejerce la corriente, siendo mucho menos marcado el efecto del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico. Al aumentar el contenido de carbón de marabú en el revestimiento, el carbono se combustiona al entrar en contacto con el oxígeno, aportando calor que favorece el aumento de la fusión. También, una mayor presencia de carbono en el revestimiento favorece la estabilidad del arco, lo que contribuye a un mejor aprovechamiento de la energía para aumentar la fusión. Por otra parte, al aumentar la corriente de soldadura, aumenta la densidad de corriente y consecuentemente se favorece el calentamiento del electrodo por efecto Joule-Lenz, que redonda en un aumento de la fusión.

$$Tc = 5,65346 + 0,0577778 * C + 0,170346 * Is \quad (1)$$

donde: Tc- Tasa de consumo, g/min; C- contenido de carbón de marabú en el

revestimiento periférico, %; I_s – corriente de soldadura, A

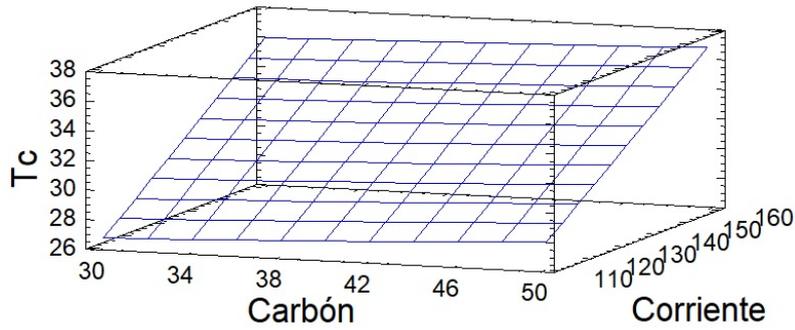


Figura 1. Tasa de consumo (g/min) en función del contenido de carbón de marabú (%) en el revestimiento periférico y de la corriente de soldadura (A)

Dado que el consumo implica gasto de electrodo, se considera que debe ser el menor posible. Fue realizado el proceso de optimización de esta variable respuesta, obteniéndose que el mejor resultado es de 27,61 g/min, para 30 % de carbón de marabú (X_1) en el revestimiento periférico y 115 A de corriente de soldadura (X_2).

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la Tasa de deposición en función del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico y de la corriente de soldadura, en correspondencia con el modelo de regresión de la ecuación (2), cuyo ajuste fue alto ($R^2_{aj} = 99,75 \%$). De manera similar a la Tasa de consumo (Figura 1), se observa que, con el aumento de ambas variables independientes, aumenta la Tasa de deposición (Figura 2), siendo también en este caso mucho más marcado el efecto de la corriente de soldadura que el del contenido de carbón en el revestimiento. A diferencia de la Tasa de consumo (Figura 1), la Tasa de deposición no manifiesta un comportamiento estrictamente lineal frente al contenido de carbón en el revestimiento, lo cual se advierte en la ecuación de regresión T_d y en la Figura 2.

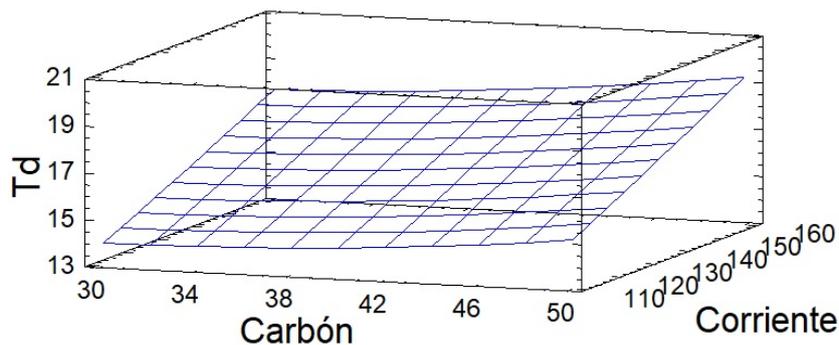


Figura 2. Tasa de deposición (g/min) en función del contenido de carbón de marabú (%) en el revestimiento periférico y de la corriente de soldadura (A)

$$T_d = 10,1787 - 0,202417 * C + 0,0501646 * I_s + 0,00273333 * C^2 \quad (2)$$

donde: T_d - Tasa de deposición, g/min; C - contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico, %; I_s – corriente de soldadura, A

Como fue planteado encima, al aumentar el contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico, aumenta la tasa de fusión (Figura 1), el carbono se

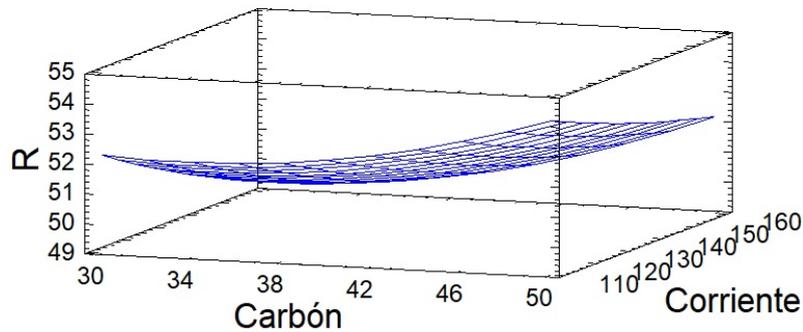
combustiona al entrar en contacto con el oxígeno. Ello propicia la desoxidación del baño y consecuentemente favorece la transferencia de otros elementos como el manganeso al depósito. Al mismo tiempo, parte del carbono que no se oxida pasa al metal depositado, contribuyendo a un mayor aporte. También, al crecer el contenido de carbón en el revestimiento se favorece el aumento del efecto cañón. La formación de una copa más profunda protege al metal de la gota de la oxidación y de pérdidas por salpicadura, lo que consecuentemente favorece la Tasa de deposición. Asociado al efecto del carbono como desoxidante y como elemento de aleación que pasa al metal depositado y a la influencia, recién comentada, del efecto cañón, es que puede explicarse por qué en la ecuación de regresión de la Tasa de deposición el contenido de carbón en el revestimiento elevado al cuadrado tiene efecto significativo. Dicho en otras palabras, cuando el carbón de marabú en el revestimiento aumenta por encima del 40 %, el aporte de carbono al metal líquido en la gota y en el baño de soldadura, satisface mejor los requerimientos de desoxidación y aleación y, el efecto cañón, a la par que contribuye a la protección del metal de la oxidación, limita más las pérdidas por salpicadura. Tanto el aumento del contenido de carbono en el revestimiento como de la corriente de soldadura, favorecen la estabilidad eléctrica del arco, propiciando la regularidad de la frecuencia de transferencia metálica en gotas más pequeñas (evitando el colapso de gotas y salpicaduras), lo que redundará en una mayor deposición.

La Tasa de deposición significa productividad del proceso de recargue, por tanto, su valor debe ser maximizado lo mayor posible. Fue realizada la optimización de esta variable respuesta, obteniéndose que el mejor resultado es de 19,28 g/min, para 50 % de carbón de marabú (X_1) en el revestimiento periférico y 160 A de corriente de soldadura (X_2), considerando de manera aislada esta variable respuesta. El hecho que el mayor valor de Tasa de deposición sea para la corriente más alta, hace suponer que esta condición no es la más favorable; ya que, la máxima corriente implica también la máxima Tasa de consumo (Figura 1), pero, sobre todo, significa una mayor dilución del metal depositado y consecuentemente menor nivel de aleación y menor dureza (Cruz et al., 2008; Cruz et al., 2009; Rodríguez et al., 2022).

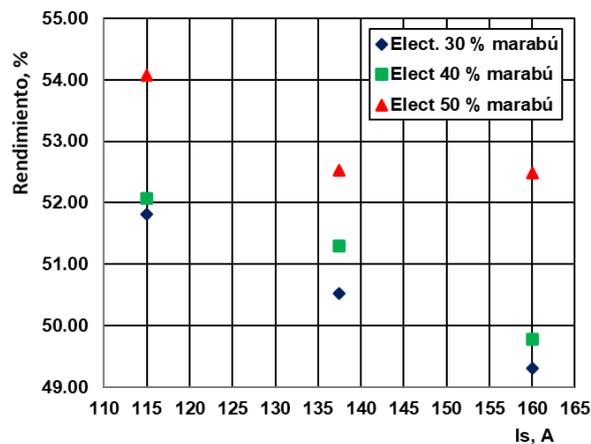
La Figura 3a muestra el comportamiento del rendimiento en función del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico del electrodo y de la corriente de soldadura, en correspondencia con el modelo de regresión de la ecuación (3), cuyo ajuste fue relativamente alto ($R^2_{aj} = 93,13 \%$). Se observa que el aumento de la corriente hace disminuir el rendimiento y que el contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico lo hace crecer. Lo anterior se visualiza mejor en la Figura 3b. El rendimiento es la relación de la Tasa de deposición y la Tasa de consumo; por tanto, su comportamiento se explica a partir del comportamiento, ya abordado, de dichas tasas. Se hace evidente que la pendiente de crecimiento de la Tasa de consumo en función de la corriente (X_2) (Figura 1), es superior a la pendiente de crecimiento de la Tasa de deposición en función de la corriente (X_2) (Figura 2), por lo que el rendimiento disminuye en función de esta variable independiente. En el caso del efecto del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico (X_1), la pendiente de la Tasa de consumo (Figura 1) es menor que la de la Tasa de deposición (Figura 2), por lo que el rendimiento crece en función de esta variable independiente.

$$R = 74,9909 - 0,611222 * C + 0,160576 * Is + 0,00743333 * C^2 \quad (3)$$

donde: R- Rendimiento, %; C- contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico, %; Is – corriente de soldadura, A.



(a)



(b)

Figura 3. Rendimiento (g/min) en función del contenido de carbón de marabú (%) en el revestimiento periférico y de la corriente de soldadura (A) (a) Gráfico de superficie respuesta; (b) Efecto de la corriente para electrodos con diferentes contenidos de marabú

Es evidente que el rendimiento debe ser el máximo posible, ya que representa el aprovechamiento del consumible en la formación del depósito. Este se determina por la relación de la masa de metal depositada y la masa de electrodo consumida (por la relación de las tasas de deposición y consumo) (Cruz et al., 2008). Fue realizada la optimización de esta variable respuesta, obteniéndose que el mejor resultado es de 53,91 %, para 50 % de carbón de marabú (X_1) en el revestimiento periférico y 115 A de corriente de soldadura (X_2).

Dado que el rendimiento representa la relación de la deposición y el consumo, constituye un criterio integrador del comportamiento de los parámetros de consumo de un electrodo, reflejando el mayor aprovechamiento del electrodo; por ello, en un proceso de recargue es siempre conveniente el mayor rendimiento posible (Cruz et al., 2008; González et al., 2014). Se hace evidente entonces que, el electrodo con 50 % de marabú en el revestimiento periférico garantiza el mejor desempeño (Figura 3b). Este electrodo también garantiza la mayor Tasa de deposición (Figura 2) dentro de los tres electrodos evaluados, lo cual es favorable. Por otra parte, el mayor rendimiento se logra

para la menor corriente de soldadura (115 A) (Figura 3b); correspondiendo a la menor Tasa de deposición (Figura 1), pero al menor consumo (Figura 2). Trabajar con la menor corriente también garantiza la menor dilución del metal depositado, lo cual es favorable en el recargue (Cruz et al., 2008; Cruz et al., 2009).

La dureza media del depósito obtenido con electrodo AWS E7818 sin revestimiento periférico y con una corriente de 115 A fue de 185,4 HV; mientras la dureza del depósito del electrodo AWS E7818 con revestimiento periférico con 50 % de carbón de marabú fue de 367,9 HV. Tales valores de dureza se corresponden con una microestructura con predominio de ferrita en el caso del electrodo sin revestimiento (Cruz et al., 2018) y de bainita y martensita con austenita retenida en el caso del depósito con revestimiento periférico (Najarro et al., 2018). La dureza del depósito con el electrodo con revestimiento periférico satisface el trabajo en condiciones de abrasión a baja tensión, que es el mecanismo de desgaste predominante en órganos de trabajo de aperos de labranza (López et al., 2007b). Lo anterior se confirma al comparar con la dureza media determinada a la muestra de un disco de grada, cuyo valor fue de 352 HV.

4. CONCLUSIONES

1. Se confirma la viabilidad de empleo de cenizas y finos de carbón de marabú en un revestimiento periférico para convertir electrodos de soldadura AWS E7018 a electrodos de recargue, obteniéndose un aumento de la dureza del metal depositado de 185,4 HV a 367,9 HV.
2. Las Tasas de consumo (Tc) y de deposición (Td) crecen con la corriente; mientras el Rendimiento (R) decrece. Con el crecimiento del contenido de carbón de marabú en el revestimiento periférico, Tc, Td y R crecen ligeramente.
3. La mejor condición de desempeño se define para el mayor valor de Rendimiento, correspondiente a un contenido de 50 % de carbón de marabú en el revestimiento periférico y una corriente de soldadura de 115 A. La baja corriente de soldadura es favorable por una menor dilución del depósito. El metal depositado presentó una dureza de 367,9 HV, adecuada para el trabajo de los medios de labranza (la dureza del disco de grada fue de 352 HV).

REFERENCIAS

- Cruz, A., Rodríguez, M., & Scotti, A. (2008). Operational behavior assessment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology*, 199, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.07.048>
- Cruz, A., Scotti, A., Rodríguez, M., & Ortiz, T. (2009). La dilución como función de la corriente en depósitos de electrodos tubulares para recargue duro de componentes de la industria del azúcar. *Centro Azúcar*, 36(3), 98–103. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/479/479
- Cruz, A., Fernández, R., & Scotti, A. (2010). 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*, 19(5), 685–692. <https://doi.org/10.1007/s11665-009-9543-2>
-

- Cruz, A., Díaz, E. M., & Scotti, A. (2015). Efecto de la pirolusita, la caliza+fluorita y el ferrocromomanganeso sobre el desempeño de un electrodo básico con revestimiento periférico. *Minería y Geología*, 31(4), 84–99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223543341006>
- Cruz, A., Díaz, E., Perdomo, L., & Scotti, A. (2018). Performance of a rutile electrode for SMAW under the effect of the composition of an applied peripheral coating. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, 41(2), 2–10. <https://www.redalyc.org/journal/6057/605765712001/html/>
- Fernández, A. R., Cruz, A., Ariza, R., Scotti, A., & Guedes, N. (2014). 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*, 41(2), 1–11. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/250/241
- González, R. (2021). *Desarrollo preliminar de electrodos revestidos para el recargue y soldadura en base a residuales agroindustriales* [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas]. Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/items/b5d5b430-cf3c-4d1a-b769-e357f1097a64>
- González, O., Gómez, C., Quintana, R., Perdomo, R., Miguel, J. V., & López, R. (2014). Alternativa de doble recubrimiento para electrodo destinado al proceso de relleno manual con arco eléctrico. *Ingeniería Mecánica*, 17(3), 245–254. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000300006
- López, E., Cruz, A., Iglesias, C., Herrera, M., & González, O. (2007a). Obtención de un fundente para soldadura por arco sumergido para el recargue de la superficie de trabajo de los aperos de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1), 61–64. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216115.pdf>
- López, E., Cruz, A., Iglesias, C., Herrera, M., & González, O. (2007b). Aumento de la resistencia al desgaste de aperos mediante la aplicación de recargue superficial por soldadura automática. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4), 28–31. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216407.pdf>
- Najarro, R., Cruz, A., Perdomo, L., Ramírez, J., & López, R. J. (2018). Potencialidades de las escorias de afino del acero en la obtención de un fundente para recargue por soldadura. *Centro Azúcar*, 45(4), 32–40. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000400004
- Ortiz, T., Cruz, A., & Rodríguez, M. (2008). Evaluación de depósitos de electrodos tubulares CIS1 con vistas al recargue de cuchillas cañeras. *Centro Azúcar*, 35(1), 62–71. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/513/518
- Rodríguez, M., Cruz, A., & Mesa, A. (2022). Efecto del precalentamiento sobre la microestructura y dureza del recargue de martillos desmenuzadores con electrodos AWS E FeCr-A1. *Centro Azúcar*, 49(1), 13–20. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n1/2223-4861-caz-49-01-13.pdf>
- Santiago, W. (2023). *Estudio del efecto del contenido de carbón de marabú en un revestimiento periférico de electrodo (AWS E 7018) para su conversión a*
-

recargue [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas].
Repositorio UCLV. <https://dspace.uclv.edu.cu/entities/publication/071e7279-7c99-445d-92df-c034d1c06d41>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Maykel Cruz Díaz. Conceptualización, investigación, metodología, redacción - primera redacción.
 - Dr.C. Amado Cruz Crespo. Conceptualización, investigación, metodología, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, supervisión.
 - Dr.C. Manuel Acevedo Pérez. Análisis formal, redacción - revisión y edición, supervisión.
 - Dr.C. Alejandro Duffus Scott. Gestión de proyecto, análisis formal, redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Rodolfo Najarro Quintero. Análisis formal, redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Eduardo M. Díaz Cedré. Análisis formal, redacción - revisión y edición.
-