

## **Conversión de un aporte oxiacetilénico R-FeCr en E-FeCr para recubrimiento de piezas sometidas a desgaste erosivo**

Eduardo Manuel Díaz-Cedré  
Amado Cruz-Crespo  
Americo Scotti  
Alexis García-Hernández  
Jorge Víctor Miguel-Oria  
Nancy M. Pérez-Pino

### **Resumen**

Se estudió la conversión de un aporte oxiacetilénico R-FeCr en un aporte por arco eléctrico E-FeCr, para el relleno manual de piezas sometidas a desgaste erosivo (tornillos extrusores de arcilla), con la finalidad de incrementar la productividad de los procesos de relleno superficial y disminuir deformaciones sin reducir las propiedades de los depósitos. Se partió de la formulación de un revestimiento bajo hidrógeno, ensayado en trabajos previos, el cual fue aplicado por inmersión. Se realizaron depósitos mediante un simulador que permite realizar ensayos de soldadura manual sin la interferencia directa del soldador, variando la corriente de soldadura. Se determinaron las características técnico-operativas (tasa de fusión, tasa de deposición, rendimiento real, estabilidad de funcionamiento, metalografía y dureza del depósito) de los consumibles en estudio. El análisis de estas características permitió demostrar la factibilidad técnica de esta conversión.

**Palabras clave:** Desgaste erosivo; recubrimiento; SMAW; comportamiento operacional; microestructura.

## **Conversion of oxyacetylene filler metal R-FeCr in E-FeCr for hardfacing of parts submitted to erosion wear**

### **Abstract**

The present work is a study for the conversion from oxyacetylene filler metal R-FeCr to electric arc process with filler metal E-FeCr for surface coating of erosive wear parts, particularly clay extruder screws, due to the need to increase productivity hardfacing processes and reduce deformation without reducing the properties of the deposits. The study was based on a formulation of a low hydrogen coating tested in previous works, which was applied by immersion. Deposits were made using a simulator which allows carrying out handing welding without the welder's direct interference, varying the welding current. In this way, were determined the technical-operative characteristics of the consumable in study (fusion rate, deposition rate, real efficiency, operating stability, metallography and hardness of the deposit). The analysis of these characteristics, allowed to demonstrate the technical feasibility of this conversion

**Key words:** Erosion wear; hardfacing; SMAW; operational behaviour; microstructure.

## 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la vida útil de los equipos y piezas constituye una de las necesidades fundamentales en la industria moderna y uno de los temas más debatidos. La mayoría de los análisis estadísticos efectuados al respecto indican que la causa fundamental de sustitución y reparación de equipos y componentes no es la rotura, sino el desgaste sufrido bajo las condiciones de trabajo (*American Society for Metal* 1992).

Esta problemática se pone de manifiesto en la industria de procesamiento de minerales, debido a la gran heterogeneidad de los materiales que procesan los equipos (Scotts 1984), sometidos en su mayoría a severos regímenes de trabajo en los que predominan la erosión y la alta abrasión, esta última acompañada en ocasiones de determinados niveles de impactos.

La erosión, a pesar de ser considerada una variante de la abrasión, tiene sus particularidades en cuanto a la forma en que ocurre el deterioro de la superficie, dada por la presencia del medio que suspende las partículas abrasivas, el cual puede constituir un elemento refrigerante de la partícula, facilitando el corte de la misma (*American Society for Metal* 1992).

Este tipo de desgaste ocurre en el caso particular de los tornillos extrusores (Figura 1), cuya función es compactar la arcilla para la conformación de ladrillos, tejas y otros. Las arcillas (caolinita, mormorionita, lilita, vermiculita) están constituidas por sedimentos geológicos con tamaños inferiores a 4  $\mu\text{m}$ . Desde el punto de vista mineralógico, se constituyen en su mayor parte por filosilicatos de aluminio, magnesio, calcio y hierro. Otros componentes de las arcillas son la sílice y el carbonato de calcio (Fernández *et al.* 2001; Gulenc & Kahraman 2003). De todos ellos, los principales responsables del desgaste que ocurre en las hélices de los tornillos extrusores son la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), debido a la elevada dureza que poseen estos materiales y a la acción mecánica de la extrusión (Martínez-Prieto & Martínez-Escanaverino 1997).



Figura 1. Tornillo extrusor de arcilla.

Una práctica reconocida para solucionar ese problema es la aplicación de aleaciones resistentes al mecanismo de desgaste mediante la aplicación de relleno superficial por soldadura (*Lincoln Electric Company* 2000). Aunque son varios los procesos de soldadura que pueden ser utilizados para la aplicación de estas aleaciones, muchas empresas durante años han estado aplicando, mediante el proceso oxiacetilénico, el metal de aporte R-FeCr (*American Welding Society* 2002).

Independientemente de su buen comportamiento frente al mecanismo de desgaste, dado fundamentalmente por las características de la aleación que deposita (hierro-cromo-carbono), la utilización del proceso oxiacetilénico genera inconvenientes por baja productividad, e introduce deformaciones a los tornillos por la excesiva aplicación de calor (Cary 1994).

Una solución a esta problemática fue convertir el aporte oxiacetilénico en un aporte por arco. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento técnico-operativo del aporte oxiacetilénico R-FeCr convertido en aporte por arco E-FeCr, para incrementar la productividad sin que disminuyan sus propiedades antidesgastes en el relleno superficial por soldadura de piezas sometidas al desgaste erosivo, como es el caso del extrusor de arcilla.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se tomaron tres partidas del aporte oxiacetilénico marcados con la clasificación AWS A5.21 (*American Welding Society* 2002) como R-FeCr (3 mm de diámetro por 300 mm de longitud). La superficie de los aportes se limpió con papel abrasivo para facilitar la adherencia del revestimiento. El revestimiento aplicado (básico) se compone de fluorita, caliza (40/40) y silicato de sodio como aglutinante (29,39 % SiO<sub>2</sub>; 10,10 % Na<sub>2</sub>O; 60,51 % H<sub>2</sub>O) y provino de un trabajo precedente (Cruz-Crespo *et al.* 2008) que reveló buenos resultados.

Para compensar las pérdidas de elementos de aleación (carbono y cromo) que ocurren debido a las altas temperaturas generadas por el arco eléctrico, y con base en los trabajos de Yarovchuk (2005), se adicionó a la mezcla un 20 % de ferrocromo de alto carbono, con vista a mantener la resistencia al mecanismo de desgaste que actúa.

El revestimiento se preparó en forma de masa seca en el laboratorio de materiales del Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). La masa seca, una vez mezclada, fue aglutinada con un 40 % (referido al 100 % de dicha masa seca) de silicato de sodio, adicionado de manera gradual al tiempo que se iba aglomerando con una varilla de cerámica; se añadió agua a la masa seca hasta obtener la textura adecuada de la pasta para revestir los electrodos.

Para obtener los electrodos revestidos (seis en total) la pasta fue colocada en un recipiente de forma cilíndrica (20 mm de diámetro y 350 mm de

longitud) donde se sumergieron los aportes y luego se extrajeron lentamente. Los electrodos revestidos fueron colocados de manera vertical para someterlos durante 24 horas al proceso de secado al aire. Luego fueron introducidos en una estufa a 160 °C, durante dos horas, para extraerle toda la humedad posible en la etapa de calcinación. Se obtuvieron de este modo los electrodos con revestimientos de 0,7 mm de espesor, aproximadamente.

Teniendo en cuenta estudios precedentes (Farias *et al.* 2004; Cruz-Crespo *et al.* 2006, 2008), a los materiales de aporte en estudio se le evaluaron los siguientes parámetros tecnológicos:

- Parámetros de consumo
  - Tasa de fusión
  - Tasa de deposición
  - Rendimiento real
- Estabilidad de funcionamiento
- Estructura metalográfica y dureza.

Como en el proceso SMAW (Soldadura Manual con Electrodo Revestido) la velocidad de soldadura está asociada con la habilidad del soldador y el voltaje no puede controlarse independientemente de la corriente (Cruz-Crespo *et al.* 2008), es por ello que se tomó como única variable de entrada en los experimentos la corriente de soldadura ( $I_s$ ), manteniendo constante la velocidad de soldadura, con vistas a estudiar su efecto sobre el comportamiento técnico-operativo. Además, este parámetro del régimen es quien determina la magnitud del calor asociado, y por tanto la microestructura y propiedades finales de los depósitos del relleno. De acuerdo con las recomendaciones de un fabricante de materiales de aporte (*Lincoln Electric Company* 2000), se utilizó corriente continua con polaridad invertida (CC+), la cual, teniendo en cuenta los diámetros utilizados, fue variada en tres niveles (80 A, 100 A y 120 A).

Para evitar la interferencia del soldador, los depósitos fueron realizados en una instalación mecanizada para la soldadura SMAW (Figura 2) y ubicada en LAPROSOLDA (*Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem*), perteneciente a la Universidad Federal de Uberlandia (Souza *et al.* 1995). Esta instalación, por su diseño, permite mantener constante la velocidad de soldadura y la longitud de arco durante el funcionamiento del proceso. Este último factor se regula con la ayuda de un sistema potenciométrico, el cual permite ajustar la longitud de arco lo más corta posible (para cada tipo de electrodo) como si fuera un operario el que estuviera realizando la operación. La velocidad de soldadura fue fijada en 15 cm/min, ya que es un valor considerado dentro del rango normal para el proceso SMAW (Cary 1994; *Lincoln Electric Company* 2000).

Para la obtención de las muestras y los registros fueron realizados cordones sobre planchas de acero AISI 1020 de 150 x 50 x 6 mm en posición plana. Antes de soldar, tanto las placas como los electrodos fueron pesados en una balanza técnica.

La instalación referida está acoplada a una computadora, y a través de una tarjeta de adquisición de datos fueron registrados los valores instantáneos de corriente y voltaje, a una frecuencia de 10 kHz, una resolución de 12 bit, durante 6 s. Estos registros de valores instantáneos de corriente y voltaje con posterioridad fueron convertidos y tratados con ayuda de programas computacionales dedicados a tales propósitos, a modo de obtener las informaciones relacionadas con la estabilidad de funcionamiento.



Figura 2. Instalación experimental para la soldadura mecanizada con electrodo revestido.

Al finalizar el proceso de soldadura, las muestras fueron limpiadas cuidadosamente para eliminar los restos de escoria y salpicaduras. Una vez realizado esto, la placa con el depósito y la colilla del electrodo fueron nuevamente pesadas, para obtener la información necesaria para determinar los parámetros de consumo (Figura 3).



Figura 3. Depósito terminado y colilla del aporte (proceso por arco).

Terminada esta etapa, de los depósitos fueron extraídas tres secciones de 8 mm de espesor, en el sentido transversal al cordón (inicio, medio y final) y pulidas. Una vez terminada esta operación, las muestras fueron atacadas con reactivo de Murakami, (recomendado para materiales de alto carbono y cromo) y posteriormente observadas a 200X de aumento en el microscopio

óptico metalográfico NOVEL modelo NIM-100, con una cámara fotográfica digital acoplada. De esta manera se determinaron las fases y los microconstituyentes presentes en los depósitos.

Teniendo en cuenta la relación existente entre la microestructura y la dureza, se le determinaron los valores de dureza en los depósitos; cuya medición fue realizada con un microdurómetro SHIMATZU, modelo HVS 1 000. Fueron realizadas diez mediciones en el centro de cada depósito con una carga de 1 000 g.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Parámetros de consumo

De acuerdo con los resultados mostrados en las Figuras 4 y 5, y en concordancia con lo reportado en la literatura (Mazel 2006; Cruz-Crespo *et al.* 2008), cuando aumenta la corriente hay una tendencia al aumento de la tasa de fusión y deposición.

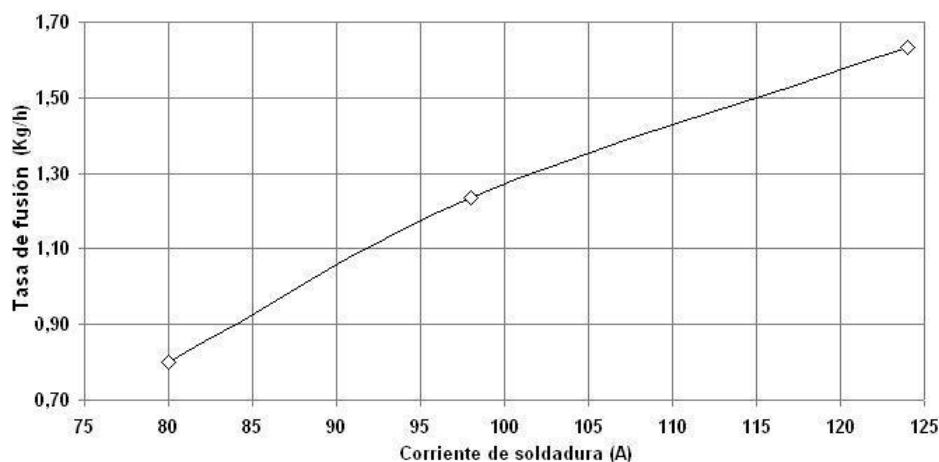


Figura 4. Comportamiento de la tasa de fusión con la corriente de soldadura.

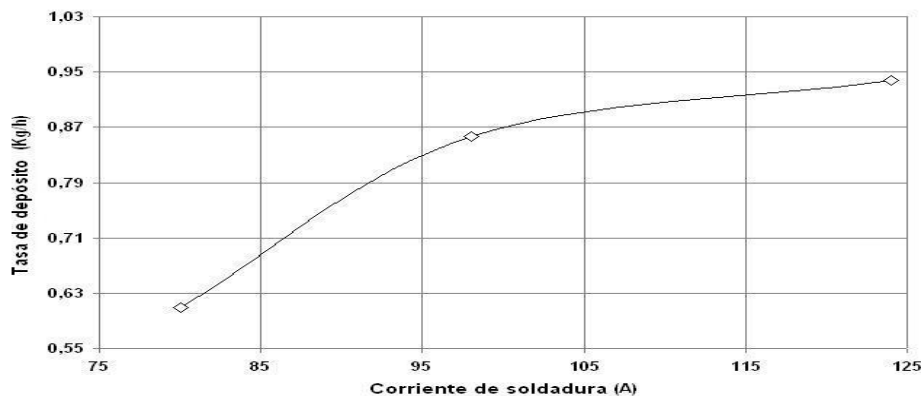


Figura 5. Comportamiento de la tasa de deposición con la corriente de soldadura.

De acuerdo con Cruz-Crespo *et al.* (2009), la tasa de fusión y depósito de un material de aporte están muy afectados por las particularidades de los revestimientos, lo que produce variaciones en los grados de ionización de las atmósferas y estas, a su vez, variaciones en los modos de transferencia. De esta forma, cuanto mayor sea la energía de ionización de la atmósfera del arco, provocada por una mayor corriente de soldadura (para un revestimiento constante), menor será el diámetro de las gotas que se transfieren, así como mayor su cantidad, incrementando de esta manera la tasa de fusión del material de aporte.

También este comportamiento podría estar asociado a la descomposición de la caliza, la cual está presente en el revestimiento adicionado. Este compuesto sufre un proceso de disociación endotérmica ( $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), en el entorno de 850 °C, pero posteriormente, con el incremento de la temperatura y la ocurrencia de los proceso de desoxidación, se convierte en exotérmico, realizando un efecto sumatorio a la energía aportada por el arco, posibilitando de esta manera una incremento de la fusión y deposición de metal (Brandi *et al.* 1991; Cruz-Crespo *et al.* 2009).

Con respecto al comportamiento del rendimiento real (Figura 6) se advierte que, en la medida que la corriente de soldadura se incrementa, se produce una reducción del rendimiento. Una explicación podría estar dada en el calentamiento excesivo del revestimiento del electrodo, por el efecto Joule, que provoca que el mismo alcance una alta temperatura en casi toda su longitud y no solamente en su punta en contacto con el arco. Esta temperatura puede ser suficientemente alta como para la descomposición de los materiales que lo conforman, disminuyendo el efecto protector. Esto, como es de esperar, aumenta el intercambio de calor con el medio circundante e incrementa la oxidación de los elementos de aleación y su pérdida. También, y de acuerdo a los trabajos de Brandi y otros (1991), con el incremento de la corriente se puede producir un cambio en la transferencia metálica, el cual, para este grupo de materiales de aporte en particular, puede llevar a una disminución en el tamaño de las gotas que se transfieren, permitiendo el desarrollo de los mecanismos de la salpicadura.

Teniendo en cuenta el parámetro de rendimiento real, en este caso, la corriente máxima de aplicación de estos materiales de aporte está alrededor de los 80 A.



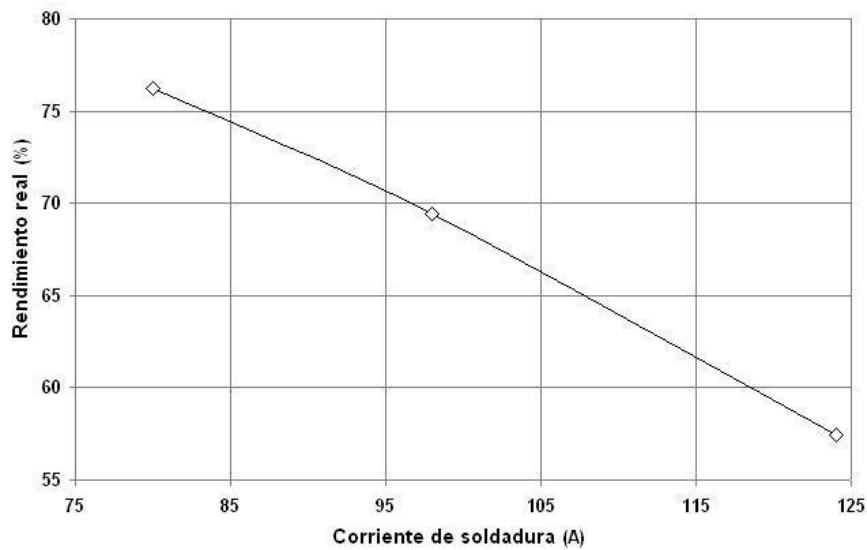


Figura 6. Comportamiento del rendimiento real con la variación de la corriente.

### 3.2. Análisis de la estabilidad de funcionamiento

Para el estudio de la estabilidad de funcionamiento, y tomando como base lo planteado en la literatura (Rehfeldt & Bollman 1987; Sharma 2006), se partió de los registros instantáneos de voltaje adquiridos durante la realización de los depósitos (Figura 7).

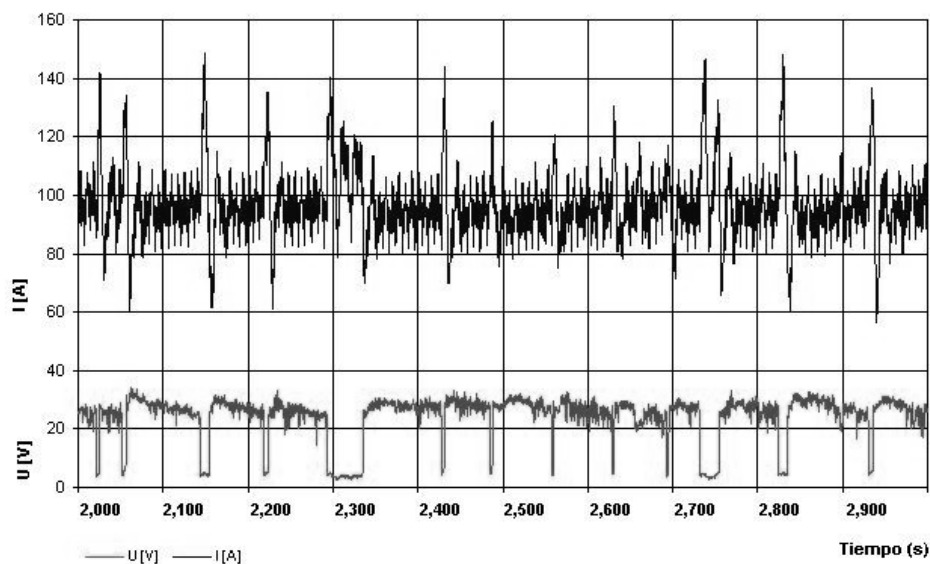


Figura 7. Ejemplo de registros instantáneos de voltaje y corriente.

Con estos registros se procedió al cálculo de los coeficientes de variación del voltaje ( $K_v$ ) para cada uno de los consumibles en estudio. Este coeficiente permite determinar la variabilidad (dispersión estadística) de los datos. Su fórmula (Ecuación 1) expresa la desviación estándar de la

media aritmética, mostrando una mejor interpretación de la variabilidad de la desviación estándar.

Un resultado ideal significaría tener una dispersión, con relación a la media, lo más pequeña posible, por lo que en el caso de este estudio significaría que el consumible tiene un funcionamiento estable y no tiene grandes oscilaciones, ni diferencias de amplitudes. Es preciso destacar que esta determinación solo tiene un carácter comparativo.

$$K_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

$K_v$ : Coeficiente de variación (%);

$\sigma$ : Desviación estándar (V);

$\bar{X}$ : Media de las mediciones (V).

En la Figura 8 se muestra el comportamiento del coeficiente de variación del voltaje ante el incremento de la corriente de soldadura. Este comportamiento es consistente con lo mostrado para el rendimiento real (Figura 6), ya que en la medida que el proceso se hace más estable (menor coeficiente de variación del voltaje), las pérdidas disminuyen, lo que concuerda con lo reportado en la literatura (Rehfeldt & Bollman 1987). Se evidencia de esa manera una disminución en el tamaño de las gotas de metal que se transfieren según la corriente de soldadura se incrementa.

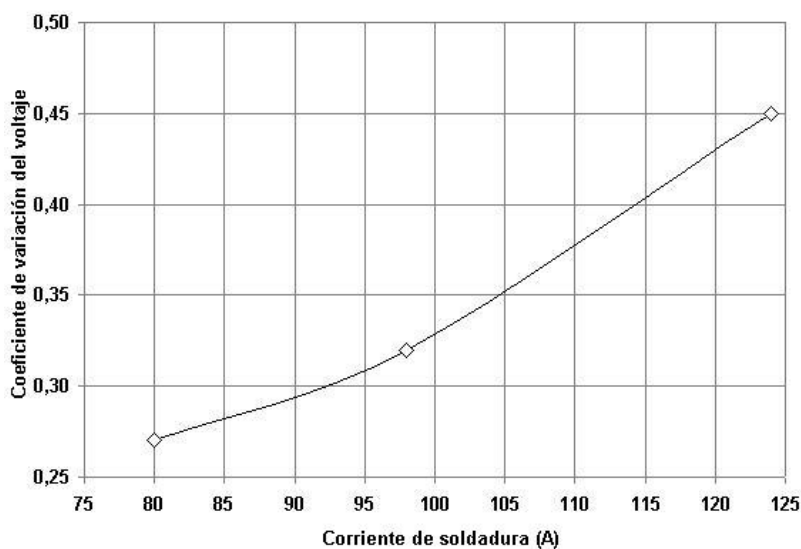


Figura 8. Comportamiento del coeficiente de variación del voltaje con respecto a la intensidad de corriente.

Para corroborar lo anteriormente planteado, respecto al cambio en la transferencia con el incremento de la corriente, los registros instantáneos de voltaje y corriente fueron procesados con el software ANALISCC. En la Figura 9 se puede apreciar el parámetro frecuencia de cortocircuitos con transferencia, la cual, según la literatura consultada (Brandi *et al.* 1991), es el tipo de transferencia que normalmente ocurre en este proceso. Puede observarse que en la medida que se incrementa la corriente, se incrementa también la frecuencia de cortocircuito, elemento este que puede ser un indicativo de la disminución del tamaño de las gotas de metal que son transferidas.

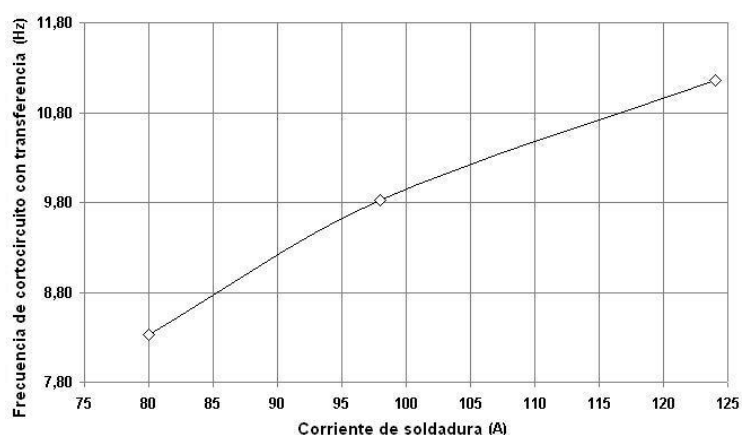


Figura 9. Comportamiento de la frecuencia de cortocircuitos con transferencia respecto a la corriente de soldadura.

### 3.3. Dureza de los depósitos y caracterización metalográfica

En la Figura 10 se muestran los valores de dureza de los depósitos obtenidos para los tres niveles de corriente de soldadura ensayados, observándose que para los menores niveles de corriente de soldadura, se obtienen los mayores valores de dureza; situación que ha sido abordada en la literatura (Buchely *et al.* 2006), y que está justificada en que, para la menor intensidad de corriente se produce una menor dilución, facilitando de esta manera que exista una composición estequiométrica de elementos de aleación que sean capaces de formar carburos, para este caso el carbono y el cromo (Da *et al.* 2009).

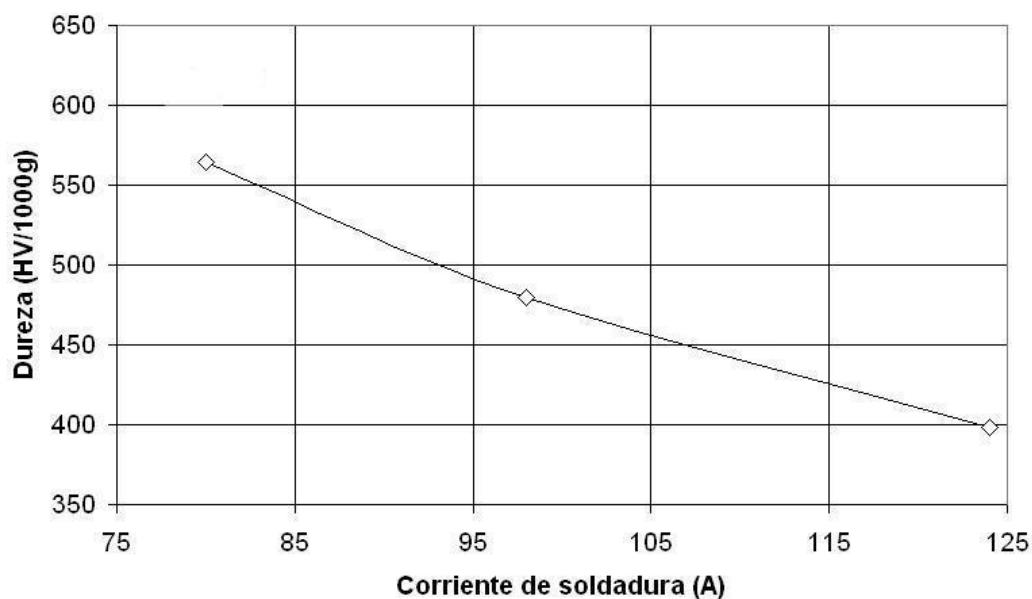


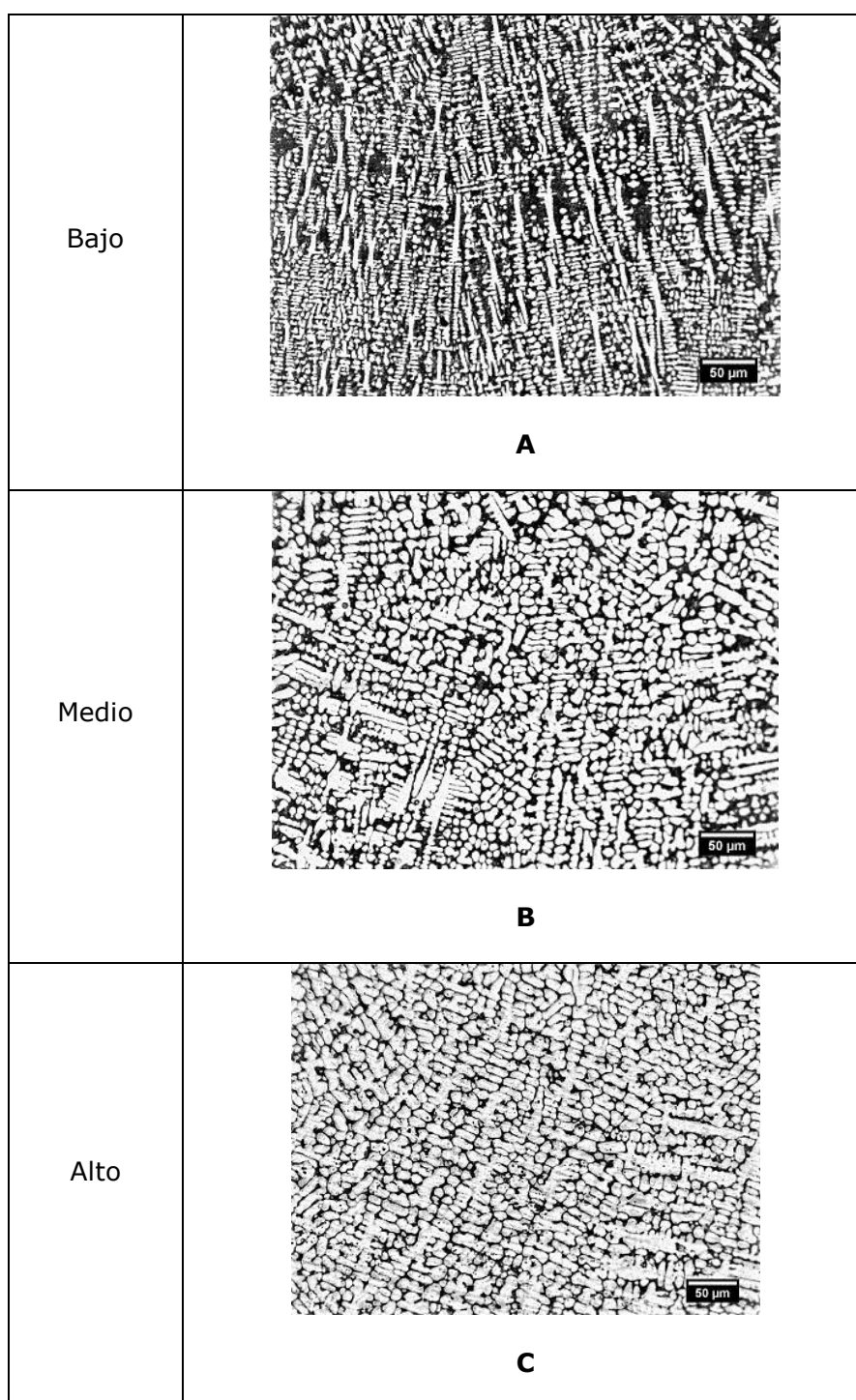
Figura 10. Comportamiento de la dureza del depósito con la variación de la intensidad de corriente.

En el caso del depósito que logra la mayor dureza (590 HV), y que fue realizado con el menor nivel de corriente, presenta una estructura (Tabla 3, Figura A) formada por un constituyente eutéctico, constituida por carburos de Fe-Cr, austenita y martensita (zonas oscuras) y campos dendríticos de austenita (zonas claras).

Este resultado coincide con lo reportado en la literatura (Coelho-Lima & Ferraresi 2009; De Melo & Villani-Marques 2009). En la Tabla 3, Figuras B y C, se observa que en la medida que se incrementa la corriente de soldadura, se experimentan cambios en la morfología de los depósitos, aumentando el tamaño de los campos dendríticos de austenita y disminuyendo el tamaño de la matriz eutéctica, lo cual es consistente con la disminución de la dureza que se muestra en la Figura 10.

Tabla 3. Microestructura de los depósitos realizados para diferentes niveles de corrientes de soldadura

Nivel de corriente de soldadura	Metal de aporte
	Microestructura
(A)	(Ataque con Murakami observación a 200 X)



#### 4. CONCLUSIONES

1. El aporte oxiacetilénico R-FeCr puede ser convertido satisfactoriamente en aporte por arco E-FeCr, mediante la adición de un revestimiento a base de fluorita, caliza y FeCrC (40/40/20), aglutinado con silicato de sodio, para ser utilizado en el relleno superficial por soldadura de

elementos desgastados mediante mecanismos erosivos, como es el caso de los tornillos extrusores de arcilla.

2. El E-FeCr, en el rango de las bajas corrientes (80 A), posee el mejor comportamiento, desde el punto de vista de los parámetros de consumo (tasa de fusión 0,8 kg/h, tasa de depósitos 0,61 kg/h y rendimiento 76,22 %), y estabilidad de funcionamiento (coeficiente de variación del voltaje de 0,27).
3. La dureza del depósito y su microestructura (560 Hv/<sub>1000g</sub>; eutéctico + austenita) posibilita que el aporte E-FeCr, en el rango de las bajas corrientes (80 A), tenga un comportamiento adecuado ante el mecanismo de desgaste que actúa sobre la pieza.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CAPES (Brasil) y al MES (Cuba) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo cooperativo, en el marco del Convenio CAPES/MES CUBA y en especial a LAPROSOLDA/UFU (Brasil), por brindar las instalaciones experimentales para el desarrollo de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR METAL. 1992: Friction, Lubrication, and Wear Technology. Volume 18, ASM International, 1 879 p.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. 2002: A5.13 Specifications for Surfacing Welds Rods and Electrodes., 22 p.
- BRANDI, S. D.; TANIGUCHI, C. & LIU, S. 1991: Analysis of Metal Transfer in Shielded Metal Arc Welding. *Welding Journal*, October: 261-270.
- BUCHELY, M. F.; GUTIÉRREZ, J. C.; LEÓN, L. M. & TORO, A. 2006: The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear* 259: 52-61.
- CARY, H. B. 1994: *Modern Welding Technology*. Third Edition. Regents/Prentice Hall, New York, 800 p.
- COELHO, A. & FERRARESI, A. 2009: Análise da Microestrutura e da Resistência al Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira. *Soldagem & Inspecao* 14(2): 140-150.
- CRUZ-CRESPO, A.; FERNÁNDEZ-FUENTES, R. & SCOTTI, A. 2009: 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* 32(Sept): 41-47.
- CRUZ-CRESPO, A.; PERDOMO, L.; PÉREZ, M. R.; FERNÁNDEZ, R. & ORTIZ, T. M. 2006: Obtención de un fundente aglomerado aleado y un electrodo tubular revestido con el empleo de FeCrMn y escoria de la reducción carbotérmica

- de minerales. En: Congreso da Sociedade Brasileira de Soldagem. Belo Horizonte, Brasil, octubre, 26-32.
- CRUZ-CRESPO, A.; SCOTTI, A. & RODRÍGUEZ-PÉREZ, M. 2008: Operational behavior assesment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology* 199: 265-273.
- DA, L.; LIGANG, L.; YUNKUN, Z.; CHUNLEI, Y.; XUEJUN, R.; YULIN, Y. & QINGXIANG, Y. 2009: Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition. *Materials and Design* 30: 340-345.
- DE MELO, R. & VILLANI-MARQUES, P. 2009: Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste Abrasivo do Revestimento de Três Ligas Metálicas Utilizadas na Indústria, Aplicadas por Soldagem com Arames Tubulares. *Soldagem & Inspeccao* 14(4), Out/Dez: 329-335.
- FARIAS, J. P.; BÁLSAMO, P. S. & SURIAN, E. S. 2004: The effect of wollastonite on operational characteristics of AWS E6013 electrodes. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 26(3): 17-21.
- FERNÁNDEZ, J. E.; VIJANDE, R.; TUCHO, R.; RODRÍGUEZ, J. & MARTÍN, A. 2001: Materials selection to excavator teeth in mining industry. *Wear* 250: 11-18.
- GULENC, B. & KAHRAMAN, N. 2003: Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process. *Materials and Design* 24: 537-542.
- LINCOLN ELECTRIC COMPANY. 2000: The Procedure Handbook of Arc Welding. Cleveland, Ohio, 783 p.
- MARTÍNEZ-PRIETO, F. & MARTÍNEZ-ESCANAVERINO, F. 1997: *Teoría y Práctica del Rozamiento*. Editorial CUJAE, La Habana, 243 p.
- MAZEL, Y. A. 2006: Development of high-productivity high-alloyed electrodes. *Welding International* 20(11): 913-917.
- REHFELDT, D. & BOLLMAN, A. 1987: Comparing Investigations of Covered Electrodes of Different Fabrications by Statistical Process Analysis'. IIW Documet 212-677-87.
- SCOTTS, W. 1984: Proceedings of the International Conference on Tribology in Mineral Extraction. Nottingham, UK, 4-8 October, 45-52.
- SHARMA, B. C. 2006: Process Stability Evaluation of Basic Coated Manual Metal Arc Welding Electrodes. *Journal of the Institution of Engineers (India)* 86(March): 39-48.
- SOUZA, M. S.; GADOTTI, I. & SCOTTI, A. 1995: Um Banco de Ensaio para Avaliar Eletrodos Revestidos. En: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM - II Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica – CIDIM. Belo Horizonte, Brasil, 6-8 Dez, p. 62-69.

YAROVCHUK, A. V. 2005: Effect of ferrochrome content on the oxidation-reduction processes in welding slags based on titanium dioxide. *Welding International* 8: 651-656.

**Eduardo Manuel Díaz-Cedré.**

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. [edcedre@yahoo.com](mailto:edcedre@yahoo.com)

**Amado Cruz-Crespo**

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Auxiliar. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)

**Americo Scotti.**

Philosophical Doctor. Profesor Titular. , LAPROSOLDA, Universidad Federal de Uberlândia, Brasil. [ascoti@ufu.br](mailto:ascoti@ufu.br)

**Alexis Garcia Hernández.**

Ingeniero Mecánico. U.B.E. Base de Apoyo, Empresa de Materiales de la Construcción Villa Clara, Cuba. [base@vclara.geicon.gov.cu](mailto:base@vclara.geicon.gov.cu)

**Jorge Víctor Miguel Oria.**

Licenciado en Física. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. [jorgev@uclv.edu.cu](mailto:jorgev@uclv.edu.cu)

**Nancy M. Pérez-Pino.**

Especialista de la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial, CIGET-VC, Cuba. [nancy@ciget.vcl.cu](mailto:nancy@ciget.vcl.cu)