

**Título: Conversión de un rectificador para su empleo como fuente de un horno para la producción de consumibles aplicables a la reparación y mantenimiento en la industria azucarera.**

**Conversion of a rectifier for use as a source of a furnace for the production of consumables applicable to the repair and maintenance in the sugar industry**

**Autores: Alexis Delgado Gómez, Amado Cruz-Crespo, Félix Ramos Morales, Lorenzo Perdomo González, Eduardo Díaz Cedré**

**Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), FIM, UCLV.**

**[alexisdg@uclv.edu.cu](mailto:alexisdg@uclv.edu.cu)**

**Carr. a Camajuaní, Km 51/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.**

#### **Resumen**

El presente trabajo ofrece una solución que permite utilizar un rectificador de soldadura del tipo BDU-506 04, que se encontraba inhabilitado para el servicio, como fuente de energía para un horno por arco eléctrico, para el procesamiento pirometalúrgico de materiales. La conversión consiste en modificaciones realizadas a los circuitos originales de la fuente de soldadura a fin de adecuarla a los parámetros y régimen de trabajo del horno. El circuito remodelado garantiza la entrega de corriente y su regulación para el adecuado funcionamiento y control del horno durante el procesamiento electrotérmico de la carga en el crisol de grafito. Basado en los criterios sobre la energía efectiva del arco se definieron las dimensiones del crisol del horno que garantiza el desarrollo efectivo del proceso. El correcto funcionamiento de la fuente de corriente fue validado mediante la obtención de un fundente y con la soldadura de probetas de acero para otros experimentos.

**Palabras clave:** Soldadura, Consumibles, Fuentes de corriente.

**abstract**

The present work offers a solution that permit to use a rectifier welding source BDU – 506 04 type, that was unserviceable, like energy source for an electric arc furnace, for pirometalurgical processing of materials. The conversion consists in modifications that were made to the original circuits of the welding source in order to adecuate it to the parameters and work regime of the furnace. The redesigned circuit ensures the delivery of current and its regulation for the proper operation and control of the furnace during the electrothermal processing of the charge in the graphite crucible. Based on the criteria about the effective energy of the arc, the dimensions of the crucible furnace were defined to guarantee and effective develop of the process. The correct operation of the current source was validated trough the obtaining of a flux and with the welding of steel specimens for other experiments.

**Keywords:** Welding, Consumables, Current Sources.

## 1. Introducción

Dadas las condiciones específicas en que se ha desarrollado nuestro país en los últimos años la adquisición de nuevos equipamientos ha estado sujeta a serias limitaciones, lo cual se hace más complicado aun en aquellos casos en que se requiere de equipamientos específicos, que unido a la especificidad del campo de uso, su disponibilidad en el mercado de un lado y los precios de otro imposibilitan acceder a fuentes de financiamiento para adquirirlos. En tales casos lo más pertinente es desarrollar el equipamiento a partir de la adquisición de componentes aislados e incluso recuperando componentes de instalaciones fuera de servicio. Esto, que es una práctica común en el campo tecnológico, ha sido una circunstancia permanente para el desarrollo de consumibles de soldadura y recargue en el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS)<sup>9, 12</sup>.

Por otra parte, desde el propio surgimiento del CIS uno de los temas de investigación ha estado dirigido al procesamiento pirometalúrgico de minerales y residuales para la obtención de consumibles e insumos, lo cual ha requerido del uso de hornos de procesamiento<sup>2,7,8</sup>. Cabe señalar que un número apreciable de los consumibles desarrollados en el CIS han sido aplicables a trabajos de la industria azucarera o incluso han sido desarrollados con el propósito de responder a situaciones concretas de esta industria<sup>3,4,6</sup>.

Sobre la base de lo planteado surge de la necesidad del grupo de Materiales para Soldar del CIS, de contar con una fuente de potencia capaz de alimentar un horno por arco eléctrico de corriente continua con crisol de grafito, aplicable a la obtención de consumibles e insumos para la soldadura y recargue de piezas. A la vez que se contaba con un rectificador BDU-506 04 que desde hacía años estaba fuera de servicio que podía ser modificado a tales fines

### **Desarrollo**

#### **Modificación del rectificador**

El rectificador de soldadura BDU-506 04, seleccionado para ser utilizado como fuente de potencia del horno de crisol, presentaba una avería en su circuito de regulación de corriente. Se trata

de un rectificador trifásico de onda completa, doble estrella, con reactor interfase. Cada mitad del circuito funciona como un rectificador trifásico. Cada estrella entrega la mitad de la corriente directa total, 250A. El circuito posee las ventajas de la rectificación trifásica y hexafásica. Es bien conocido que cuando se requiere de una potencia de salida elevada y haya que atender a la eficiencia de funcionamiento, se utiliza una alimentación de energía trifásica, como es el caso del rectificador citado<sup>11, 13</sup>. Las características fundamentales del rectificador BDU-506 04 son presentadas, a continuación, en la tabla 1:

Tabla 1. Características fundamentales del rectificador BDU-506 04.

Tensión de alimentación	220V, 60Hz, trifásica
Máxima corriente primaria	102A
Máxima corriente secundaria	500A
Tensión en vacío	85V

Este rectificador posee seis rectificadores controlados o tiristores de 170A. Al no disponerse de diodos para sustituir a los tiristores, ni de transformadores de impulsos para junto a un circuito de control regular el ángulo de conducción de los tiristores, la solución que se propuso fue la de hacer funcionar a los tiristores como "diodos" y regular la corriente con dos reóstatos de carga Pb 302, conectados en paralelo. Cada reóstato permite regular la corriente entre 6 y 316A.

El circuito del rectificador, con la solución adoptada, es presentado en la figura 1.

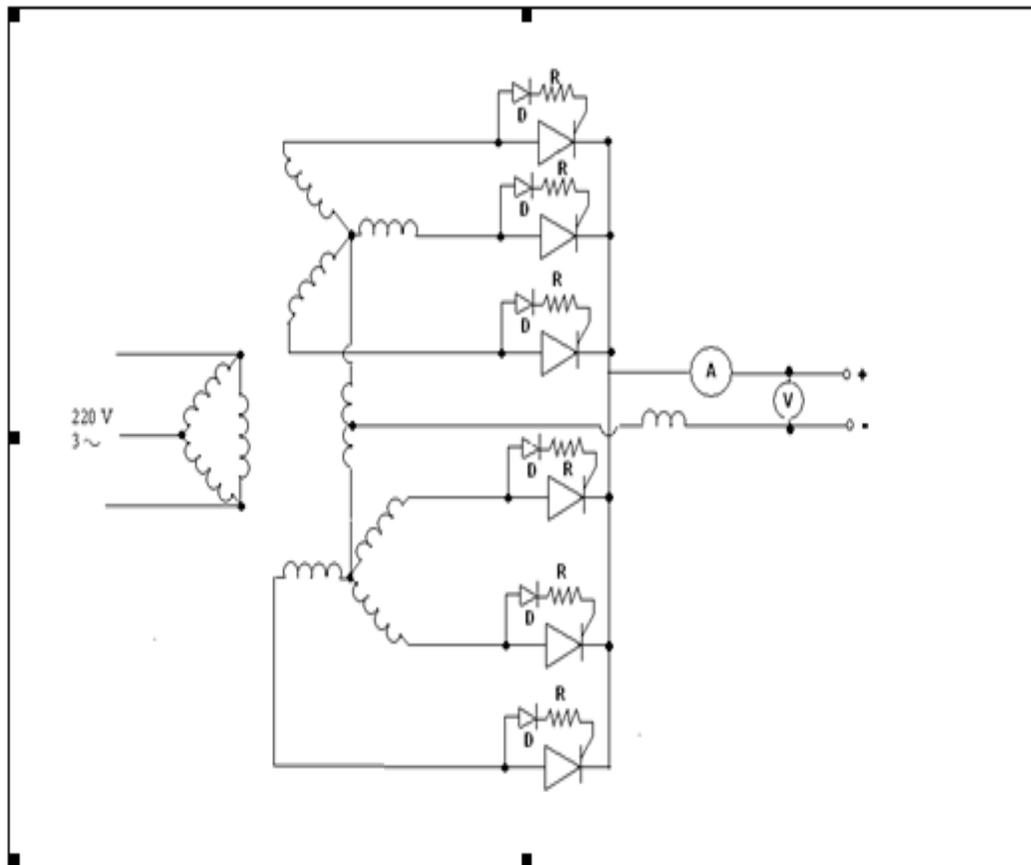


Figura 1. Circuito rectificador modificado.

Fueron empleados seis diodos 1N4007 y seis resistores de 68 W conectados entre el ánodo y la puerta de cada tiristor. El reactor interfase absorbe la diferencia de potencial entre los neutros de cada estrella y el período de conducción de los dispositivos rectificadores es prácticamente de un tercio de ciclo.

La característica exterior de este circuito rectificador es plana. Para obtener la característica decreciente, y con ello regular la corriente deseada del horno, es que se utilizan los reóstatos, que al cambiar su resistencia, crean resistencias complementarias.

Debido a la superposición de las tensiones rectificadas, el circuito produce una pequeña tensión de rizado a la salida, y como resultado, la estabilidad del arco es alta. La frecuencia de la tensión de rizado es de 360Hz. La secuencia de conmutación de la corriente de un dispositivo rectificador a otro es una función inherente de los circuitos polifásicos.

En función de la energía entregada por el arco fueron concebidas las dimensiones del crisol del horno, considerando que la energía entregada no deje zonas muertas<sup>10</sup>. El horno construido presenta dimensiones que garantizan producciones para cubrir demandas específicas de consumibles para dar respuesta a casos puntuales, tanto de fundentes fundidos, como de insumos (ferroaleaciones y matrices) para la elaboración de fundentes aglomerados y electrodos. Se utiliza la polaridad invertida para alimentar al horno: electrodo positivo y crisol negativo. Ello garantiza una mayor durabilidad del crisol respecto a la del electrodo, el cual es fácilmente intercambiable. La potencia entregada al horno y con ello la productividad puede ser incrementada, empleando dos rectificadores del mismo tipo, con características similares, y conectados en paralelo<sup>14</sup>.

## 2.2 Puesta a Punto del Rectificador

Para la puesta a punto del rectificador se realizaron corridas de obtención de fundente fundido al manganeso FFMN1, desarrollado en investigaciones previas<sup>2</sup>. Fueron conformadas 12 cargas de mineral para la

composición media del fundente, compuestas por: 2,675 Kg de pirolusita, 0,977 Kg de arena de sílice, 0,029 Kg de Caliza, 0,092 Kg de feldespato y 0,227Kg de fluorita. Durante la colada en el horno (ver figura 2) se mantuvo la corriente en el entorno de los 500 A, cuya regulación se realizó mediante los reóstatos y el mecanismo de control de longitud del arco (ascenso y descenso del electrodo). La alimentación de carga al horno se realizó de manera gradual por los alrededores del electrodo, a fin de mantener el arco sumergido para una mayor eficiencia del proceso. Fueron realizadas 4 coladas de 3 cargas cada una, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.

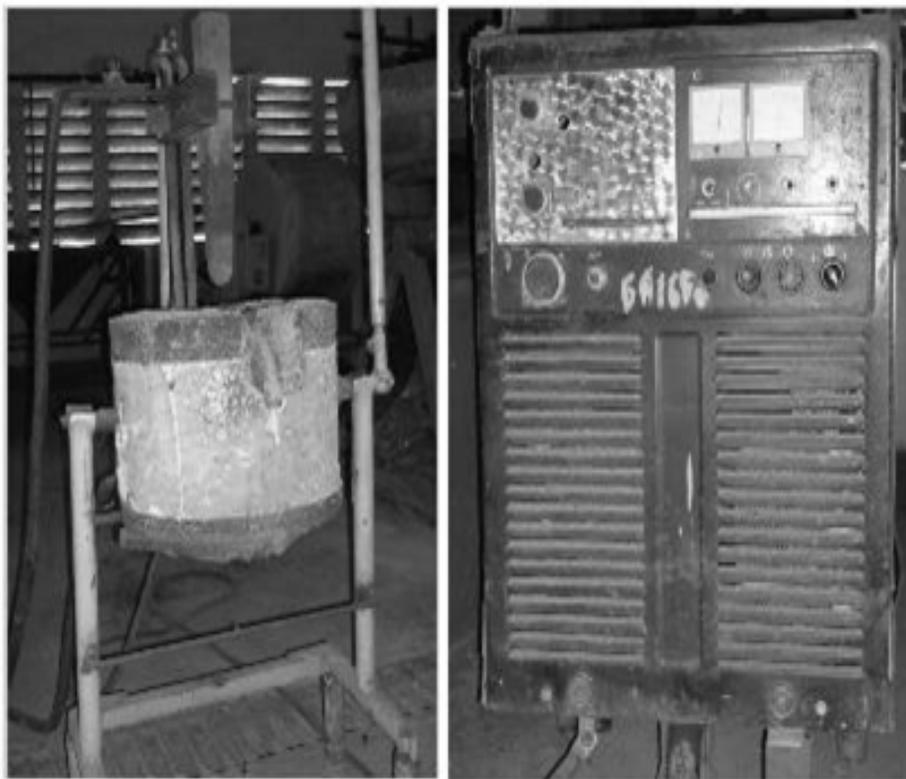


Figura 2. Horno de arco y fuente de alimentación.

Tabla 2. Resultados de coladas para la composición media del fundente FFMN1

Colada	Tiempo, (min.)	Masa de fundente, (Kg.)
1	48, 5	9,866
2	50, 3	9,857
3	52, 6	9,920
4	49, 25	10,011
$\hat{y}$	50, 16	9,914
S	1, 78	0,071

Como se aprecia, de acuerdo al tiempo de colada de cada corrida hay reproducibilidad en el comportamiento, a la vez que los resultados de colada coinciden con resultados previos, obtenidos con otra fuente (aquella de una corriente nominal de 1000 A y por consiguiente un horno de mayores dimensiones) durante el desarrollo de este fundente<sup>2</sup>. Los resultados de la puesta a punto han sido corroborados en trabajos posteriores de obtención de diversos materiales.

Con las características actuales la fuente es también utilizada en la soldadura manual con electrodo revestido, lo cual ha sido corroborado en múltiples ocasiones en la realización de depósitos para la evaluación de electrodos experimentales y en la realización de servicios científico-técnicos. A modo de ejemplo de lo anterior, la tabla 3 muestra los valores de los parámetros del régimen de soldadura empleado en la realización de un depósito con un electrodo E 7018, sobre una placa de acero 1020, con vistas a la medición con termopares del campo de temperaturas generado<sup>5</sup>.

Tabla 3. Régimen de soldadura para la realización de depósito, empleando el rectificador BDU-506 04.

Corriente de soldadura, (A)	Voltaje de arco, (V)	Velocidad de soldadura, (mm/s)
120	24	2,61

Durante la realización del depósito se apreció una adecuada estabilidad del arco eléctrico, lo que indica un funcionamiento estable de la fuente de soldadura. En la figura 3 se muestra uno de los cordones obtenidos.

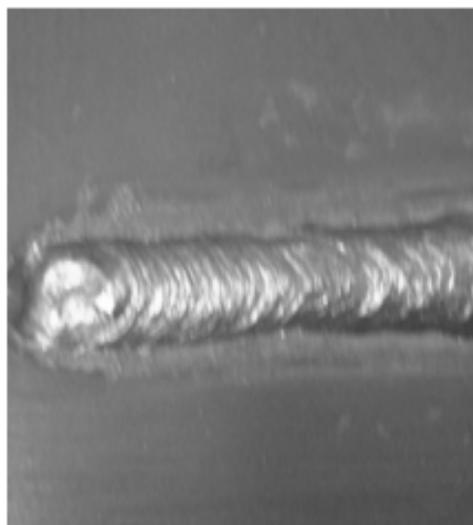


Figura 3. Cordón depositado empleando el rectificador BDU-506 04.

A su vez la fuente ha sido empleada, con fines docentes, en la soldadura con múltiples puestos de trabajo. Todo ello da criterio de una mayor versatilidad funcional de la fuente con el nuevo circuito.

## Conclusiones

1-El rectificador fue convertido para responder a las exigencias de una fuente para el procesamiento minerotérmico de minerales y residuales, permitiendo la alimentación de un horno por arco eléctrico, con el que pueden obtenerse, con buena estabilidad del proceso, consumibles destinados a la soldadura y recuperación de piezas.

2-Las modificaciones realizadas al rectificador lo hacen versátil desde el punto de vista de las aplicaciones, ya que puede además de su función básica ser utilizado para la soldadura por arco manual y relleno de metales con electrodo fusible y en la soldadura con múltiples puestos de trabajo.

## Agradecimientos:

Los autores agradecen la valiosa colaboración en la realización de este trabajo a: Alejandro García Rodríguez, Alejandro Duffus Scout, Omar García Manresa y Alejandro Leal.

## Bibliografía

1. Angelo, E.J.: Circuitos Electrónicos, Cap. 3, p.78, Segunda Edición, Edición Revolucionaria, 1970.
2. Cruz-Crespo, A. et al: "Obtención por Fusión de un Fundente para la Soldadura por Arco Sumergido del Sistema  $MnO-SiO_2-CaO-Al_2O_3-CaF_2$ ". Rev. Soldagem Insp., Vol. 10, No. 4, Out/Dez 2005.
3. Cruz-Crespo, A.; et al.: Fundente al manganeso para la soldadura por arco sumergido de domos de calderas de centrales azucareros. Rev. Centro Azúcar No 1, 2001a, pág. 63 - 68.
4. Duffus, Dayana, et al: "Análisis de factibilidad económica- financiera para la producción de un fundente de soldadura aplicable en el sector azucarero". Rev. Centro Azúcar, No. 1, 2008.
5. González Prieto, Y. "Medición de temperaturas empleando termopares. Su aplicación a la soldadura". Tesis de Ingeniería. Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 2008.
6. Jerez, R. "Aprovechamiento de escorias de fundición de empresas del sector azucarero en la obtención de matriz de un fundente aglomerado para recuperación de piezas del propio sector". Rev. Centro Azúcar, No 2, 2007.
7. Patente Nro.:22793. "Procedimiento de obtención simultánea de escoria esponjosa y aleac. de cromo dest. a la conf. de fdtes aglomdos para la sold. Autom. bajo fundente (SAW)". 2002
8. Patente Nro.:23018. "Fundente fundido para la soldadura automática bajo arco sumergido (SAW) y procedimiento de su obtención". 2001.
9. Patente Nro.:23042. "Torre para la granulación de fundentes fundidos y ferroaleaciones". 2005.
10. Perdomo, L.; Obtención de un fundente aglomerado aleado para el recargue a partir de los productos de la reducción de cromitas refractarias cubanas. Tesis Doctoral. ISMM de Moa. 2000.
11. Rashid, M.H.: Electrónica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, Segunda Edición, Primera Parte, pp. 67-184.
12. Rodríguez, M., et al: "Laboratorio para la obtención de nuevos materiales para la soldadura y recuperación de piezas". Logro CITMA. 1999.
13. Saura, M.R., Saura A.C.: Electrónica de Potencia, Editorial Pueblo y Educación, pp.11-119, La Habana, 1988.
14. Sola, J.L.B.: Tecnología de Soldadura, 54-56, 1989.