

ANÁLISIS PRELIMINAR DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE ESCORIA DE SOLDADURA

Leonardo Herrera Paz^a, Teresa Pérez Sosa^b, Ramón Quiza^b, Marcelino Rivas Santana^b

^a Estudiante de Maestría en Ingeniería Asistida por Computadora, Universidad de Matanzas

^b Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS, Universidad de Matanzas
Autopista a Varadero, km 3½ Matanzas 44740, Email: {teresa.perez, ramon.quiza, marcelino.rivas}@umcc.cu

Resumen: En el trabajo se propone un análisis preliminar de factibilidad económica de una planta de reciclaje de la escoria de la soldadura por arco sumergido para su reutilización como fundente. Se expone y explica el esquema de proceso propuesto y se selecciona el equipamiento correspondiente entre las ofertas disponibles en el mercado internacional. La maquinaria seleccionada cumplió con todos los requisitos de producción. Se realizó un análisis de costos para el enfoque propuesto, determinando la tasa interna de retorno y el valor actual neto, los cuales fueron utilizados como criterios para determinar la factibilidad económica preliminar de la inversión propuesta.

Palabras claves: Soldadura por arco sumergido; escoria; reciclaje; factibilidad económica.

Abstract: The work proposes a preliminary economic feasibility analysis of a plant for recycling the slag from submerged arc welding for being reused as flux. The proposed process diagram is exposed and explained and the corresponding equipment is selected from the available offers in the international market. The selected machinery fulfilled all the production requirements. A cost analysis was carried out for the proposed approach, determining the internal rate of return and the present net value, which were used as criteria for determining the preliminary economic feasibility of the propose investment.

Keywords: Submerged arc welding slag; recycling; flux; economic feasibility.

1. Introducción.

La escoria es el principal residuo del proceso de soldadura bajo fundente [1]. Por la presencia de elementos como el manganeso, perjudiciales para la salud, tiene un carácter contaminante, y su reciclaje juega un papel importante en cualquier industria donde la soldadura bajo fundente forme parte de un proceso de producción continua y, consecuentemente, se generen volúmenes de escoria significativos [2].

Para el reciclaje de la escoria de soldadura, se han propuesto diferentes alternativas, dentro de las cuales, se destacan su uso como aditivo en materiales de la construcción [3] y su reutilización como fundente en el propio proceso de soldadura [4, 5]. Esta última alternativa, resulta de

especial interés en las condiciones de la industria cubana ya que representa una sustitución parcial de importaciones.

Para un reciclaje técnicamente factible, se requiere contar con una instalación donde se realicen los diversos procesos que garanticen los requisitos de calidad de la mezcla obtenida para ser utilizada como sustituto del fundente. Este trabajo se propone, como objetivo, realizar el diseño preliminar de una planta de reciclaje de escoria de soldadura por arco sumergido, con el correspondiente análisis de factibilidad económica.

2. Materiales y métodos.

El proceso de reciclaje propuesto para la escoria, cuenta de seis operaciones unitarias (ver Fig. 1). En primer lugar, la escoria proveniente del proceso, se muele y, posteriormente, se enjuaga, para eliminar el polvo. A continuación, se somete a un proceso de secado en un horno de mufla, para luego ser tamizado y separar el material con la granulometría adecuada. Seguidamente, se somete a un proceso de separación electromagnética para eliminar los fragmentos de material ferroso que pudieron introducirse durante la soldadura. Finalmente, el material obtenido se mezcla, en la proporción dada, con el fundente original.

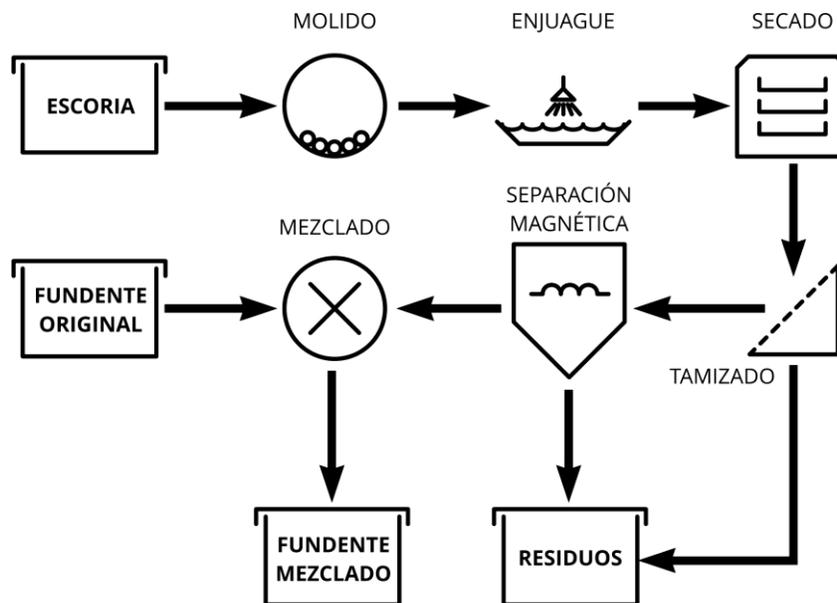


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de la scoria

Para cada uno de los pasos anteriores, se seleccionó el equipamiento correspondiente, según las ofertas disponibles en el mercado internacional [6-12] y según los requerimientos técnicos de los procesos respectivos. En la Tabla 1 se resumen las características del equipamiento seleccionado.

Tabla 1. Características del equipamiento seleccionado

<i>Equipo</i>	<i>Detalles</i>	<i>Precio unitario [CUP]</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Referencia</i>
Contenedor	Volumen 640 L	2 650,00	10	[6]
Molino de bolas	Capacidad: 200 kg/h, Potencia: 2,2 kW	68 750,00	1	[7]
Máquina lavadora	Capacidad: 2 t/h, Potencia: 3,0 kW	37 500,00	1	[8]
Horno de mufla	Capacidad: 25 kg/h, Potencia: 9 kW	20 000,00	1	[9]
Tamizador vibratorio	Capacidad: 100 kg/h, Potencia: 0,18 kW	17 500,00	1	[10]
Separador magnético	Capacidad: 20 t/h, Potencia: 0.75 kW	33 000,00	1	[11]
Mezclador	Capacidad: 200 kg/h, Potencia: 2,2 kW	22 500,00	1	[12]

A partir de los datos anteriores, se determinó el costo de equipamiento, Z_{EQ} :

$$Z_{eq} = \sum_{i=1}^n z_{eq,i} n_i ; \quad (1)$$

donde $z_{eq,i}$ es el costo unitario del i -ésimo equipo, y n_i la cantidad del mismo. Teniendo en cuenta los valores de la Tabla 1, el costo de equipamiento es:

$$Z_{eq} = 225 750,00 \text{ CUP} . \quad (2)$$

Se consideró un costo de instalación y montaje, Z_{im} , correspondiente al 25% del costo de equipamiento:

$$Z_{im} = 0,25Z_{eq} = 0,25 \cdot 225 750,00 = 56 437,50 \text{ CUP} ; \quad (3)$$

con lo que el costo total de la inversión, Z_{inv} , resulta ser:

$$Z_{inv} = Z_{eq} + Z_{im} = 225 750,00 + 56 437,50 = 282 187,50 \text{ CUP} . \quad (4)$$

Para el costo de explotación, se consideró una vida útil, $T = 10$ años, por lo cual, el costo anual de amortización, Z_{am} , es:

$$Z_{am} = \frac{Z_{inv}}{T} = \frac{282 187,50}{10} Z_{im} = 28 218,75 \text{ CUP} . \quad (5)$$

El costo de salario, por su parte, se calculó determinando el tiempo de funcionamiento total de los equipos, t_{eq} , para un volumen anual de procesamiento, $P = 5 000$ t de escoria, teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento de cada equipo, c_i :

$$t_{eq} = \sum_{i=1}^n \frac{P}{c_i} = 303 \text{ h} . \quad (6)$$

Adicionalmente, se consideró un tiempo de trabajo dedicado a labores de mantenimiento, $t_{man} = 15 \text{ d} = 120 \text{ h}$, con lo cual, el tiempo total de trabajo será:

$$t_{\text{tot}} = t_{\text{eq}} + t_{\text{man}} = 303 \text{ h} + 120 \text{ h} = 423 \text{ h}. \quad (7)$$

Teniendo en cuenta un fondo de tiempo anual de 2 304 h, el tiempo total de trabajo corresponde a una cantidad de operarios, p :

$$p = \frac{t_{\text{tot}}}{2304} = 0,18; \quad (8)$$

lo cual significa que la atención a la planta corresponde al 18% de la carga de trabajo anual de un operario. Si este operario está en la escala de trabajo VII, la cual corresponde a un salario de 2 810,00 CUP/mes, el gasto de salario será:

$$Z_{\text{sal}} = 12ps = 12 \cdot 0,18 \cdot 2\,810 = 6\,187,12 \text{ CUP}. \quad (9)$$

A lo anterior, se suman, la contribución a las vacaciones, Z_{vac} , la contribución a la seguridad social, Z_{css} , y el impuesto por el uso de la fuerza de trabajo, Z_{ift} :

$$Z_{\text{vac}} = 0,0909Z_{\text{sal}} = 562,41 \text{ CUP}; \quad (11)$$

$$Z_{\text{css}} = 0,14(Z_{\text{sal}} + Z_{\text{vac}}) = 944,93 \text{ CUP}; \quad (12)$$

$$Z_{\text{ift}} = 0,10(Z_{\text{sal}} + Z_{\text{vac}}) = 674,95 \text{ CUP}; \quad (13)$$

con lo cual, el costo anual total de fuerza de trabajo, Z_{ft} , resulta:

$$Z_{\text{ft}} = Z_{\text{sal}} + Z_{\text{vac}} + Z_{\text{css}} + Z_{\text{ift}} = 8\,369,42 \text{ CUP}. \quad (14)$$

Otro costo importante que se debe tener en cuenta es el gasto de electricidad. El mismo, se determinó considerando la potencia eléctrica de cada equipo, e_i , y el tiempo de trabajo del mismo, P/c_i :

$$E = \sum_{i=1}^N e_i \frac{P}{c_i} = 1\,926,69 \text{ kW} \cdot \text{h}; \quad (15)$$

Considerando una tarifa eléctrica, $z_{\text{el}} = 3,38 \text{ CUP/kW} \cdot \text{h}$, el costo de energía eléctrica anual será:

$$Z_{\text{el}} = z_{\text{el}}E = 3,38 \cdot 1\,926,69 = 6\,512,20 \text{ CUP}. \quad (16)$$

Además de los anteriores, se consideró un costo de mantenimiento anual de un 5% del valor de la inversión:

$$Z_{\text{man}} = 0,05Z_{\text{inv}} = 0,05 \cdot 282\,187,50 = 14\,109,38 \text{ CUP}; \quad (17)$$

y un costo adicional, Z_{ad} , del 15% de la suma de los otros costos:

$$Z_{\text{ad}} = 0,15(Z_{\text{am}} + Z_{\text{ft}} + Z_{\text{el}} + Z_{\text{man}}) = 0,15 \cdot (28\,218,75 + 8\,369,42 + 6\,512,20 + 14\,109,3);$$

$$Z_{ad} = 8\,581,46 \text{ CUP} . \quad (18)$$

El costo total, Z , será entonces igual a la sumas de todos los costos considerados:

$$Z = Z_{am} + Z_{ft} + Z_{el} + Z_{man} + Z_{ad} = 28\,218,75 + 8\,369,42 + 6\,512,20 + 1\,4109,3 + 8\,581,46 ;$$

$$Z = 65\,791,21 \text{ CUP} . \quad (19)$$

El ingreso, Y , por su parte, se calcula, a partir de la cantidad de escoria procesada, P , la cual, para un coeficiente de aprovechamiento, $\eta = 20\%$, representa una sustitución de una cantidad de fundente, m :

$$m = \eta P = 0,20 \cdot 5\,000 = 1\,000 \text{ kg} ; \quad (20)$$

la que, a un precio del fundente, $y = 155,25 \text{ CUP/kg}$, representa un ingreso (ahorro) de:

$$Y = ym = 155,25 \cdot 1\,000 = 155\,250,00 \text{ CUP} . \quad (21)$$

La ganancia anual de la inversión, G , será, entonces:

$$G = Y - Z = 155\,250,00 - 65\,791,21 = 89\,458,79 \text{ CUP} . \quad (22)$$

3. Análisis de los resultados.

Con los cálculos económicos previamente realizados, se analiza la factibilidad de la inversión, para lo cual se determina el valor actual neto, VAN, a un interés, $r = 12\%$, para el período de vida útil de la misma, $T = 10$ años:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{F}{(1+r)^t} . \quad (23)$$

Tabla 2. Valor actual neto

t	Flujo de caja [CUP]	Valor actual [CUP]
0	-282 187,50	-282 187,50
1	89 458,79	-202 313,58
2	89 458,79	-130 997,58
3	89 458,79	-67 322,58
4	89 458,79	-10 469,90
5	89 458,79	40 291,42
6	89 458,79	85 614,02
7	89 458,79	126 080,64
8	89 458,79	162 211,54
9	89 458,79	194 471,28
10	89 458,79	223 274,61

En la Tabla 2 se muestran los flujos de caja con los correspondientes valores netos para cada uno de los períodos anuales. Como se puede apreciar, al cabo de los 10 años, se tiene un valor actual neto de 223 274,61 CUP, lo cual avala la factibilidad de la inversión bajo la tasa de interés considerada.

Para considerar la factibilidad de la inversión bajo otras condiciones financieras, se realiza un análisis de la tasa de retorno de la inversión, TIR , la cual se determina resolviendo numéricamente, la ecuación:

$$\sum_{t=0}^T \frac{F}{(1 + TIR)^t} = 0. \quad (24)$$

La solución de la misma da un valor $TIR = 0,2926$, lo cual significa que la inversión es más rentable que cualquier otra similar con tasas de interés hasta de un 29%, valor notablemente mayor que las tasas de interés bancarias.

4. Conclusiones.

Como resultado del trabajo, se propuso un esquema de proceso de reciclaje de la escoria de soldadura por arco sumergido, para ser reutilizada como fundente en el propio proceso. La misma contó de seis operaciones unitarias básicas: molido, lavado, secado, tamizado, separación magnética y mezclado. Para cada una de ellas se seleccionó el equipamiento necesario, a partir de las ofertas existentes en el mercado internacional.

A partir de la selección, se obtuvo un costo de inversión de 282 187,50 CUP, con una ganancia anual de 89 458,79 CUP. Para la vida útil considerada, de diez años, se obtuvieron un valor actual neto de 223 274,61 CUP (con una tasa de interés de un 12%) y una tasa de retorno de la inversión de 0,2926.

Los valores anteriores garantizan que la inversión es económicamente factible, en las condiciones del mercado financiero cubano actual. A lo anterior hay que añadirle que la inversión resulta adicionalmente atractiva, al representar la ganancia una sustitución de importaciones en concepto de fundente.

Reconocimientos.

Este trabajo es un resultado parcial del proyecto *Reciclaje de la escoria de soldadura bajo fundente de recipientes a presión* asociado al Programa Territorial de Encadenamientos Productivos y Circuitos Cortos de Producción-Comercialización de Bienes y Servicios, con el código PT211MT003-001.

Referencias.

- [1] S. Datta, A. Bandyopadhyay, and P. K. Pal. "Slag recycling in submerged arc welding and its influence on weld quality leading to parametric optimization". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 39, pp. 229–238, 2008, doi: 10.1007/s00170-007-1224-4

- [2] D. Nimker and R. Wattal. "Recycling of submerged arc welding slag for sustainability". *Production and Manufacturing Research*, vol. 8, no. 1, pp. 182-195, 2020. doi: 10.1080/21693277.2020.1774813
- [3] K. Singh and S. Pandey, "Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, no. 10, pp. 552-558, 2009/08/01/ 2009.
- [4] K. Thirunavukkarasu, V. Kavimani, P. M. Gopal, and A. Daniel Das. "Recovery and recycling silica flux in submerged arc welding: Acceptable properties and economical correlation". *Silicon*, doi: 10.1007/s12633-020-00819-1
- [5] J. Garg and K. Singh. "Slag recycling in submerged arc welding and its effects on the quality of stainless steel claddings," *Materials and Design*, vol. 108, pp. 689-698, 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2016.07.028
- [6] Alibaba. *1200*1000*770 mm Factory plastic tote bins* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/1200-1000-770mm-Factory-plastic-tote_62553905559.html>, Acceso: 2021.01.30
- [7] Alibaba. *Laboratory ball mill price 600x700 mini ball mill lab machine manufacturer* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/Ball-Mill-Lab-Ball-Mill-Supplier_1600127610090.html>, Acceso: 2021.01.30
- [8] Alibaba. *Environmentally-friendly mineral sand washing equipment quartz sand scrubbing machine hot sale* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/Environmentally-friendly-mineral-sand-washing-equipment_1600202293099.html>, Acceso: 2021.01.30
- [9] Alibaba. *1400 Degree Labs Electric Muffle Box Furnace For Annealing And Sintering Materials* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/1400-Degree-Labs-Electric-Muffle-Box_1600196476092.html>, Acceso: 2021.01.30
- [10] Alibaba. *600 mm fine sand sieving machine circular vibrating sand screener* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/600mm-fine-sand-sieving-machine-circular_60391557067.html>, Acceso: 2021.01.30
- [11] Alibaba. *Attract up magnetic drum magnetic separator* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/attract-up-magnetic-drum-magnetic-separator_62193751223.html>, Acceso: 2021.01.30
- [12] Alibaba. *100 horizontal double helical powder ribbon mixer machine* [online]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/100-Horizontal-Double-Helical-Powder-Ribbon_62365466624.html>, Acceso: 2021.01.30