

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Desarrollo de aplicaciones informáticas
Recibido: 09/05/2018 | Aceptado: 29/10/2018

Aplicación de software libre para diseño de tecnologías de soldadura manual por arco eléctrico

Free software application for designing manual arc welding technologies

Ramón Quiza^{*[0000-0003-1293-6044]}, Marcelino Rivas^[0000-0002-0305-515X], Diamela Reyes^[0000-0003-3840-373X], Yarens Cruz^[0000-0002-6115-6071]

Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas. Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba. Teléf.: +(53)45256812, Web: <http://cefas.umcc.cu>

*Autor para correspondencia: ramon.quiza@umcc.cu

Resumen

La informatización de los procesos de fabricación constituye una imperiosa necesidad en la modernización de la industria mecánica cubana. El presente trabajo describió la implementación de una aplicación para el diseño de tecnologías de soldadura manual de aceros con electrodos revestidos. La misma facilitó la selección de las preparaciones de bordes normalizadas y de los electrodos a utilizar, así como el cálculo del régimen de soldadura, los tiempos y los costos del proceso. El programa dispone de una base de datos personalizable, para simplificar la entrada de datos del material base y la máquina de soldadura. La aplicación también permite la especificación del equipamiento auxiliar y de los requisitos tecnológicos literales. La tecnología diseñada con la ayuda del software, es presentada en forma de una especificación de proceso de soldadura, de acuerdo con los requerimientos de las normas ASME. La aplicación ha sido implementada como software libre y de código abierto, con un uso estricto de herramientas de desarrollo distribuidas bajo estas mismas condiciones. También es multiplataforma, pudiendo ser ejecutada tanto en Linux como en MS Windows. Las pruebas preliminares, realizadas en tres empresas manufactureras, han mostrado ahorros significativos en el tiempo de diseño de las tecnologías, así como mejoras en la calidad y la trazabilidad de los resultados.

Palabras clave: software libre, soldadura, tecnología.

Abstract

Computerization of manufacturing processes is a demanding need for updating the Cuban mechanical industry. This work describes the implementation of an application for designing shielded metal arc welding technologies of steels. It simplifies selecting the standardized joint preparations and the electrodes to be used, and computing the welding parameters, process time and costs. The application has a customizable database, for marking straightforward the input of material and welding machine data. It also allows stating the auxiliary equipment and word-based technological requirements. The computer aided designed technology is presented as a welding procedure specification, accomplishing the ASME standards. The application has been implemented as open code and free software, by a strict use of development tools distributed under these conditions. It is also multi-platform and can be executed either on Linux or on MS Windows. Preliminary tests, which were carried out in three manufacturing enterprises, have shown a significant saving in time consumption for technology design and improvements in the outcomes quality and traceability.

Keywords: free software, welding, technology.

Introducción

La soldadura manual con electrodo metálico revestido (*shielded metal arc welding*, SMAW) es uno de los procesos tecnológicos más difundidos para la unión de piezas y componentes metálicos, especialmente, de aceros. Aunque el diseño de tecnologías de SMAW no es excesivamente complejo (especialmente si se compara con otros procesos, como el maquinado), al tener que aplicarse, normalmente, a un grupo grande de costuras, se vuelve una tarea tediosa y repetitiva, propensa a errores humanos (Cary 1998).

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de tecnologías de SMAW es susceptible de ser automatizado utilizando técnicas informáticas. Aunque existen productos de software con este propósito, su costo es elevado y no siempre se adaptan a los requerimientos de la industria cubana. Hasta donde se realizó la revisión bibliográfica, no se ha encontrado un producto de software libre para esta tarea.

El desarrollo de una aplicación con este propósito está lejos de ser trivial, ya que no sólo reviste alta complejidad desde el punto de vista computacional, sino que los propios algoritmos y expresiones de cálculos están dispersas en las diversas normativas vigentes en Cuba (NC-ISO 6947 2004; NC-ISO 9692-1 2011) o de uso común a nivel internacional (AWS D1.1/D1.1M 2015; ASME BPVC.IX 2015) y en la literatura especializada (Ahmed et al. 2018;

Shukla et al. 2018; Choudhury y Chandrasekaran 2017; Saha y Mondal 2017; Yan et al. 2017; Singh et al. 2015; Popovic et al. 2014).

El presente trabajo describe la concepción e implementación de una aplicación informática para el diseño de tecnologías de soldadura manual con electrodo metálico revestido. El mismo se encuentra dividido en cinco secciones. Luego de esta introducción, se expone sumariamente la formalización y algoritmización del proceso de diseño de tecnologías de SMAW. En la tercera sección, se describe la interfaz gráfica y el funcionamiento de la aplicación. La cuarta sección presenta la aplicación a varios casos de estudio prácticos y una evaluación preliminar del impacto de su uso. Finalmente, en la última sección se muestran las principales conclusiones a las que se pudo arribar a través del trabajo, así como las líneas futuras para su desarrollo.

Materiales y métodos

Algoritmo del diseño de tecnologías de SMAW

El algoritmo general del diseño de tecnología de SMAW, consiste en cinco etapas fundamentales. La primera etapa (Fig. 1, líneas 02...04) consiste en la entrada de los datos requeridos para diseñar la tecnología: la geometría de la unión, las propiedades del metal base y las características de la máquina de soldadura a utilizar.

```
01: INICIO ALGORITMO
02:   ENTRAR: Datos de la unión
03:   ENTRAR: Datos del metal base
04:   ENTRAR: Datos de la máquina de soldadura
05:   SELECCIONAR: Preparación de bordes
06:   DETERMINAR: Esquema de soldadura
07:   PARA Cada tipo de pasada (raíz, relleno y sellado)
08:     SELECCIONAR: Electrodo
09:   FIN PARA
10:   CALCULAR: Número de pasadas
11:   PARA Cada pasada
12:     CALCULAR: Intensidad de la corriente
13:     CALCULAR: Consumo de electrodo
14:     CALCULAR: Consumo de energía eléctrica
15:     CALCULAR: Tiempo tecnológico
16:   FIN PARA
17:   CALCULAR: Temperatura de precalentamiento
18:   CALCULAR: Tratamiento térmico posterior
19:   CALCULAR: Tiempo total
20:   CALCULAR: Costos
21:   SELECCIONAR: Equipamiento auxiliar
22: FIN ALGORITMO
```

Figura 1 Algoritmo para el diseño de tecnología de SMAW

En la segunda etapa (Fig. 1, líneas 05...06), se selecciona la preparación de bordes a utilizar y se determina el esquema de soldadura para la costura (es decir, si se utilizarán pasadas de raíz, de relleno y de sellado). En la tercera etapa (Fig. 1, líneas 07...10), se seleccionarán los electrodos a utilizar en cada una de las etapas y se calculará el número de pasadas. En la cuarta etapa (Fig. 1, líneas 11...16), para cada uno de los cordones a realizar, se selecciona el electrodo a utilizar y se calculan los parámetros tecnológicos (intensidad de la corriente, consumo de electrodos y de energía eléctrica, y costos del proceso). Finalmente, en la quinta etapa (Fig. 1, líneas 17...21), se determinan los parámetros tecnológicos comunes para toda la costura y se selecciona el equipamiento auxiliar.

Una descripción más completa del algoritmo a utilizar ha sido dada previamente por Laguardia y coautores (2016).

Resultados y discusión

Descripción de la aplicación

Ventana principal

La aplicación, que lleva por título Opifex Spark/SMAW, ha sido desarrollada utilizando el lenguaje C++, con las librerías Qt (versión 5.8.0). La misma puede ser ejecutada en MS Windows (versión XP o superior) y en Linux, y se distribuye como software libre, bajo licencia pública general GNU.

The screenshot shows the main window of the Opifex Spark/SMAW application. The window title is "Opifex Spark/SMAW []". The menu bar includes "Archivo", "Datos", "Tecnología", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains various icons for file operations and application settings. The main area displays a complex form for specifying welding parameters, organized into several sections:

- DATOS:** Includes fields for "TIPO DE UNIÓN", "POSICIÓN", "DIMENSIONES" (ESPESOR DE LA PLANCHA, LONGITUD DE LA COSTURA), "MATERIAL BASE" (NORMA, MARCA, TIPO DE MATER.), "MÁQUINA DE SOLDADURA" (MARCA/MODELO, RANGO CORR., TIPO DE CORR.), "COSTURA" (PREPARACIÓN DE BORDES, CÓDIGO, NORMA, CROQUIS), and "DIMENSIONES DE LA COSTURA".
- ELECTRODOS:** Includes "PASADAS DE RAÍZ", "PASADAS DE RELLENO", and "PASADAS DE SELLADO".
- RÉGIMEN DE SOLDADURA:** A table for recording welding parameters:

	PASADAS			TOTAL	UNIDAD
	DE RAÍZ	DE RELLENO	DE SELLADO		
CANTIDAD DE PASADAS					--
INTENSIDAD DE CORRIENTE					A
POLARIDAD					--
CONSUMO DE ELECTRODO					kg
CONSUMO DE ELECTRICIDAD					kWh
TIEMPO TECNOLÓGICO					min
TIEMPO AUXILIAR					min
TIEMPO DE SERVICIO					min
TIEMPO DE DESCANSO					min
TIEMPO TOTAL					min
- PRECALENTAMIENTO:** Includes "TEMPERATURA" and "TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR" (TEMPERATURA, TIEMPO DE PERMANENCIA).
- COSTOS:** Includes "COSTO DE ELECTRODO", "COSTO DE MANO DE OBRA", "COSTO DE ELECTRICIDAD", and "COSTO TOTAL", all measured in "CUP".
- EQUIPAMIENTO AUXILIAR:** Includes "PORTAELECTRODO", "CABLE", and "FILTRO VISUAL".
- REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS:** A large empty area for technical requirements.
- PROCESO:** Includes "SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO" and a table for recording personnel:

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
TECNÓLOGO			
SOLDADOR			
SUPERVISOR			
RESPONSABLE			

The bottom right corner of the form features the logo of CEFAS (Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible) and fields for "OBJETO" and "COSTURA".

Figura 2 Ventana principal de la aplicación

Opifex Spark/SMAW cuenta con una ventana principal (Fig. 2) donde se muestra la especificación del proceso de soldadura (*welding procedure specification*, WPS). El mismo ha sido elaborado a partir de las recomendaciones de la ASME BPVC.IX (2015) y se va llenando según se van entrando los datos correspondientes y realizando los cálculos necesarios para determinar los parámetros del régimen de soldadura.

La ventana principal cuenta, además, con un menú y una barra de herramienta que permite ejecutar las diversas opciones de entrada de datos y cálculos requeridos por el programa.

Entrada de los datos

Para la entrada de datos del cajetín se utiliza un cuadro de diálogo (Fig. 3), donde se establece el código del documento (especificación del proceso de soldadura) y el nombre del artículo, así como el código de la

costura. También se especifican el nombre del tecnólogo, el soldador, el supervisor y el responsable de la elaboración de la costura, además de las respectivas fechas, si corresponde.

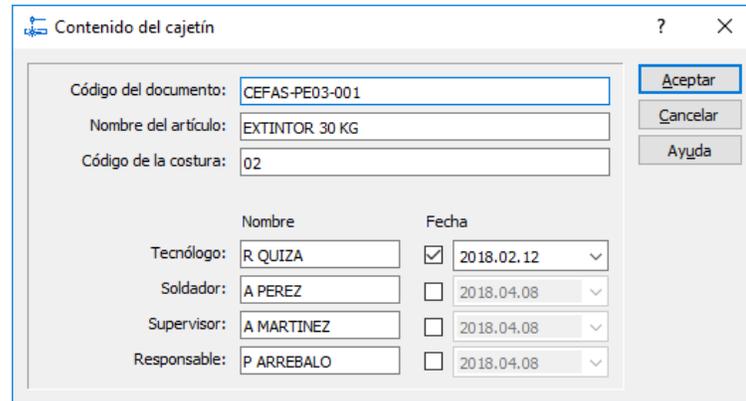


Figura 3 Diálogo para la entrada de datos del cajetín

En el cuadro de diálogo de entrada de datos de la geometría de la unión (Fig. 4), se establecen el tipo de junta, la posición, el espesor de la chapa a soldar y la longitud de la costura. Para lo anterior, se cumple con lo establecido en la NC ISO 6947 (2004).

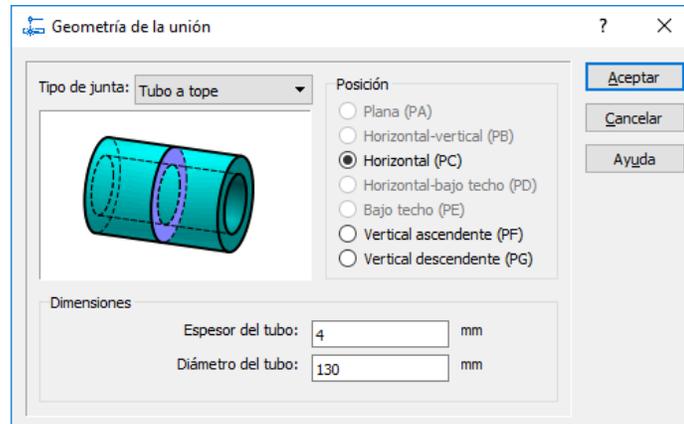


Figura 4 Diálogo para la entrada de datos de la geometría de la unión

El cuadro de diálogo de entrada de datos del material base (Fig. 5) se introducen el tipo, marca y norma del acero a utilizar y las propiedades mecánicas (tensión de rotura) y composición química.

The dialog box 'Material base' is divided into several sections. On the left, under 'Designación', there is a dropdown menu for 'Tipo' set to 'Acero al carbono', a text field for 'Marca' with 'A570 Gr 36', and another text field for 'Norma' with 'ASTM'. Below this is the 'Propiedades mecánicas' section with a text field for 'Tensión de rotura' containing '365' and the unit 'MPa'. On the right, the 'Composición química' section features six input fields for chemical elements: Carbono (C) at 0.25%, Manganeso (Mn) at 0.90%, Titanio (Ti), Cromo (Cr), Níquel (Ni), and Molibdeno (Mo), all followed by a percentage sign. To the right of these fields are four buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', 'Cargar...', and 'Ayuda'.

Figura 5 Diálogo para la entrada de datos del material base

The dialog box 'Cargar material' features a 'Tipo de material' dropdown set to 'Acero al carbono' and a 'Norma' dropdown set to 'AISI'. Below these is a list box for 'Marca' containing the following values: 1005, 1006, 1008, 1009, 1010 (highlighted), 1012, 1015, 1016, 1017, 1018, and 1019. On the right side, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

Figura 6 Diálogo para cargar el material base de la base de datos

Se ofrece, también, la opción de cargar las propiedades del material de una base de datos (Fig. 6) que contiene los aceros más comunes en varias de las normativas más utilizadas a nivel mundial.

El diálogo de entrada de la máquina de soldadura (Fig. 7) permite establecer el modelo y fabricante de la misma; así como el tipo y el rango de corriente que suministra. Al igual que para el material base, se cuenta con la opción de cargar las propiedades de la máquina de soldadura de la base de datos.

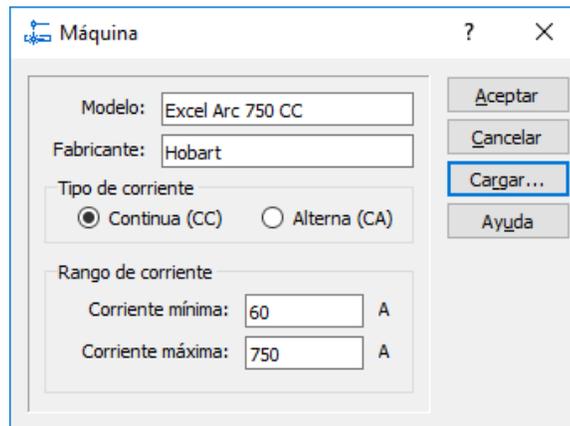


Figura 7 Diálogo para la entrada de datos de la máquina de soldadura

La selección de la preparación de bordes se lleva a cabo cumpliendo lo estipulado en la NC ISO 9692-1 (2011). En el correspondiente cuadro de diálogo (Fig. 8) se selecciona la preparación dentro de aquellas que la norma recomienda para el espesor de chapa dado y se establecerán los valores de las dimensiones de sus elementos según los rangos especificados por dicha norma.

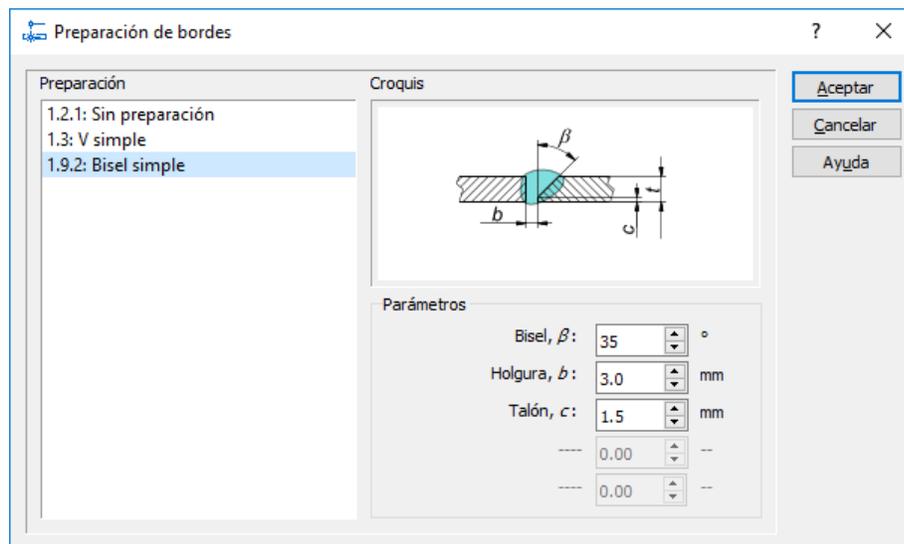


Figura 8 Diálogo para la selección de la preparación de bordes

La selección de los electrodos, por su parte, se realiza a través del cuadro de diálogo correspondiente (Fig. 9). En el mismo, los electrodos se escogen de una base de datos, teniendo en cuenta las recomendaciones para las condiciones de soldadura dada (material base, espesor de la plancha, aplicación, posición de soldadura, etc.) (Burgos Sola 1987; Justel Ramos 2011).

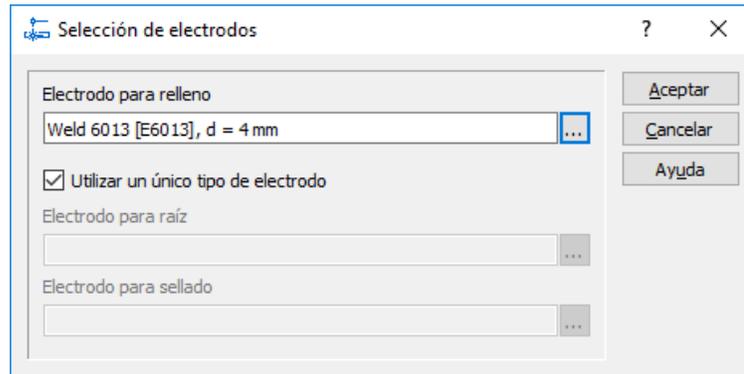


Figura 9 Diálogo para la selección de electrodos

Cálculo del régimen de soldadura y los costos

Para el cálculo del régimen de soldadura y de los costos, se emplean las opciones correspondientes del menú (o de la barra de herramientas). Ambos procesos se llevan a cabo de forma totalmente automatizada. Los coeficientes utilizados para los cálculos se pueden establecer a través de la pestaña “Coeficientes” del cuadro de diálogo *Opciones* (Fig. 10).

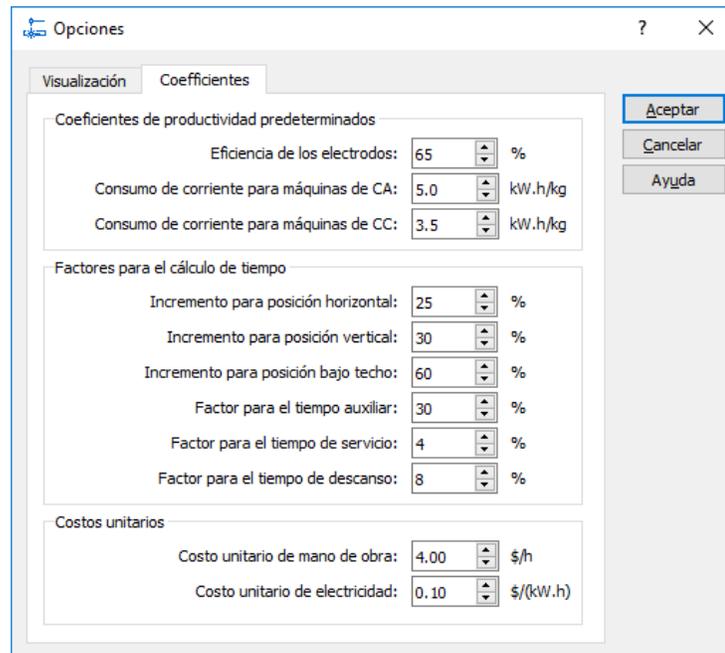


Figura 10 Cuadro de diálogo de especificación de coeficientes

El equipamiento auxiliar (portaelectrodo, filtro visual y cable) a utilizar, se selecciona en el cuadro de diálogo correspondiente (Fig. 11), el cual ofrece las opciones adecuadas, según los regímenes utilizados.

Finalmente, también pueden especificarse indicaciones tecnológicas literales (Fig. 12), como complemento de la tecnología diseñada.

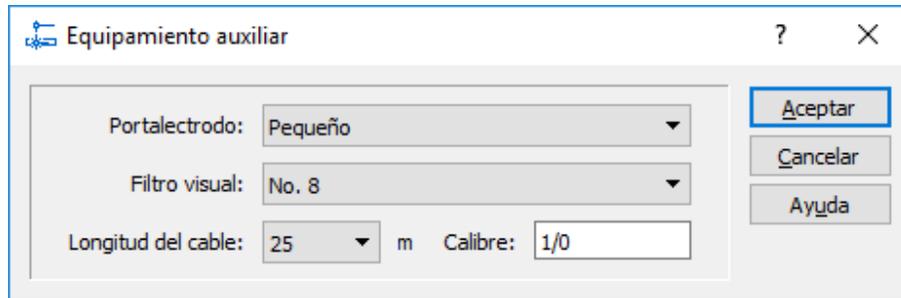


Figura 11 Cuadro de diálogo de equipamiento auxiliar

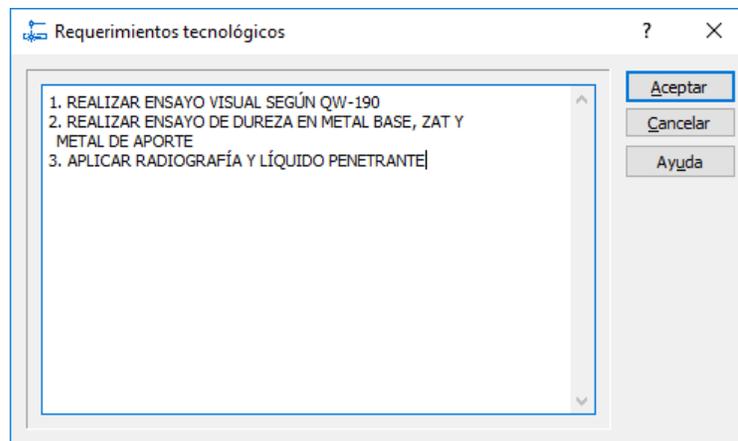


Figura 12 Cuadro de diálogo de requerimientos tecnológicos

Guardado, impresión y exportación de los resultados

Los resultados de la tecnología diseñada, se guardan como un archivo nativo del programa. El mismo es un archivo de texto, independiente de la plataforma utilizada, con formato JSON.

La especificación de procedimiento de soldadura generada como resultado de la aplicación del software puede ser impresa o exportada con formato de documento portable (PDF). También puede ser exportada con formato de intercambio gráfico (DXF), para ser abierta y utilizada por software de CAD (Fig. 13).

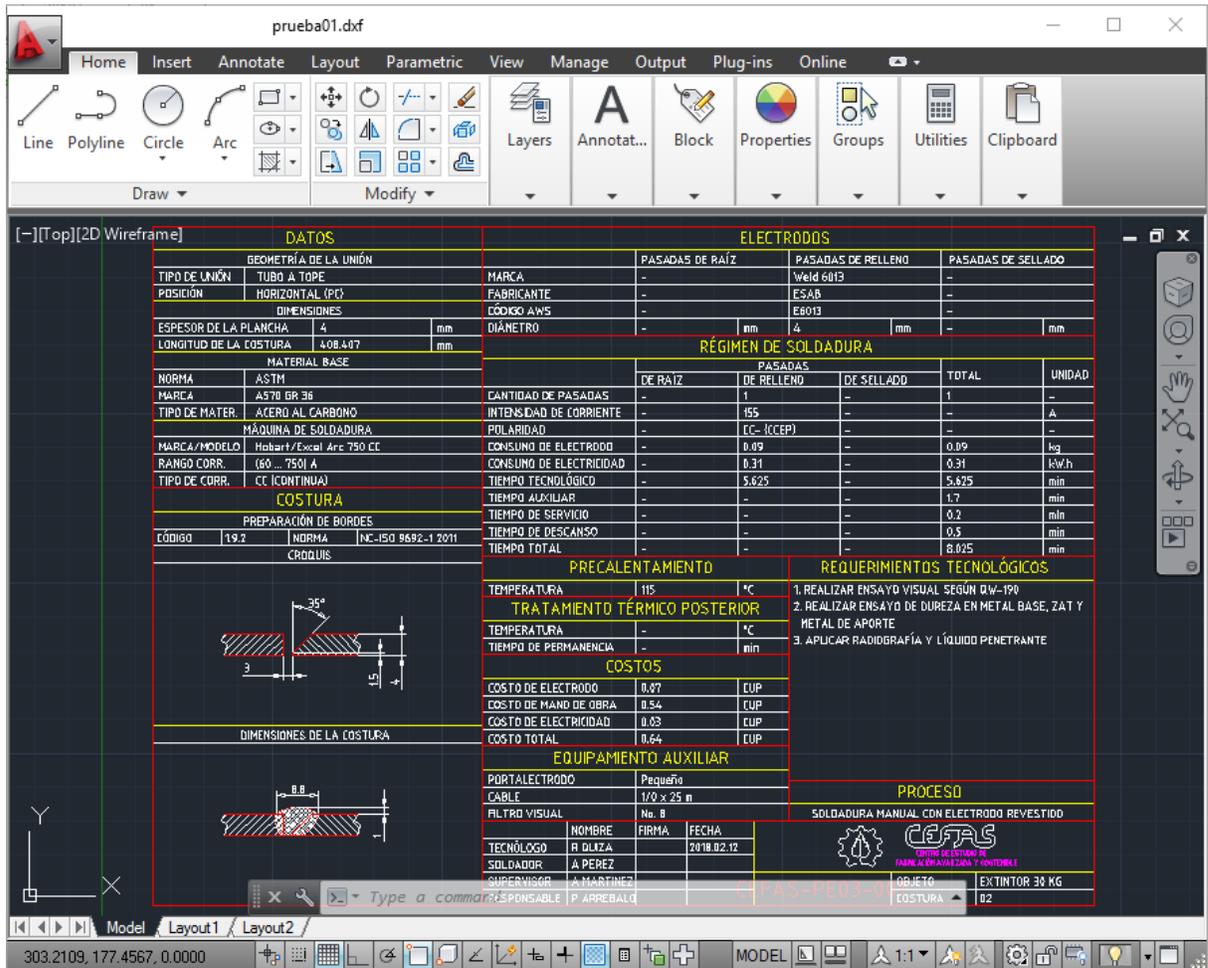


Figura 13 Visualización del WPS en el software AutoCAD

Modificación de la base de datos

Una opción importante del software es la posibilidad de modificar las bases de datos, que contienen materiales bases, máquinas de soldadura y electrodos, para personalizarlas según las necesidades del usuario (Fig. 14).

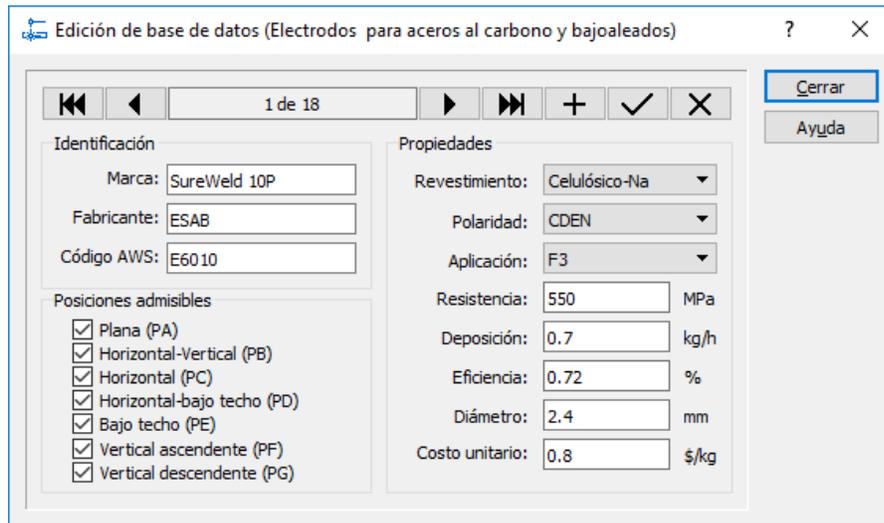


Figura 14 Diálogo de edición de la base de datos de electros para aceros al carbono y bajoaleados

Valoración preliminar de aplicación

Con el objetivo de realizar una valoración preliminar de la aplicación de Opifex Spark/SMAW, se diseñaron las tecnologías de SMAW de cinco costuras, correspondientes a tres entidades del territorio.

Las mismas se diseñaron tanto de forma manual, como a través del software, con el objetivo de comparar el tiempo requerido para el diseño. En todos los casos, se realizaron tres réplicas, por personas diferentes. En los cinco casos, los tiempos de diseño utilizando el software fueron significativamente menores que con los diseños manuales, oscilando la diferencia entre las medias de los tiempos entre 11 y 20 min.

Conclusiones

Como resultado del trabajo, se desarrolló un software para el diseño de tecnologías de soldadura con electrodo metálico revestido. La misma es una aplicación multiplataforma y desarrollada completamente con herramientas de software libre.

El programa cuenta con una interfaz gráfica de usuario amigable y dispone de una base de datos, personalizable, para facilitar la selección de materiales base, máquinas de soldadura y electrodos. Los resultados se presentan en forma de una especificación de procedimiento de soldadura que puede ser guardada, impresa o exportada para su uso en otros programas.

La valoración preliminar de su aplicación llevada a cabo a través del diseño de tecnologías para costuras tomadas de casos reales, mostró un ahorro por concepto de tiempo de diseño de entre 11 y 20 min, por costura.

Como paso siguiente del presente trabajo, se prevé su introducción en la práctica productiva de varias empresas para la validación de su funcionamiento y la evaluación de su impacto económico. Como extensión futura del programa, se considera la extensión a otros materiales base (tales como aleaciones de cobre o aluminio) y a otros procesos de soldadura (bajo fundente, bajo protección gaseosa, etc.).

Referencias

- Ahmed, A.N.; Noor, C.W.M.; Allawi, M.F.; El-Shafie, A. (2018). *RBF-NN-based model for prediction of weld bead geometry in Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. *Neural Computing and Applications*, 29 (3), 889-899. doi: 10.1007/s00521-016-2496-0
- ASME BPVC.IX (2015). *Boiler and pressure vessel code. Section IX: Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators*. New York (USA): The American Society of Mechanical Engineers.
- AWS D1.1/D1.1M (2015): *Structural welding code - Steel*. Miami, FL (USA): American Welding Society.
- Burgos Sola, J. (1987). *Tecnología de soldadura*. La Habana (Cuba): Pueblo y Educación.
- Cary, H.B. (1998). *Modern welding technology*. 4th Ed. Upper Saddle River, NJ (USA): Prentice-Hall, ISBN 0-13-241803-7
- Choudhury, B.; Chandrasekaran, M. (2017). *Investigation on welding characteristics of aerospace materials – A review*. *Materials Today: Proceedings* 4 (8), 7519-7526, doi: 10.1016/j.matpr.2017.07.083
- Justel Ramos, M.A. (2012). *Soldadura: Manual para operarios y técnicos*. La Habana (Cuba): Editorial Científico-Técnica, ISBN 978-959-05-0654-3.
- Laguardia, A; López, O; Pérez, J.E.; Quiza, R (2016). Algoritmización de la metodología para el diseño de tecnologías de soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido de aceros, *CD de Monografías 2016*, Universidad de Matanzas, Matanzas (Cuba), ISBN 978-959-16-3242-5
- NC-ISO 6947 (2004). *Soldaduras - Posiciones de trabajo - Definición de los ángulos de pendiente y de rotación*. La Habana (Cuba): Oficina Nacional de Normalización.

- NC-ISO 9692-1 (2011). *Soldadura y procesos afines - Recomendaciones para la preparación de la unión. Parte 1: Soldadura por arco con electrodos revestidos, soldadura por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldadura por llama, soldadura por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldadura por haz de alta energía de aceros*. La Habana (Cuba): Oficina Nacional de Normalización.
- Popović, O.; Prokić-Cvetković, R.; Burzić, M.; Lukić, U.; Beljić, B. (2014). *Fume and gas emission during arc welding: Hazards and recommendation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37, 509-516. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.076
- Saha, A.; Mondal, S.C. (2017). *Multi-objective optimization of manual metal arc welding process parameters for nano-structured hardfacing material using hybrid approach*. *Measurement* 102, 80-89. doi: 10.1016/j.measurement.2017.01.048
- Shukla, A.A.; Joshi, V.S.; Chel, A.; Shukla, B.A. (2018). *Analysis of shielded metal arc welding parameter on depth of penetration on AISI 1020 plates using response surface methodology*. *Procedia Manufacturing* 20, 239-246. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.035
- Singh, A.; Raghuvanshi, S.; Bajpai, A.; Solanki, T.; Arivarasu, M.; Arivazhagan, N.; Narayanan, S. (2015). *Metallurgical and mechanical characterization of dissimilar welds of austenitic stainless steel and super-duplex stainless steel: A comparative study*. *Journal of Manufacturing Processes* 19, 212-232. doi: 10.1016/j.jmapro.2015.04.005
- Yan, W.; Zhang, H.; Jiang, Z.-G.; Hon, K.K.B. (2017). *Multi-objective optimization of arc welding parameters: the trade-offs between energy and thermal efficiency*. *Journal of Cleaner Production* 140, 1842-1849. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.171