

DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA DE TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO

Ramón Quiza, Marcelino Rivas*

Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible, Universidad de Matanzas.
Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba. Web: <http://cefes.umcc.cu>,
Email: ramon.quiza@umcc.cu, marcelino.rivas@umcc.cu, Teléf.: +(53)45261432

Resumen: El presente trabajo describe la implementación de una aplicación informática para el diseño de tecnologías de soldadura manual con electrodo metálico revestido. La misma facilita la selección de las preparaciones de bordes normalizadas y de los electrodos a utilizar, así como el cálculo del régimen de soldadura, tiempos y costos del proceso. 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, que puede ser impresa o exportada a formatos de intercambio de información gráfica.

Palabras claves: Soldadura, Diseño de tecnologías, Aplicación informática

Abstract: Present work describes the conception and implementation of a software for designing shielded metal arc welding technologies. It simplifies selecting the standardized joint preparations and the electrodes to be used, and computing the welding parameters, process time and costs. The application also allows stating the auxiliary equipment and word-based technological requirements. The computer aided designed technology is presented as a welding procedure specification, which can be printed or exported to a graphical interchange format.

Keywords: Welding, Technology design, Software

1. INTRODUCCIÓN

La soldadura manual por 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

* Ramón Quiza: Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Director del Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas, Cuba.
Marcelino Rivas: Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Investigador del Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas, Cuba.

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. Por otro lado, otros productos desarrollados en Cuba, tal como Soldasoft se han quedado obsoletos tanto por los algoritmos y datos que utiliza como por su compatibilidad con los sistemas operativos contemporáneos. 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 o de uso común a nivel internacional y en la literatura especializada (AWS D1.1/D1.1M 2015).

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.

2. DESARROLLO

2.1. Algoritmo del diseño de la tecnología

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.

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 determina parámetros tecnológicos comunes para toda la costura y se selecciona el equipamiento auxiliar.

```
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

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

2.2. 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.

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.

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 icons for file operations (new, open, save, print), editing (undo, redo, copy, paste), and other functions like zoom and help.

The main area contains a complex data entry form with the following sections:

- DATOS:** Includes fields for 'GEOMETRÍA DE LA UNIÓN', 'TIPO DE UNIÓN', 'POSICIÓN', 'DIMENSIONES' (with sub-fields for 'ESPESOR DE LA PLANCHA' and 'LONGITUD DE LA COSTURA' in mm), 'MATERIAL BASE', 'NORMA', 'MARCA', 'TIPO DE MATER.', 'MÁQUINA DE SOLDADURA', 'MARCA/MODELO', 'RANGO CORR.', and 'TIPO DE CORR.'. It also includes a 'COSTURA' section with 'PREPARACIÓN DE BORDES' and 'CÓDIGO' (with 'NORMA' set to 'NC-ISO 9692-1 2011' and 'CROQUIS').
- ELECTRODOS:** Includes 'PASADAS DE RAÍZ', 'PASADAS DE RELLENO', and 'PASADAS DE SELLADO'.
- RÉGIMEN DE SOLDADURA:** A table with columns for 'PASADAS DE RAÍZ', 'PASADAS DE RELLENO', 'PASADAS DE SELLADO', 'TOTAL', and 'UNIDAD'. Rows include 'CANTIDAD DE PASADAS', 'INTENSIDAD DE CORRIENTE', 'POLARIDAD', 'CONSUMO DE ELECTRODO', 'CONSUMO DE ELECTRICIDAD', 'TIEMPO TECNOLÓGICO', 'TIEMPO AUXILIAR', 'TIEMPO DE SERVICIO', 'TIEMPO DE DESCANSO', and 'TIEMPO TOTAL'.
- PRECALENTAMIENTO:** Fields for 'TEMPERATURA' (°C) and 'TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR'.
- REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS:** Fields for 'TEMPERATURA' (°C) and 'TIEMPO DE PERMANENCIA' (min).
- COSTOS:** Fields for 'COSTO DE ELECTRODO', 'COSTO DE MANO DE OBRA', 'COSTO DE ELECTRICIDAD', and 'COSTO TOTAL', all in 'CLP'.
- EQUIPAMIENTO AUXILIAR:** Fields for 'PORTAELECTRODO', 'CABLE', and 'FILTRO VISUAL'.
- PROCESO:** A section for 'SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO'.
- TECNÓLOGO:** A table with columns for 'NOMBRE', 'FIRMA', and 'FECHA'.
- SOLDADOR:** A field for the welder's name.
- SUPERVISOR:** A field for the supervisor's name.
- RESPONSABLE:** A field for the responsible person's name.
- CEFTAS:** Logo and text for 'CENTRO DE ESTUDIOS DE FABRICACIÓN AVANZADA Y SOSTENIBLE'.
- OBJETO:** A field for 'COSTURA'.

Figura 2 Ventana principal de la aplicación

2.3. Entrada de los datos

Para la entrada de datos del cajetín se utiliza un cuadro de diálogo (Fig. 3), donde se establecen el código del documento (carta tecnológica) 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.

Contenido del cajetín

Código del documento: CEFAS-PE03-001

Nombre del artículo: EXTINTOR 30 KG

Código de la costura: 02

Nombre	Fecha
Tecnólogo: R QUIZA	<input checked="" type="checkbox"/> 2018.02.12
Soldador: A PEREZ	<input type="checkbox"/> 2018.04.08
Supervisor: A MARTINEZ	<input type="checkbox"/> 2018.04.08
Responsable: P ARREBALO	<input type="checkbox"/> 2018.04.08

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

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).

Geometría de la unión

Tipo de junta: Tubo a tope

Posición:

- Plana (PA)
- Horizontal-vertical (PB)
- Horizontal (PC)
- Horizontal-bajo techo (PD)
- Bajo techo (PE)
- Vertical ascendente (PF)
- Vertical descendente (PG)

Dimensiones:

Espesor del tubo: 4 mm

Diámetro del tubo: 130 mm

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

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.

Material base

Designación:

Tipo: Acero al carbono

Marca: A570 Gr 36

Norma: ASTM

Propiedades mecánicas:

Tensión de rotura: 365 MPa

Composición química:

Carbono (C): 0.25 %

Manganeso (Mn): 0.90 %

Titanio (Ti): %

Cromo (Cr): %

Níquel (Ni): %

Molibdeno (Mo): %

Buttons: Aceptar, Cancelar, Cargar..., Ayuda

Figura 5 Diálogo para la entrada de datos del material base

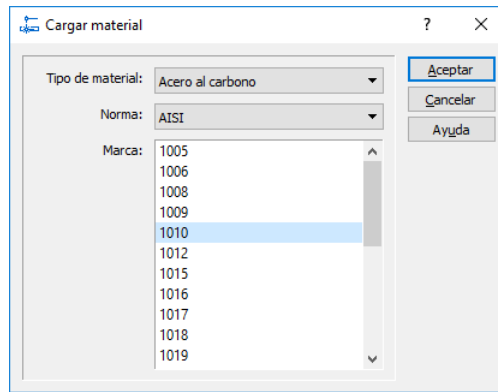


Figura 6 Diálogo para cargar el material base de la base de datos

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.

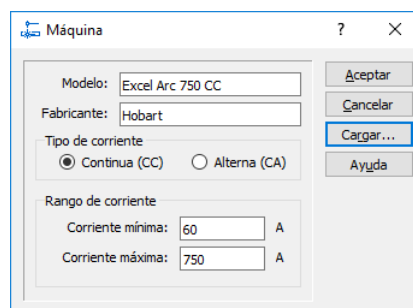


Figura 7 Diálogo para la entrada de datos de la máquina de soldadura

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.

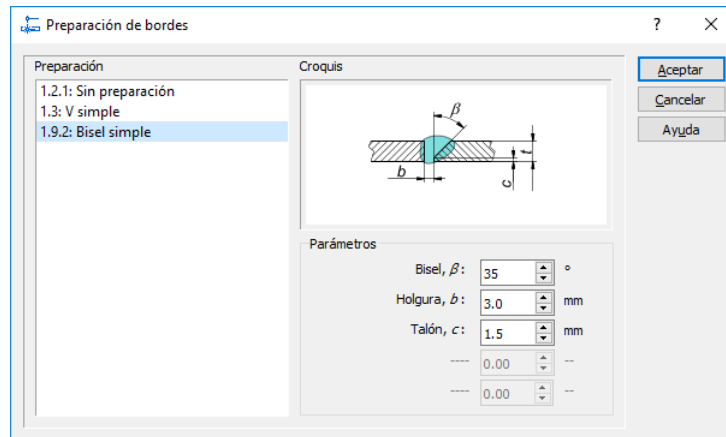


Figura 8 Diálogo para la selección de la preparación de bordes

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).

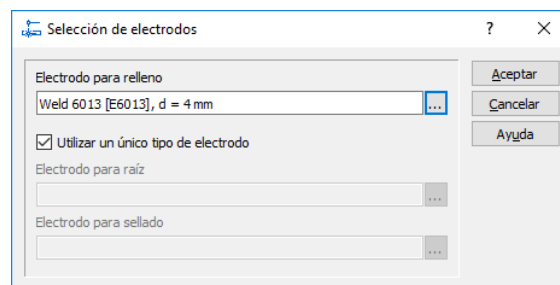


Figura 9 Diálogo para la selección de electrodos

2.4. 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).

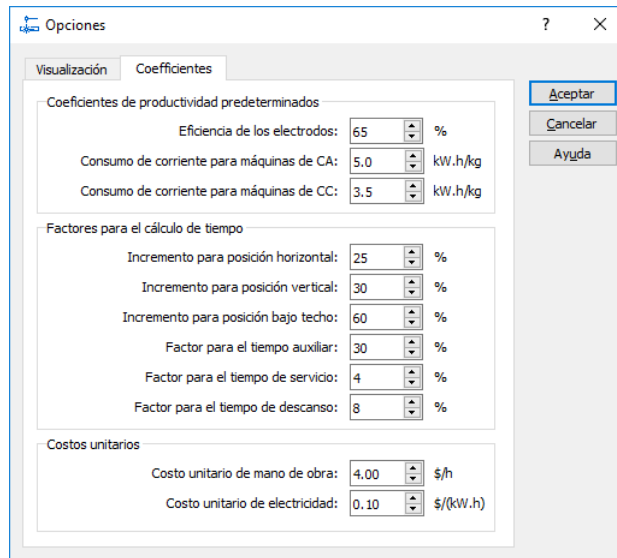


Figura 10 Cuadro de diálogo de especificación de coeficientes

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.

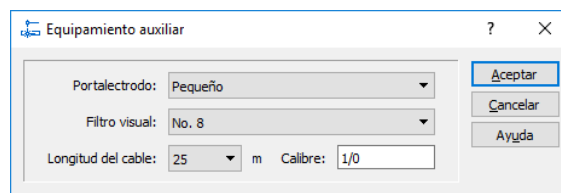


Figura 11 Cuadro de diálogo de equipamiento auxiliar

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

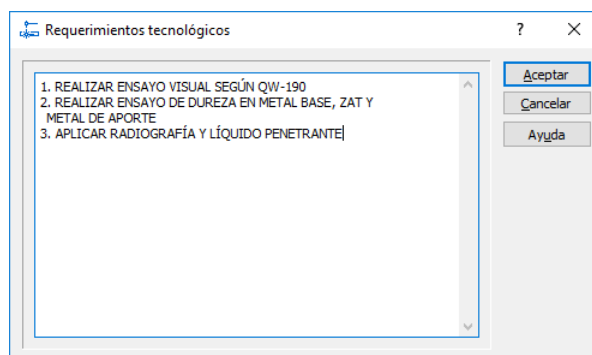


Figura 12 Cuadro de diálogo de requerimientos tecnológicos

2.5. 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).

2.6. 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).

The screenshot shows the AutoCAD interface with a WPS window open. The window is titled 'prueba01.dxf' and contains the following data:

DATOS				ELECTRODOS			
GEOMETRÍA DE LA UNIÓN				PASADAS DE RAÍZ			
TIPO DE UNIÓN	TUBO A TOPE	MARCA	-	PASADAS DE RELLENO	Weld 6013	PASADAS DE SELLADO	-
POSICIÓN	HORIZONTAL (FC)	FABRICANTE	-	ESAB	-	-	-
DIMENSIONES				E8012			
ESPESOR DE LA PLANCHAS	4	mm	-	DIÁMETRO	4	mm	-
LONGITUD DE LA COSTURA	408.417	mm	-	-	-	-	-
MATERIAL BASE				RÉGIMEN DE SOLDADURA			
NORMA	ASTM	DE RAÍZ	-	DE RELLENO	-	DE SELLADO	TOTAL
MARCA	A570 GR 36	CANTIDAD DE PASADAS	1	DE SELLADO	-	TOTAL	UNIDAD
TIPO DE MATER.	ACERO AL CARBONO	INTENSIDAD DE CORRIENTE	-	155	-	-	A
MÁQUINA DE SOLDADURA				POLARIDAD			
MARCA/MODELO	Hobart/Excal Arc 750 CC	CONSUMO DE ELECTRODO	-	0.09	-	0.09	kg
RANGO CORR.	(60...750) A	CONSUMO DE ELECTRICIDAD	-	0.31	-	0.31	kWh
TIPO DE CORR.	CC (CONTINUA)	TIEMPO TECNOLÓGICO	-	5.625	-	5.625	min
COSTURA				TIEMPO AUXILIAR			
PREPARACIÓN DE BORDES				TIEMPO DE SERVICIO			
CÓDIGO	19.2	NORMA	NC-ISO 9692-1 2011	TIEMPO DE DESCANSO	-	-	0.5
CRÓQUIS				TIEMPO TOTAL			
				PRECALENTAMIENTO			
				TEMPERATURA			
DIMENSIONES DE LA COSTURA				115			
				°C			
				TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR			
				TEMPERATURA			
				-			
				°C			
				TIEMPO DE PERMANENCIA			
				-			
				min			
				COSTOS			
				COSTO DE ELECTRODO			
				0.07			
				CUP			
				COSTO DE MANO DE OBRA			
				0.54			
				CUP			
				COSTO DE ELECTRICIDAD			
				0.02			
				CUP			
				COSTO TOTAL			
				0.64			
				CUP			
				EQUIPAMIENTO AUXILIAR			
				PORTAELECTRODO			
				Pequeño			
				CABLE			
				10 x 25 m			
				FILTRO VISUAL			
				No. 6			
				TECNÓLOGO			
				NOMBRE			
				FIRMA			
				FECHA			
				2018.02.01			
				SOLDADOR			
				A. PEREZ			
				SUPERVISOR			
				A. MARTINEZ			
				RESPONSABLE			
				P. ARREBALO			
				PROCESO			
				SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO			
				OBJETO			
				EXTINTOR 30 KG			
				COSTURA			
				D2			

Figura 13 Visualización del WPS en el software AutoCAD

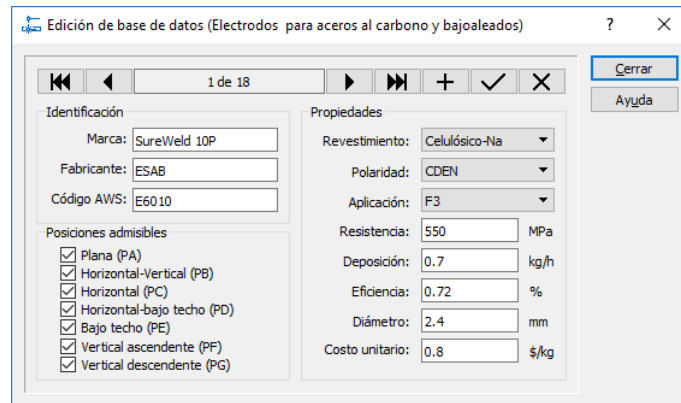


Figura 14 Diálogo de edición de la base de datos de electros para aceros al carbono y bajoaleados

2.7. 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. La Fig. 15 muestra los resultados. Como se puede observar, 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.

3. 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

- 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
- 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.