

# ***Evaluación de uniones soldadas obtenidas con fundentes fundidos desarrollados con minerales cubanos***

## ***Evaluation Of Welded Join Obtained With Fused Flux, Developed With Cuban Minerals***

**Carlos René Gómez Pérez<sup>1</sup>  
Rafael Quintana Puchol<sup>2</sup>  
Lorenzo Perdomo González<sup>3</sup>  
Gilma Castellanos Hernández<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Asistente. Grupo de Investigación y Desarrollo de Materiales para Soldar. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" (UCLV).

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Asistente. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" (UCLV).

<sup>3</sup>Master en Ciencias Técnicas. Investigador Agregado. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" (UCLV).

<sup>4</sup>Profesora Asistente. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" (UCLV).

**RESUMEN :** En este artículo se hace una caracterización integral de las uniones soldadas obtenidas en acero ct-3, correspondientes al estudio del prototipo de fundente fundido CIS-F10 para la soldadura automática bajo arco sumergido (SAW). Se muestran los resultados del análisis químico del metal de la unión soldada, así como los ensayos mecánicos de tracción longitudinal y resiliencia, según la norma AWS A5: 17. Se incluyen además las muestras metalográficas correspondientes. Los resultados son comparables con los obtenidos empleando fundentes comerciales AS 200 y AH 348.

**Palabras claves:** Fundente, soldadura, arco sumergido.

**ABSTRACT:** Presently work becomes a characterization integral of the welding join obtained on steel Ct-3 corresponding to the study of the prototype of CIS-F10 fuse fused for the submerged arc welding (SAW). Is shown chemical analysis of the welded metal as well as the mechanic rehearsals of longitudinal traction and resiliency, according to the AWS norm A5: 17. The patterns are also included corresponding metalographycs samples. Are showing the study of AS 200 and AH 348 fluxes properties too.

**Keys words:** Flux, welding, submerged arc.

### **INTRODUCCIÓN**

La caracterización integral de un fundente fundido para la soldadura automática bajo arco sumergido incluye, dentro de sus etapas fundamentales, la evaluación físico-mecánica y química de las uniones soldadas que con su participación se obtienen (Gómez y Quintana 1993).

Dicha evaluación se encuentra reglamentada por normas y procedimientos que garantizan la estandarización y reproducción confiable de los resultados alcanzados (CIS 1995b; CIS 1995c), los cuales son certificados por organizaciones prestigiosas. Además, es imprescindible contar con el equipamiento especializado y certificado, al igual que el personal técnico involucrado en dicha evaluación.

En el Departamento de Investigación y Desarrollo de Materiales para Soldar del Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), de la Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" (UCLV) se realizó un estudio para la caracterización integral del metal de las uniones soldadas obtenidas con el fundente fundido CIS-F10, el cual se muestran en el presente trabajo, comparándolo con los resultados obtenidos empleando los fundentes comerciales AS 200 y AH 348.

### **DESARROLLO**

La soldadura se realizó con un régimen de corriente de 400 A, un voltaje de 38-40 V y una velocidad de soldadura de 40 m/h, en juntas en V, de planchas de 25 mm de espesor, tal como se exige en la norma AWS A5.17 (AWS 1980). Luego de la soldadura se procede a la extracción de las probetas mediante maquinado, según se establece en dicha norma. Las muestras se extraen sin previo tratamiento térmico del cordón.

### Análisis químico

La extracción de las virutas, utilizadas como muestras para la realización del análisis químico de la unión soldada, se realizó acorde con el procedimiento establecido por el CIS (CIS 1995a). Las muestras de viruta se extrajeron de cinco lugares diferentes correspondientes a cinco puntos equidistantes de la longitud de la unión soldada. Los resultados del análisis químico se pueden apreciar en la Tabla 1.

(silicio y fósforo). Este resultado estadístico prueba la homogeneidad en la composición química a todo lo largo de la unión soldada practicada. Además, teniendo en cuenta los valores de fósforo y azufre obtenidos en el metal de la unión soldada, puede afirmarse que el fundente fundido CIS F-10 presenta una gran capacidad de desulfuración y desfosforación.

Resulta importante resaltar el bajo contenido de manganeso (0.247 %) obtenido en la unión soldada con

**TABLA 1: Composición química del metal de las uniones soldadas obtenidas con la utilización de los fundentes CIS-F10, AH 348 y aglomerado AS 200.**

| Fundente | Alambre           | Ensayos           | Elementos químicos, en porcentaje |                      |                      |                      |                      |
|----------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          |                   |                   | C                                 | Mn                   | Si                   | P                    | S                    |
| CIS-F10  | cb-08             | 1                 | 0.08                              | 0.24                 | 0.32                 | 0.016                | 0.019                |
|          |                   | 2                 | 0.08                              | 0.25                 | 0.31                 | 0.017                | 0.019                |
|          |                   | 3                 | 0.08                              | 0.25                 | 0.31                 | 0.016                | 0.020                |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 0.08                              | 0.247                | 0.313                | 0.0163               | 0.0193               |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 0.0                               | $3.4 \cdot 10^{-5}$  | $3.5 \cdot 10^{-3}$  | $3.5 \cdot 10^{-4}$  | $1.1 \cdot 10^{-5}$  |
| AH 348   |                   | 1                 | 0.08                              | 0.65                 | 0.22                 | 0.019                | 0.021                |
|          |                   | 2                 | 0.08                              | 0.63                 | 0.30                 | 0.020                | 0.020                |
|          |                   | 3                 | 0.08                              | 0.63                 | 0.31                 | 0.017                | 0.020                |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 0.08                              | 0.633                | 0.277                | 0.017                | 0.0203               |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 0.0                               | $2.4 \cdot 10^{-4}$  | $2.4 \cdot 10^{-3}$  | $2.4 \cdot 10^{-6}$  | $3.35 \cdot 10^{-7}$ |
| AS 200   | 1                 | 0.08              | 0.63                              | 0.35                 | 0.017                | 0.023                |                      |
|          | 2                 | 0.08              | 0.63                              | 0.34                 | 0.020                | 0.024                |                      |
|          | 3                 | 0.08              | 0.65                              | 0.35                 | 0.019                | 0.022                |                      |
|          | $\bar{Y}$         | 0.08              | 0.64                              | 0.347                | 0.0186               | 0.023                |                      |
|          | (Si) <sup>2</sup> | 0.0               | $10^{-4}$                         | $3.35 \cdot 10^{-5}$ | $2.1 \cdot 10^{-3}$  | $10^{-6}$            |                      |
| CIS-F10  | EL12K             | 1                 | 0.08                              | 0.66                 | 0.3                  | 0.017                | 0.02                 |
|          |                   | 2                 | 0.08                              | 0.65                 | 0.31                 | 0.017                | 0.021                |
|          |                   | 3                 | 0.08                              | 0.65                 | 0.29                 | 0.018                | 0.02                 |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 0.08                              | 0.653                | 0.3                  | 0.0173               | 0.0203               |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 0.0                               | $10^{-4}$            | $3.36 \cdot 10^{-2}$ | $1.23 \cdot 10^{-2}$ | $2 \cdot 10^{-3}$    |

Como puede observarse, a pesar de que la en la NC 10-54-80 no se garantiza la composición química del acero de grado ct-3, los resultados obtenidos con el fundente fundido CIS F-10 se encuentran dentro de los valores reconocidos por esta, con una desviación estándar no mayor de  $3.5 \cdot 10^{-3}$  % en los elementos más variables

el fundente CIS F-10 y el alambre cb 08. Esto se debe a la característica matricial del sistema de óxidos que lo conforma, en el cual se prescinde de manganeso en forma de óxidos o ferroaleaciones. Este aspecto se resuelve al emplear un alambre EM 12K, con contenidos de manganeso superiores a 0.8, tal como se muestra en la Tabla 1.

### Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos permiten obtener una valoración cuantitativa del comportamiento físico-mecánico del metal de la unión soldada.

Las magnitudes correspondientes a los límites de fluencia y de tensión máxima del material ensayado, así como de su plasticidad a través de los porcentos de elongación y de estricción, son parámetros universales de análisis cuantitativo para la comprobación de las propiedades físico-mecánicas de los metales. Estos parámetros se obtienen a partir del ensayo de tracción estática (Gómez 1996).

Este ensayo se realiza en la máquina de tracción universal española modelo IBERTEST, certificada según el Centro Estatal de Normalización (CEN). Las dimensiones de la probeta se encuentran en la

norma AWS A5.17 (AWS 1980), las cuales fueron extraídas del interior del cordón como en ella se exige. Se ensayaron tres probetas para cada muestra soldada, según los procedimientos establecidos (CIS 1995b; CIS 1995c). El resultado de los ensayos se muestra en la Tabla 2.

Los valores obtenidos (tensión de fluencia de 285 MPa, elongación 24,6 % y estricción 51.4 % muestran que las uniones soldadas del acero de grado ct-3, realizadas con alambre cb-08 y fundente fundido CIS F-10, brindan valores superiores a los requisitos planteados por la NC 10-54-80 para el acero de grado ct-3. No obstante, el por ciento de estricción (52.4 %) resulta relativamente más bajo en comparación con los obtenidos empleando los fundentes AS 200 (72.5 %) y AH 348 (68.4 %). El efecto del déficit de manganeso en las uniones

**TABLA 2: Ensayos mecánicos sobre el metal de las uniones soldadas obtenidas con la utilización de los fundentes CIS-F10, AH 348 y aglomerado AS 200.**

| Fundente | Alambre           | Ensayos           | Ensayos mecánicos |                  |            |             |                              |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------|-------------|------------------------------|
|          |                   |                   | Tens. Fluen (MPa) | Tens. Máx. (MPa) | Elong. (%) | Estric. (%) | Resil. (kJ/cm <sup>2</sup> ) |
| CIS-F10  | Alambre cb-08     | 1                 | 285               | 465              | 24.25      | 51.18       | 7.7                          |
|          |                   | 2                 | 290               | 470              | 23.36      | 50.31       | 8.9                          |
|          |                   | 3                 | 280               | 460              | 26.45      | 52.82       | 8.0                          |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 285               | 465              | 24.67      | 51.44       | 7.8                          |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 25                | 25               | 2.53       | 1.62        | 1.0                          |
| AH 348   |                   | 1                 | 283               | 437              | 26.22      | 65.97       | 10.2                         |
|          |                   | 2                 | 285               | 457              | 24.87      | 70.65       | 9.2                          |
|          |                   | 3                 | 290               | 410              | 24.21      | 68.54       | 9.4                          |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 286               | 434.67           | 25.10      | 68.39       | 9.76                         |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 13                | 15.27            | 1.05       | 5.45        | 0.43                         |
| AS 200   | 1                 | 340               | 439               | 25.60            | 72.43      | 9.6         |                              |
|          | 2                 | 345               | 432               | 22.19            | 70.65      | 9.4         |                              |
|          | 3                 | 348               | 440               | 25.73            | 74.48      | 10.4        |                              |
|          | $\bar{Y}$         | 344.3             | 437               | 24.51            | 72.52      | 9.66        |                              |
|          | (Si) <sup>2</sup> | 16.34             | 19                | 4.03             | 3.69       | 3.06        |                              |
| CIS-F10  | EL 12K            | 1                 | 280               | 450              | 23.43      | 67.21       | 10.1                         |
|          |                   | 2                 | 292               | 449              | 24.62      | 69.33       | 9.9                          |
|          |                   | 3                 | 291               | 455              | 25.29      | 68.21       | 10.4                         |
|          |                   | $\bar{Y}$         | 287.66            | 451.33           | 24.447     | 68.25       | 10.13                        |
|          |                   | (Si) <sup>2</sup> | 9.9               | 21.7             | 18.5       | 4.3         | 2.5                          |

soldadas, por debajo de 0.45 % puede contribuir a la disminución de su plasticidad. Este aspecto se resuelve empleando una combinación del fundente fundido CIS F-10 con el alambre EM 12K, tal como se observa en la Tabla 2.

El ensayo de resiliencia se basa en la determinación de la cantidad de energía absorbida por el metal sometido al impacto. Atendiendo a las condiciones de trabajo del acero de grado ct-3, y a las condiciones climáticas de nuestro país, se decidió efectuar la experiencia a la temperatura de 27 °C (CIS 1995b).

Este ensayo se realiza en un péndulo Charpy de procedencia húngara tipo TU-30, certificado según el CEN. Se ensayaron 5 probetas, tal como se recomienda en la norma GOST 9966. El ensayo se realizó de acuerdo con las normas establecidas (CIS 1995b; CIS 1995c) y sus resultados aparecen en la Tabla 2. El valor medio de la resiliencia obtenida fue de 7,8 KJ/cm.

certificado por el CEN. El diámetro de la bola de acero utilizada para el ensayo es de 10 mm y la carga aplicada de 3 000 Kgf (29 420 N). Los resultados se encuentran en la Tabla 3 del anexo, obteniéndose como dureza promedio en el material base 125 HB, en la zona de influencia térmica 141 HB y en el cordón 147 HB.

Puede observarse que los valores de dureza son semejantes para los tres tipos de secciones analizadas. Esto indica que el fundente estudiado, garantiza bajo el régimen escogido los requisitos de dureza comparados con los del acero de grado ct-3, sin variaciones significativas a lo largo y ancho del cordón de soldadura y zona de influencia térmica. Puede observarse que similar comportamiento manifiestan los cordones obtenidos con fundentes AH 348 y AS 200.

### Análisis metalográfico

Con el análisis estructural se puede determinar la relación porcentual de la ferrita, y por tanto el grado del

**TABLA 3: Dureza Brinell (HB) de las uniones obtenidas con la participación de los fundentes fundidos CIS F-10, AH 348 y AS 200.**

| Fundente               | Zona                    | 1   | 2   | 3   | $\bar{Y}$ | (Si) <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----------|-------------------|
| CIS-F10<br>y<br>EL 12K | Materid base            | 125 | 128 | 123 | 125.3     | 6.30              |
|                        | Cordón                  | 140 | 142 | 141 | 141       | 1.00              |
|                        | Zona influencia térmica | 146 | 145 | 149 | 146.7     | 4.34              |
| AH 348<br>(Cb-08)      | Materid base            | 124 | 124 | 124 | 124.67    | 1.333             |
|                        | Cordón                  | 121 | 120 | 120 | 120       | 0.333             |
|                        | Zona influencia térmica | 120 | 123 | 118 | 120.3     | 0.333             |
| AS 200<br>(Cb-08)      | Materid base            | 124 | 123 | 125 | 124       | 1.00              |
|                        | Cordón                  | 143 | 145 | 146 | 144.67    | 2.333             |
|                        | Zona influencia térmica | 150 | 157 | 150 | 152.33    | 16.3              |

Es de resaltar que la resiliencia del depósito obtenido se encuentra dentro de los rangos aceptados para las uniones soldadas (> 6 KJ/cm<sup>2</sup>), aunque en la norma NC 10-54 no se especifica. La resiliencia (7.8 KJ/cm<sup>2</sup>) obtenida en el ensayo de impacto de uniones soldadas con fundente CIS F10 y alambre cb-08 es más baja que la obtenida en el fundente AH 348 (9.8 KJ/cm<sup>2</sup>), siendo la obtenida con el fundente AS 200 (10.4 KJ/cm<sup>2</sup>) la más alta.

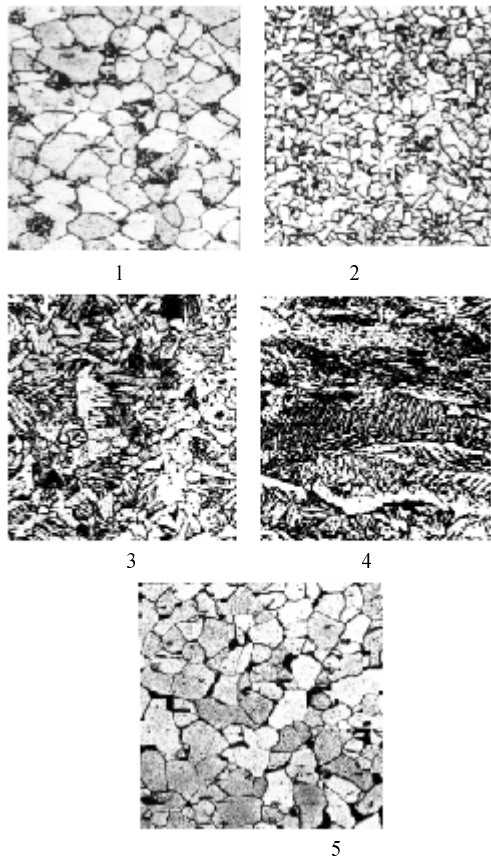
La resiliencia es una función dependiente de la tenacidad y la plasticidad del material, la cual se ve afectada por la composición química y estructural del metal, en la que el manganeso desempeña un importante papel. Para niveles de manganeso en el metal depositado superiores a 0.55 %, se observa que los valores de resiliencia en las uniones soldadas supera los 9 KJ/cm<sup>2</sup>, según se observa en la Tabla 2.

Otra propiedad importante es la macrodureza. Esta se basa en el principio de Brinell. La medición fue realizada en un durómetro alemán marca HECKERT,

acero en cuestión. Además, posibilita hacer un análisis del tipo, forma, y tamaño de las inclusiones no metálicas existentes, entre otros aspectos y, por tanto, determinar el grado de limpieza del metal (Velázquez, 1995). A partir de estos criterios pueden ser evaluadas las propiedades mecánicas de las uniones soldadas. Este estudio se realizó en un microscopio óptico marca NEOPHOT 32, cuyo poder de ampliación es de 2 000 X. Para ello se ejecutaron cortes transversales a las uniones soldadas, las cuales se pulieron, y posteriormente fueron atacadas con una solución de ácido nítrico al 2 % durante un tiempo de 2 min. Se observaron 500 campos en la zona del metal base y 500 en el de la unión soldada.

Como resultado se obtuvo que la unión soldada posee menor cantidad de inclusiones que el material base (aproximadamente 40 % menos), producto de su interacción con el fundente. Además, el tamaño promedio de las inclusiones no metálicas (100 μm) está por debajo del tamaño mínimo exigido por la norma (400-1

600  $\mu\text{m}$ ) (AWS 1980). El tipo de inclusiones detectado corresponde a 30 % de silicatos y a 30 % de óxidos aproximadamente. Por otra parte, se observa un 100 % de ferrita formada, lo que indica que el metal de la unión soldada corresponde a un acero de grado ct-3, lo cual puede observarse en las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5, que muestran la microestructura de la unión soldada y la zona de influencia térmica.



**FIGURA 1:** Estructura ferrito-perlítica, con perlita granular. Zona de recristalización incompleta o de primera transformación (x 120).

**FIGURA 2:** Estructura con granos finos y coalescencia de la perlita. Zona de recocido (x 120).

**FIGURA 3:** Estructura de granos gruesos, relativamente grosera con agregado perlítico. Zona de sobre calentamiento (x 120).

**FIGURA 4:** Estructura basáltica, fina y orientada, formada por capas superpuestas. Zona fundida (x 120).

**FIGURA 5:** Matriz ferrítica con tendencia a la granulación. Estructura de recocido ferrito-perlítica. Metal base (x 120).

## CONCLUSIONES

1. La composición química del metal de las uniones soldadas obtenidas con el fundente fundido CIS F-10 y alambre cb-08 es similar a las obtenidas con los

fundentes AS 200 y AH 348, con el mismo alambre, excepto en el contenido de manganeso, que es de 0.25 %. Cuando se combina el fundente CIS F-10 con el alambre EL 12K, se obtienen niveles de manganeso superiores a 0.65 %.

- Las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tracción estática del metal de las uniones soldadas realizadas con los fundentes AS 200, AH 348 y CIS F-10, con alambre cb 08 son similares, excepto el valor de la resiliencia determinada por el ensayo "Charpy", el que muestra cierta fragilidad en los cordones obtenidos con fundente CIS F-10 y alambre cb-08 ( $\approx 7.8 \text{ KJ/cm}^2$ ). Al emplear la combinación del fundente CIS F-10 con el alambre EL 12K se incrementa la resiliencia ( $\approx 9.9 \text{ KJ/cm}^2$ ).
- La dureza y la estructura de las zonas transversales de las uniones soldadas se comportan similares a las obtenidas en uniones de múltiples pasadas en sobre acero ct-3, al emplear las combinaciones de fundentes AH 348, AS 200 y CIS F-10 con alambres cb-08 y EL 12K.
- La combinación del fundente fundido CIS F-10, el alambre EL 12K y el régimen de soldadura con corriente de 400 A, voltaje entre 38 y 40 V y velocidades de soldadura de 40 m/h es adecuada para la realización del proceso SAW de aceros de grado ct-3.
- El fundente CIS F-10 puede ser empleado en sustitución de los fundentes AS 200 y AH 348 en la soldadura automática bajo arco sumergido de aceros de grado ct-3 con alambre EL 12K.

## BIBLIOGRAFÍA

- AWS A5: 17-80. *Especificación para fundentes y electrodos de baja aleación para la soldadura por arco sumergido.*
- CC 10-QB. *Procedimiento para la extracción de las muestras para la realización de los análisis químicos*, CIS-UCLV, 1995.
- GÓMEZ, C.: "Obtención de fundente fundido para la SAAS a partir de materias primas minerales cubanas". Tesis de Doctorado, UCLV, Santa Clara, 1996.
- GÓMEZ, C. y R. QUINTANA: "Algunas consideraciones sobre la obtención de fundentes fundidos", en *Construcción de Maquinaria*, no. 2, pp. 14-16, 1993.
- Procedimiento para ensayos de tracción a uniones soldadas*, CIS-UCLV, 1995.
- Procedimiento para ensayos de resiliencia en uniones soldadas*, CIS-UCLV, 1995.
- VELÁZQUEZ, E. y R. FUENTES: "Informe sobre la evaluación metalográfica de las uniones soldadas obtenidas bajo arco sumergido con fundentes fundidos obtenidos en el CIS", pp.7, 1995.