

Efecto sobre la Dilución de la Granulometría de la Ferroaleación en el Alma de Electrodo Tubulares Revestidos bajo la Influencia de la Composición del Revestimiento

(The Effect on the Dilution of the Ferroalloy Granulometry in Metal Cored Coated Electrodes under the Influence of the Coating Composition)

Amado Cruz-Crespo¹, Rafael Fernández Fuentes,¹ Américo Scotti²

¹Center for Welding Researches, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuani km 5.5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, acruz@uclv.edu.cu; rfernandez@uclv.edu.cu

²Center for Research and Development of Welding Processes, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, 30400-652, Uberlândia, MG, Brazil, ascotti@ufu.br

Resumen

La posibilidad de trabajar con bajos niveles de corriente y sus consecuencias sobre la dilución, hace que los electrodos tubulares revestidos (SMAW) para recubrimiento duro sean una opción ventajosa a valorar frente a los electrodos revestidos convencionales. Es conocido que la granulometría de los elementos de aleación influye decisivamente en el desarrollo de los procesos oxidativos exotérmicos, hecho que se refleja en las características operacionales de los electrodos. Entretanto, se puede suponer que tales procesos oxidativos son influenciados por la relación de los componentes formadores de escoria en el revestimiento. En el presente trabajo se describe la evaluación del efecto de la granulometría de la carga aleante en el alma del electrodo tubular revestido sobre la dilución y el rendimiento de deposición, bajo la influencia de la composición del revestimiento. El estudio fue realizado de manera paralela para dos tipos de electrodos con FeCrMn como carga aleante, diferenciados por la granulometría de la ferroaleación en el alma del electrodo. A cada tipo de electrodo le fueron aplicados diferentes revestimiento con variaciones de la relación Caliza:Fluorita:Rutilo, con los cuales fueron obtenidos depósitos sobre chapa. Para cada uno de los depósitos fueron determinados los parámetros dimensionales del cordón. Se concluyó que, desde el punto de vista de la geometría del depósito (de la dilución), el electrodo con granulometría mas gruesa presenta un comportamiento más favorable, al tiempo que también presenta un mejor desempeño desde el punto de vista del rendimiento de deposición. La región de composición de revestimiento de mejor comportamiento integral para los dos tipos de electrodos evaluados fue establecida.

Palabras-claves: Recubrimiento duro. Electrodo revestido. Electrodo tubular. Dilución. Eficiencia de deposición.

Abstract: The possibility of working at lower current and, consequently, reaching low dilution, points out advantages in the use of metal cored coated electrodes over conventional ones for hardfacing. It is known that the grain size of the filling alloy elements plays important role in the exothermic oxidation process, reflecting on the operational characteristics of the electrode. However, one can suppose that such process is dependent of the composition ratio of the slag-former compounds from the coating. The present work describes the evaluation of the filling alloy granulometry, present in metal core coated electrodes, on the dilution and deposition rate, taking into account the influence of the coating. The study was carried out using two types of electrodes with FeCrMn as alloying component, distinguished by the granulometry of the ferroalloy. Different coating compositions were employed with systematic variations in the ratio Calcite:Fluorite:Rutile. Bead dimensions were measured after bead-on-plate welds. It was concluded that the electrode with coarser ferroalloying presents better performance from the dilution and deposition efficiency points of view. The coating composition of the highest performance was established.

Key-words: Hardfacing. Coated Electrode. Metal Cored. Dilution. Deposition efficiency.

1. Introducción

La geometría de los cordones es un tema recurrente en la literatura especializada sobre soldadura [1-5], por el significado de este aspecto para la calidad de las uniones e incluso para establecer criterios predictivos de condiciones más adecuadas de parámetros de proceso. En el caso particular de la soldadura

de materiales disímiles, el significado de la geometría se acentúa, por las consecuencias que acarrea la variación de composición (y de las propiedades en diferentes regiones de las uniones) sobre el desempeño en servicio, siendo un ejemplo de tal enfoque el trabajo de Kejelin et al [6]. Estos autores mostraron que para la soldadura de acero API X-60 con aporte ENiCrMo-3 (similar a aleaciones de la serie 625) se puede minimizar el ancho de la región de dilución parcial (región de niveles altos de dureza) a lo largo de la línea de fusión mediante el control de los parámetros que influyen sobre la formación de dicha región, así como mediante la limitación del contenido de carbono con la aplicación de enmantequillamiento con electrodo de bajo

(Recebido em 22/02/2011; Texto final em 31/03/2011).

carbono (E9018 D1).

Ya en el recubrimiento duro por soldadura, el mayor interés sobre la geometría está enfocado sobre la dilución, como criterio que gobierna la calidad de los depósitos en cuanto a composición y consecuentemente en la durabilidad de los componentes bajo las condiciones de servicio. Como se hace evidente de la figura 1, la dilución es expresada como la relación del área del metal base que se funde (A_{MB}) y del área total fundida (la suma del área de sustrato fundida, A_{MB} , y el área depositada, A_{MA}). Son muchos los autores que abordan el estudio del comportamiento de la dilución en los procesos de recubrimiento duro por soldadura, de los cuales se encuentran diversos trabajos [7-12]. Lo más frecuente, como lo evidencian prácticamente todos los trabajos citados, es el estudio sobre el efecto de los parámetros de proceso, sea sobre la influencia en la geometría, en el caso de la soldadura de materiales base de igual composición, o sobre la dilución en el caso de la soldadura de materiales base disímiles y en el recubrimiento.

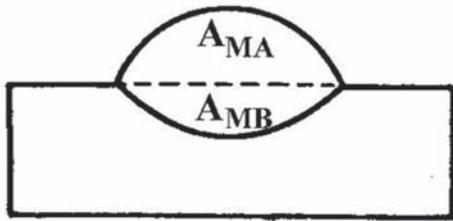


Figura 1.- Representación esquemática de las áreas de un depósito de soldadura:

A_{MB} -sección del metal base; A_{MA} -área del metal de aporte.

En el caso específico de electrodos revestido para soldadura (SMAW), se reportan trabajos del efecto del sistema aleante sobre las dimensiones del baño de soldadura, como es el caso del estudio con electrodos experimentales publicado por Allen et al. [13]. A su vez, De Rissone et al. [14] han abordado el efecto de los componentes formadores de escoria del revestimiento sobre la geometría de un electrodo rutilico, donde se muestra que en la medida que el contenido de Caliza en el revestimiento de un electrodo rutilico se incrementa, la profundidad de penetración del depósito se hace menor, independientemente del tipo de corriente (CA, CC+ y CC-). En el caso del recubrimiento sobre sustrato, Wang et al [15] evidencian la dilución como un elemento definitorio, donde se aborda esta para estudiar el efecto de la adición de ferroaleaciones en el revestimiento sobre la estructura y propiedades del depósito.

El efecto de la granulometría de las ferroaleaciones en el sistema aleante del electrodo, sobre la geometría y la dilución de los depósitos, bajo la influencia de los componentes formadores del sistema de escoria del revestimiento de electrodos para recubrimiento duro por SMAW, son aspectos poco abordados en la literatura especializada. De esta forma, a partir de trabajos anteriores [16-17], el presente trabajo aborda el comportamiento de la dilución de los depósitos en función del efecto del tamaño de grano de la ferroaleación (FeCrMn) en el alma de electrodos tubulares revestidos, bajo la influencia de la composición del revestimiento (Caliza, Fluorita y Rutilo).

2. Materiales y métodos

Los electrodos experimentales fueron obtenidos en base a un diseño experimental de mezcla para una región restringida (de tipo Mc Lean Anderson), cuya técnica es detalladamente descrita en un trabajo precedente [16]. En dicho trabajo, se plantea que fueron utilizados dos tipos de alma tubular para los electrodos experimentales, CIS-C (electrodo con ferroaleación de granulometría gruesa en el alma), con 0,1-0,25 mm de diámetro medio de grano de la ferroaleación, y CIS-F (electrodo con ferroaleación de granulometría fina de en el alma), con diámetro medio de grano de la ferroaleación $\leq 0,1$ mm. Ambos tipos de electrodos con diámetro de 4 mm (valor nominal, referente al diámetro externo del alma tubular metálica) y 350 mm de longitud. Fueron aplicados diferentes revestimientos con base en el plan experimental que muestra la tabla 1, obteniéndose así 7 composiciones de revestimientos para el electrodo CIS-C y 7 para el CIS-F, que responden a la región experimental dentro del triángulo de composición, Caliza-Fluorita-Rutilo. Los puntos de 1 a 6 corresponden a los vértices que delimitan la región experimental y el 7 se corresponde al centróide de la región. Para la aplicación de los revestimientos se adiciona además 10% de Grafito en relación al total de Caliza, Fluorita y Rutilo y se añade 35% de silicato de sodio, respecto a la masa seca total (compuesta por: Caliza, Fluorita, Rutilo y Grafito), el cual actúa como aglutinante.

Tabla 1. Composiciones de los revestimientos aplicados a los electrodos CIS-C y CIS-F, en % masa.

Experimento	Caliza, [%]	Fluorita, [%]	Rutilo, [%]
1	57	43	0
2	57	21	22
3	43	57	0
4	21	57	22
5	22	21	57
6	21	22	57
7	37	37	26

También en el trabajo ya referido [16], se detalla la obtención de los depósitos de manera simultánea a la evaluación de los parámetros de consumo y la obtención de registros de valores instantáneos de corriente de soldadura y tensión de arco. Dichos depósitos fueron realizados sobre placas de acero AISI 1020 de 200 x 30 x 9,2 mm, en posición plana. Para evitar la interferencia del soldador, fue empleado un simulador (sistema automatizado que procura mantener invariable la velocidad de avance, 10 cm/min, y una misma longitud de arco, los cuales son pre regulados), desarrollado en la Universidad Federal de Uberlandia [18]. La corriente de soldadura, 120 A (CC+), había sido definida sobre la base de resultados obtenidos en un trabajo previo [17]. En todos los ensayos fue colocado el selector de tensión de referencia en la misma posición ($U_{Ref}=25$ V), lográndose, de manera general, un arco corto. El electrodo fue

colocado con un ángulo de arrastre de 15° y un ángulo de trabajo de 90° , empleando la técnica de soldadura detrás de mano.

A los depósitos obtenidos le fueron realizados cortes transversales con disco abrasivo para la determinación de la geometría de los cordones. Las secciones cortadas (2 por cordón) fueron preparadas y atacadas con Nital al 3 % para revelar sus dimensiones, las cuales fueron determinadas en un microscopio óptico acoplado a un computador. A partir de las áreas determinadas de los cordones fue calculado el Coeficiente de Dilución para los diferentes electrodos estudiados. Las isolíneas de tendencia de comportamiento de los parámetros geométricos de los depósitos en función de los contenidos de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento fueron obtenidas con el Programa Statgraphics. La eficiencia de deposición, reportada en un trabajo anterior [16], es solapada con la Dilución aquí obtenida, estableciéndose una región de composición de revestimiento de los electrodos más favorable para el comportamiento integral de estos.

3. Resultados y discusión

3.1 Dimensiones lineales de los depósitos

En la figura 2 (a) y (b) se muestran las tendencias de comportamiento de la profundidad de penetración del depósito con la variación del contenido de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento de los electrodos CIS-C y CIS-F. De manera general, predomina la disminución de la penetración con el aumento de la Caliza, lo que coincide con lo reportado por De Rissone [14]. La diferencia de comportamiento de la penetración para ambos tipos de electrodos (CIS-C y CIS-F) está dada por el desarrollo de los procesos de oxidación de elementos químicos en función del tamaño de partículas de la ferroaleación en el alma tubular del electrodo. El electrodo CIS-F, al ser de menor tamaño de partículas presenta una mayor área superficial que favorece los procesos oxidativos exotérmicos, con el consecuente aporte energético (por ejemplo, las reacciones: $Mn + FeO = Fe + MnO$, $Si + FeO = 2Fe + SiO_2$, entre otras), lo cual compensa el aumento de demanda de energía en la medida que se incrementa la Caliza

en el revestimiento (proceso endotérmico de la descomposición por la reacción: $CaCO_3 = CaO + CO_2$ [19]). Lo expuesto sería la causa por la que las isolíneas en la figura 2 (b) sufren un cambio de dirección de la pendiente. Es decir, para los valores bajos de Caliza (cuando la demanda energética para su disociación es baja), la penetración crece con el aumento de este componente, motivado esto porque el aporte de gas activo CO_2 de la disociación del $CaCO_3$ favorece la oxidación de los elementos químicos del baño y, con ello, el aporte energético (consecuentemente la penetración). El comportamiento de la penetración, vinculada con la capacidad oxidante de los gases y con la energía aportada por las reacciones de oxidación de elementos químicos ha sido reportado en trabajos precedentes [13,20]. Para el electrodo CIS-C, al ser las partículas de ferroaleación en el alma mayores, los procesos oxidativos exotérmicos de elementos químicos son menos intensos y no llegan a compensar la demanda energética de descomposición de la Caliza del revestimiento en todo el rango de valores evaluado de componentes del revestimiento, por lo que para este caso las isolíneas no pasan por una región extrema de valores.

Si se observa la relación de la profundidad de penetración de la figura 2 (a) y (b) con la tasa de deposición, reportada en un trabajo previo [16], se advierte la similitud de comportamiento de las isolíneas de la tasa de deposición allí reportada en función de la composición del revestimiento para el electrodo CIS-F, con lo mostrado aquí en la figura 2(b) para la penetración. Es decir, el comportamiento de la penetración en función de la tasa de deposición para el electrodo CIS-F tiene una tendencia de carácter creciente, como lo muestra la figura 3. Ya para el caso del electrodo CIS-C, no existe tal relación de comportamiento, moviéndose en un rango más estrecho de valores por ambas coordenadas, como lo muestra la figura 3, donde se advierte que para este electrodo la penetración, pasado un determinado valor de tasa de deposición, tiende a disminuir. La no coincidencia de comportamiento de la penetración frente a la tasa de deposición para ambos electrodos podría estar relacionada a lo ya planteado encima referente a la diferencia de ocurrencia de los procesos oxidativos exotérmicos a causa de los diferentes tamaños de granos de ferroaleación en el alma tubular de los

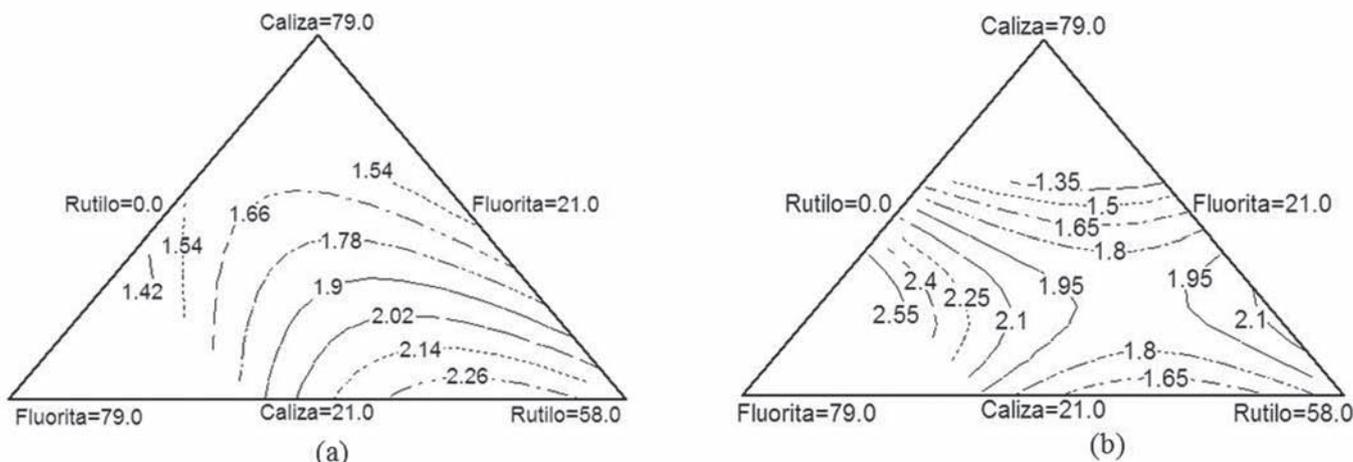


Figura 2. Comportamiento de la profundidad de penetración (en mm) en función de los contenidos (% masa) de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento del electrodo CIS-C (a) y CIS-F (b).

electrodos. A su vez, tal diferencia de los procesos oxidativos entre los dos tipos de electrodos es traducida en composiciones diferentes de la columna del arco, de la escoria y del metal del baño y, en consecuencia, en las propiedades físicas de estos tres componentes del sistema. Para el electrodo CIS-C es alcanzada una condición en la cual el propio metal del baño interfiere la incidencia directa del arco en el fondo de la posa de fusión, haciendo esto que tienda a decrecer la penetración al aumentar la tasa de deposición, similar al efecto que ejerce la velocidad de soldadura para una condición constante de tasa de fusión, claramente reflejado para el proceso MIG/MAG por Scotti y Ponomarev [21]. Llegado un nivel de tasa de deposición para el electrodo CIS-C el arco, que podría también estar transfiriendo menor energía por convección forzada, no lograría desplazar el metal más viscoso a causa de su propia composición y la temperatura, conduciendo esto a una menor penetración.

En la figura 4 (a) y (b) se muestra la tendencia del comportamiento del ancho de los depósitos en función de los contenidos de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento de los electrodos CIS-C y CIS-F. Se advierte que los valores mayores de ancho para el electrodo CIS-C se corresponden a los contenidos mayores de Caliza y para el electrodo CIS-F a los mayores contenidos de Fluorita. Ya para el rango de valores bajos de Caliza el electrodo CIS-C muestra una tendencia contraria de aumento del ancho con la disminución de este componente, lo cual coincide con lo reportado por De Rissone que también ha trabajado con valores bajos de Caliza [14]. En el caso del electrodo CIS-F, el efecto predominante de la Fluorita sobre el ancho parece estar asociado al efecto de este componente sobre la fluidez que propicia una mejor interacción, lo cual, unido a un tamaño menor de partículas de la ferroaleación, favorece la ocurrencia de los procesos oxidativos exotérmicos que podrían conducir a una distribución mayor del metal en el sentido lateral.

Si contrastamos el comportamiento del ancho con la profundidad de penetración (figura 5), observamos que para el electrodo CIS-F el comportamiento tiene un carácter creciente, mientras que para el CIS-C el comportamiento tiene carácter parabólico. Este comportamiento se corresponde a lo ya

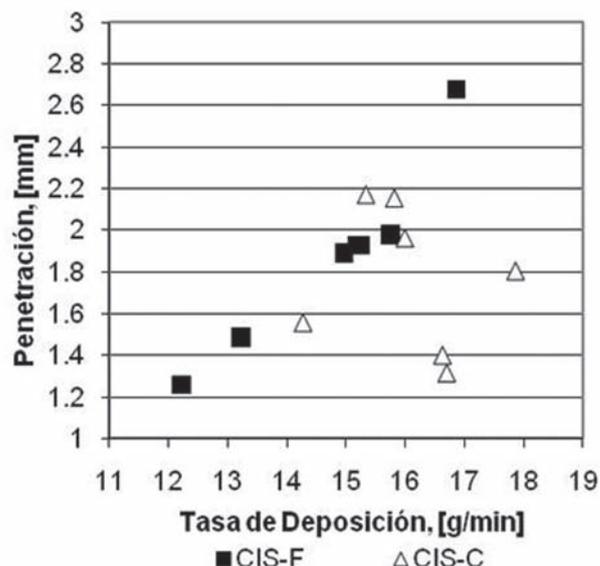


Figura 3. Dependencia de la penetración con la tasa de deposición para los electrodos CIS-C y CIS-F (los valores de Tasa de Deposición utilizados en la gráfica fueron reportados en un trabajo previo [16])

explicado respecto a la relación de la tasa de deposición y el efecto de los procesos oxidativos exotérmicos en el baño fundido con la penetración y con el ancho.

En el caso del refuerzo, el comportamiento no mostró una tendencia de carácter regular, lo cual coincide con resultados reportados por De Rissone, solo que en su caso se trataba de un estudio lineal de efecto del CaO [14].

3.2 Dilución

Como se ha planteado, la dilución es el criterio geométrico más adecuado para evaluar un recubrimiento, ya que de esta depende la calidad del metal depositado y en consecuencia el aprovechamiento racional del consumible de aporte [7, 8

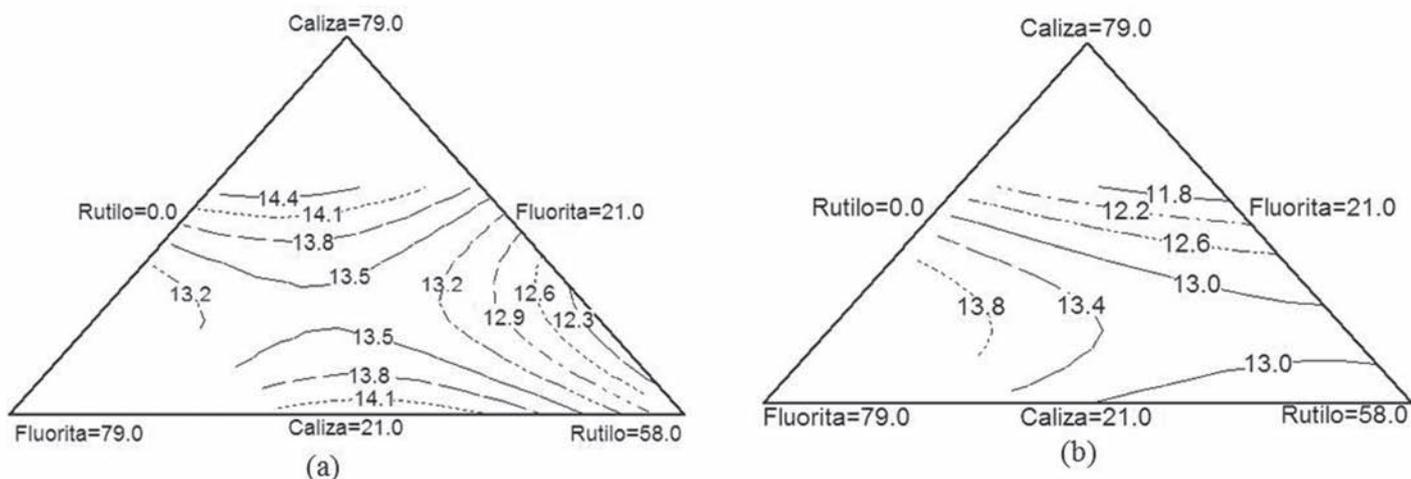


Figura 4. Efecto de los contenidos (% masa) de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento sobre el ancho del cordón para los electrodos CIS-C (a) y CIS-F (b).

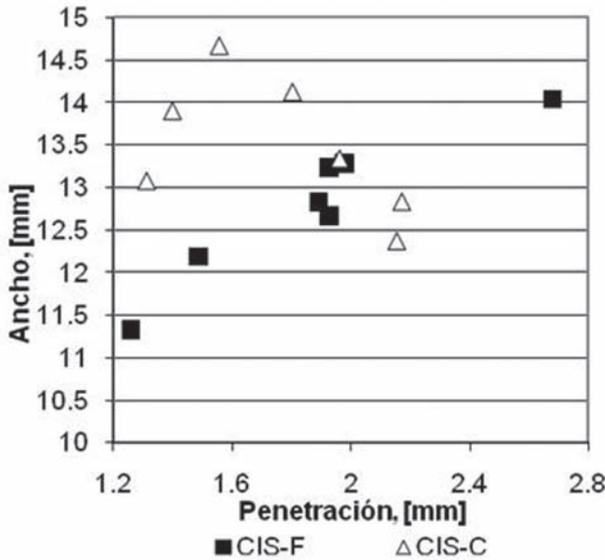


Figura 5. Relación entre el ancho y la penetración del cordón para los electrodos CIS-C y CIS-F.

y 12]. El comportamiento de la dilución, en sentido general engloba los comportamientos independientes de los parámetros geométricos, siendo con frecuencia la penetración la que define su comportamiento [7]. Como se aprecia al comparar las figuras 2 y 6, los electrodos CIS-C y CIS-F muestran sus mayores valores de penetración y de dilución en regiones coincidentes de composición para cada caso. Es visible además en la figura 6, que para el electrodo CIS-F predominan valores mayores de dilución. Esto al parecer concuerda con lo ya planteado, referente a un mayor aporte de calor para este electrodo CIS-F, causado por un mayor desarrollo de los procesos redox con aporte de calor por mayor área superficial de partícula (un tamaño de grano menor de la ferroaleación en el alma del electrodo y un rango granulométrico también menor). Una mayor dilución del depósito con el electrodo CIS-F hace evidente que el CIS-C es

más favorable desde este punto de vista, ya que brindaría un mayor aprovechamiento del sistema aleante del electrodo.

1.3 Selección de las mejores relaciones de composición del revestimiento de los electrodos

Con el propósito de lograr un criterio unificador que nos conduzca a una condición de composición de revestimiento de los electrodos CIS-C y CIS-F que responda al desempeño más adecuado, se contrastan las isolíneas del rendimiento de deposición, reportado en un trabajo previo [16], con las isolíneas de la dilución de la figura 6, como lo muestra la figura 7 (a) y (b). Como resultado de dicha superposición, es obtenida una respuesta integrada, cuyo valor máximo deseado es 1 (esta respuesta integrada adquiere valores de 0 a 1), como muestran las figuras 8 (a) y (b).

Como se aprecia en la figura 8, en sentido general el electrodo CIS-C muestra los mejores resultados en una región próxima a la arista de 21% de Fluorita en el entorno de 45% de Caliza. Por su parte, el electrodo CIS-F muestra una región más dispersa, enmarcada en una región próxima de la arista de 21% de Fluorita en el entorno de 50% de Caliza y en la región próxima a la arista de 21% de Caliza en el entorno de 50% de Rutilo.

El rendimiento de deposición para el electrodo CIS-C presenta valores mayores que para el CIS-F, al tiempo que la dilución muestra el comportamiento contrario de acuerdo a lo reflejado en las figuras 6 (a) y (b). Ello indica que el electrodo CIS-C presenta un comportamiento integral más favorable, expresado en los mayores valores de las isolíneas en la figura 8(a), en comparación con la figura 8(b). En base a los resultados integrales, el revestimiento del electrodo CIS-C debe enmarcarse en el entorno de composición de Caliza-Fluorita-Rutilo □ 45-21-66 % (carece de sentido hablar de valores absolutamente exactos, ya que los minerales que se utilizan en la obtención de revestimientos de electrodos presentan cierta variabilidad en su composición química). Para esta combinación de componentes, el rendimiento de deposición sería próximo al 64% y la dilución sería alrededor de 31%.

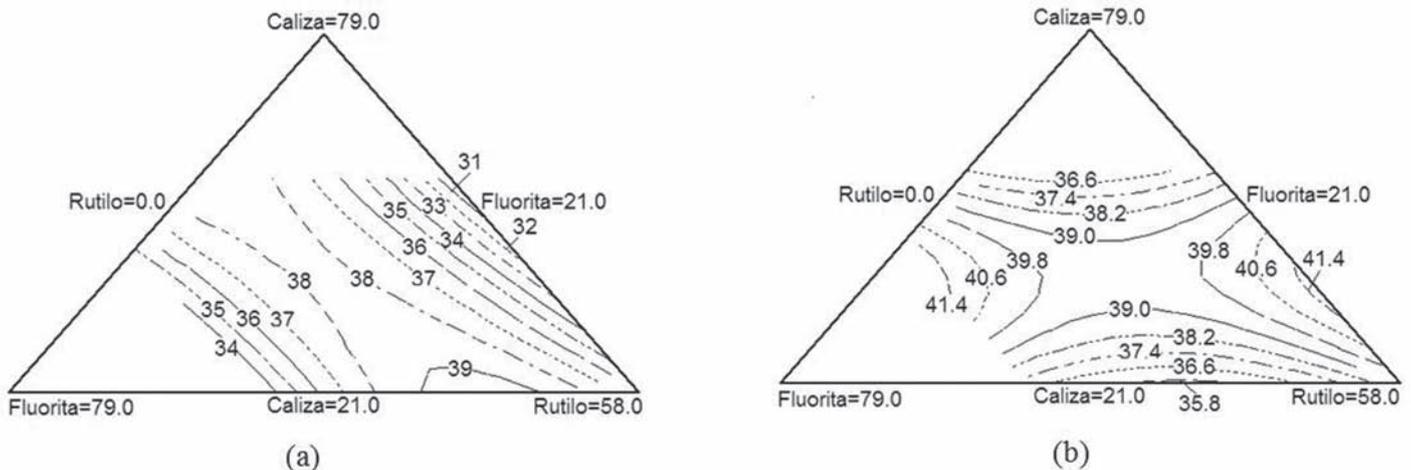


Figura 6. Efecto de los contenidos (% masa) de Caliza, Fluorita y Rutilo en el revestimiento sobre la Dilución (%) para los electrodos CIS-C (a) y CIS-F (b).

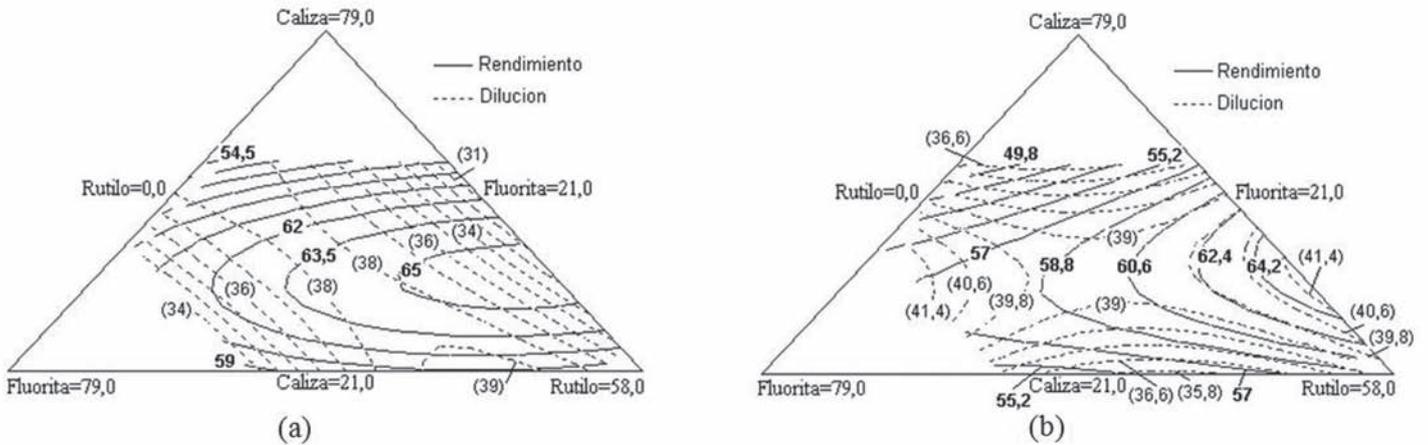


Figura 7. Superposición de las isoclinas del rendimiento de deposición (en %) y la dilución (en %) de los electrodos CIS-C (a) y CIS-F (b) en función de los contenidos (% masa) de caliza, fluorita y rutilo en el revestimiento (los números entre paréntesis corresponden a la dilución y los sin paréntesis al rendimiento de deposición)

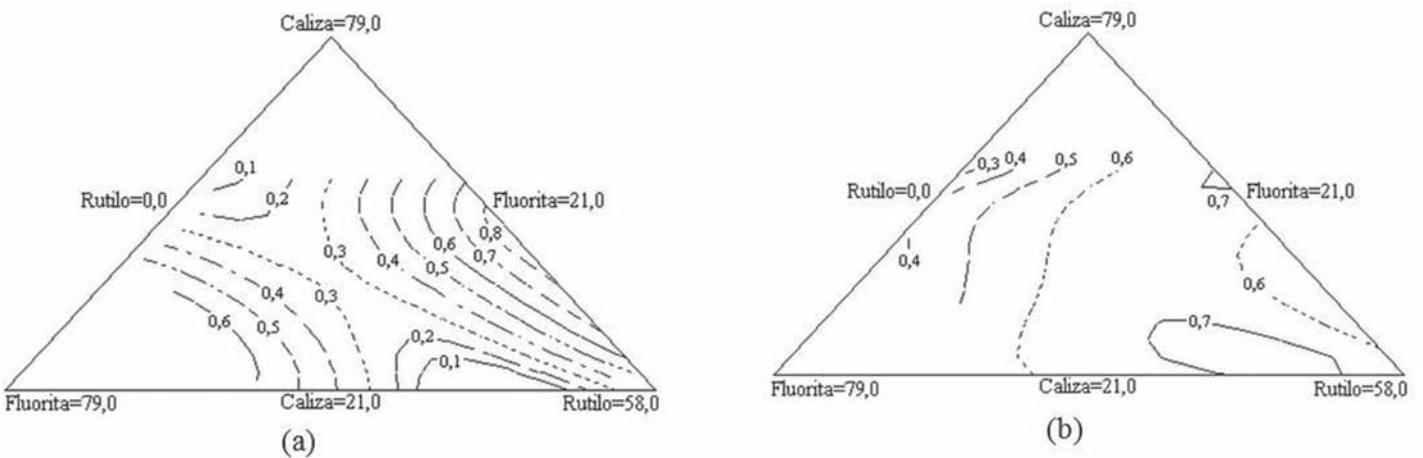


Figura 8. Isoclinas de respuesta integrada de los electrodos CIS-C (a) y CIS-F (b) en función de los contenidos (% masa) de caliza, fluorita y rutilo en el revestimiento.

4. Conclusiones

Restringiéndose a las composiciones y dimensiones de los electrodos utilizados en este trabajo y al valor de corriente utilizado, se concluye que:

1. Los efectos de la granulometría de la ferroaleación en el alma tubular y de la composición del revestimiento sobre la geometría y rendimiento de deposición son gobernados por los procesos de oxidación-reducción;
2. Una granulometría más gruesa de la ferroaleación en el alma tubular del electrodo revestido propicia una menor dilución y un mayor rendimiento de deposición para una misma corriente, lo cual conduce a un mejor aprovechamiento de los elementos de aleación en la obtención de un recubrimiento duro;
3. Mientras tanto, el desempeño de los electrodos, en relación con la dilución y con el rendimiento de deposición, es afectado por la composición del revestimiento, cuyo valor más favorable para las condiciones de este trabajo se enmarca

en el entorno de 45-21-66%, respectivamente para Caliza-Fluorita-Rutilo.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a CAPES (Brasil) y al MES (Cuba) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo cooperativo, en el marco del Convenio CAPES/MES 059/2009.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Kin S., Park Ch.E., Cha Y. H., Jeong Y. J., Kim I. K., Kim J. Y., Son J.-S., A Study on Development of a New Algorithm for Predicting the Process Variables in GMA Welding Process. JSME International Journal, Series C, Vol. 44, No 2, 2001, 561-566 pp.
- [2] Nagesh D.S. and Datta G. L., Prediction of weld bead geometry and penetration in Shielded Metal-arc Welding using artificial neural networks. Journal of Materials Processing

- Technology, 123 (2002), 303-312pp.
- [3] Kin I. S., Son J. Kim S., I. G., Kin O. S., A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO₂ welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 136 (2003), 139-145 pp.
- [4] Serdar K. and Abdullhah S., Sensitivity Analysis of Submerged arc Welding Process Parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 202 (2008), 500-507pp.
- [5] De Oliveira L., De Paiva A. P., Da Costa S. C. Optimização do Processo de Soldagem com Eletrodo Tubular através da análise da Geometria do Cordão de Solda. *Soldagem & Inspeção*, Vol. 13, No2, 2008, 118-127 pp.
- [6] Kejelin, N.Z., Buschinelli, A.J.A, Pope, A. Influence of Welding parameters on the formation of partially diluted zones of dissimilar metal welds. *Soldagem & Inspeção*, vol. 12, No 3, jul/sept 2007, 195-303pp.
- [7] López A. and López E., Influencia del coeficiente de dilución sobre la dureza de la capa aportada en el relleno superficial. 5ta Jornada de Investigación. Universidad Autónoma de Zacatecas. Mexico, 25-29 de junio de 2001.
- [8] Deam R.T., Bednarz B. E., Francis J. A., Welding Parameter that control dilution in hardfacing overlays. *Australasian Welding Journal*, vol. 51, No (2006), 41-48 pp, ISSN 1039-0642;
- [9] Polani P. K. and Murugan, N., Optimization of Weld bead geometry for stainless steel claddings deposited by FCAW. *Journal of Materials Processing Technology*, 190 (2007), 291-299pp.
- [10] Tarng, Y. S., Juang, S. C., Chang, C. H., The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process-parameters in hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology*, 128 (2002), 1-6pp.
- [11] Balasubramanian V., Varahamoorthy R., Ramachandran C. S., Muralidharan C., Selection of welding process for hardfacing on carbon steels based on quantitative and qualitative factors. *Int. J. Adv. Manuf. Technol* (2009) 40, 887-897pp.
- [12] Francis J. A., Bednarz B., Bee J. V., Prediction of steady dilution in multipass hardfacing overlays deposited by Self Shielded Flux Cored Arc Welding. *Science and Technology of Welding and Joining* 2002, Vol. 7, No 2, 95-101pp.
- [13] Allen J. W., Olson D. L., Frost, R. H., Exothermically Assisted Shielded Metal Arc Welding. *Welding Journal*, July 1998, 277-285pp.
- [14] De Risone N. M. R., Farias J. P., De Souza B. I., Surian E. S., ANSI/AWS A. 5.1-91 E6013 Rutile Electrodes: The effect of calcite. *Welding Journal*, July 2002. 113-124 pp.
- [15] Wang X. H., Zhang M. Zou Z. D., Qu S. Y. Microstructure and wear properties of TiC-VC reinforced iron based hardfacing layers. *Materials Science and Technology*, vol 22, No 2, 2006, 193-198 pp.
- [16] Cruz-Crespo, A., Fuentes, R., Scotti, A.. The Influence of Calcite, Fluorite and Rutile on the Fusion-related Behaviour of Metal Cored Coated Electrodes for Hardfacing. *Journal of Materials Engineering and Performance*, September 2009, Publisher Springer New York, ISSN 1059-9495 (Print) 1544-1024 (Online)
- [17] Cruz-Crespo, A, Rodriguez M., Scotti A., Operational behavior assesment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing, *J. Mater. Process. Tech.* (2007), doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.07.048.
- [18] Souza, M.S., Gadotti, I., Scotti, A., Um Banco de Ensaio para Avaliar Eletrodos Revestidos, XIII Cong. Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM – II Cong. Ibero Americano de Engenharia Mecânica – CIDIM, Belo Horizonte, MG, Dez 1995, ABCM, 1-4 pp.
- [19] Bracarense A. Q. and Liu S. Chemical Composition and Hardness Control by Endothermic Reactions in the Coating of Covered Electrodes. *Welding Journal*, December 1997, 509-516 pp.
- [20] Diaz-Cedrè E, Cruz-Crespo A., Ramos F., Tello M., Caparro J., Rodriguez M., Quintana R., Influencia de la relación O₂/CO₂ y de la corriente de soldadura sobre la geometría de la unión soldada de bordes rectos en aceros de bajo carbono con el proceso GMAW. *Soldagem & Insp.* São Paulo, Vol. 13, No 4, Out./Dez 2008, 319-328 pp.
- [21] Scotti, A. and Ponomarev, V. *Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento, Melhor desempenho.* Ed. Artliber, São Paulo, 2008, 284 pag.