

Utilización de la moscovita proveniente de la zona Micasia del sur del Perú para su utilización en los revestimientos de electrodos para acero inoxidable, aws-asme sfa 5.4/ 5.4M

Utilizing muscovite from Micasia zone southern Peru for electrode coating of stainless steel, aws-asme sfa 5.4/5.4m.

Luis Cáceres¹, Julio Uza², Alden Sifuentes³

RECIBIDO: 06/01/2015 - APROBADO: 30/01/2015

RESUMEN

Inherentemente a la producción y al uso de los aceros inoxidable, una de las principales dificultades en este tipo de electrodos es el control del arco y no generar porosidades en los depósitos de soldadura. Muchos óxidos pueden ayudar a controlar esta dificultad y muchos minerales no metálicos pueden ser la solución y a veces lo ignoramos. En el presente artículo se plantea una alternativa con el empleo del mineral no metálico de forma sintética. Esta moscovita de poco valor frente a los minerales polimetálicos puede ser transformada incrementando los niveles KO₂ dándosele un valor e incorporarla en el revestimiento de electrodos como estabilizador del arco que genera cordones de soldadura exentos de porosidades durante el soldeo en los electrodos especiales.

Palabras clave: aceros, soldadura, moscovita.

ABSTRACT

Inherently to the production and use of stainless steels, one of the main difficulties in this type of electrode is arc control and not create porosity in the weld deposit. Many oxides can help control this difficulty and many nonmetallic minerals may be the solution and sometimes we ignore, in this article an alternative to the use of non-metallic mineral summarizes this Muscovite little value against arises the polymetallic ores can be transformed KO₂ levels increasing a value occurring him and incorporated into the electrode coating as arc stabilizer cords generating porosity free weld during welding in special electrodes.

Keywords: Steels, welding, muscovite, electrode.

1,3 Nexsol SRL, Los Brillantes 343, La Victoria, Lima, Perú. E-mail:aldensifu@yahoo.es

2 Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima, Perú.

I. INTRODUCCIÓN

La moscovita es un mineral del grupo de los silicatos del subgrupo filosilicatos y dentro de ellos pertenece a las micas aluminicas. Químicamente, es un aluminosilicato de potasio y aluminio, que puede llevar magnesio, cromo y una gran variedad de otros elementos en sus numerosas variedades. Otro elemento detectado en el mineral es la presencia de materiales volátiles que afectan la calidad del producto final.

En estado natural los mejores depósitos se ubican en el continente europeo, los elementos tales como potasio (K), sodio (Na) y aluminio (Al) juegan un papel primordial dentro del balance químico del revestimiento del electrodo, a los elementos como K y Na se les considera como buenos estabilizadores de arco y la presencia del óxido de aluminio permite estabilizar la basicidad de escoria. Ciertamente muchos electrodos de acero inoxidable que existen en el mercado son muy sensibles. Uno de los problemas que enfrentan los soldadores para este tipo de materiales es la presencia de poros en el cordón de soldadura.

La misma norma AWS recomienda secar los electrodos antes de soldar, pero el problema se hace crítico cuando las porosidades continúan apareciendo en el cordón de soldadura. El soldador puede repetir varias veces la operación de secado o emplear diversos procedimientos a diferentes temperaturas y las porosidades no desaparecen. Estos materiales volátiles contenidos en los minerales de moscovita y en presencia de las altas temperatura de fusión en el charco de soldadura se descomponen para generar gases que son atrapados por el metal líquido de fusión que originan estas porosidades.

La presente investigación, realizada por Nexsol y la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, tratará de explicar y dar solución a este problema mediante el tratamiento previo del mineral de moscovita (ILAFA, 2010), (ALA 2011).

1.1. Tipos de moscovita presente en el Perú

La composición química de los minerales de moscovitas es excepcionalmente variable. Son muy frecuentes los fenómenos de sustitución en uno de los cationes por otro, desde el punto de vista químico constituye un grupo especial de aluminio silicatos. Ver Tabla N° 1.

1. $K(Mg,Fe)3(Si_3AlO_{10})(OH,Fe)_2$, BIOTITAS
2. $KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2$, MOSCOVITA
3. $KMg_3(Si_3AlO_{10})(F,OH)_2$, FLOGOPITA
4. $KLi_{1,5}Al_{1,5}(Si_3AlO_{10})(F,OH)_2$, LEPIDOLITA

Tabla N.º 1. Composición química de los principales minerales de moscovita en el Perú

Componentes	Porcentaje %		
	Moscovita	Flogopita	Biotitas
SiO ₂	46.5	40.0	37.0
AlO ₃	34.0	17.0	18.0
K ₂ O	10.0	10.0	9.0
Na ₂ O	0.8	0.5	1.0
MgO	0.5	26.0	8.0
CaO	0.3	-	-
Fe ₂ O ₃	2.5	0.2	2.0
FeO	1.0	2.8	21.0
H ₂ O	4.5	3.0	3.0
Elementos menores	-	0.5	1.0

Los minerales de tipo Lepidolita no se detectaron en estas zonas, por lo general la zona micácea se ubica al sur, en el departamento de Arequipa y más precisamente en las provincias de Camaná e Islay. La parte comprendida entre Atico y Quilca pertenece a la provincia de Camaná y de Quilca a Mollendo, a la provincia de Islay.

1.2. Aspectos geológicos y mineralógicos de la zona

La zona micácea del sur está situada en una franja de cerros cuyo ancho tiene una longitud de 100 a 150 km, delimitados por los paralelos 7° 1' y 16° 24' en longitud y en latitud más al oriente del meridiano 73° 51' y está formada por un granito-gneis u ortogneis, surcados por numerosos diques pegmatíticos, que son los que contienen la moscovita. El ortogneis que compone la región de Las Lomas varía bastante desde Mollendo a Atico, puesto que en este último se encuentran lacolitos de granito.

De acuerdo con estudios geológicos que realizó la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la UNI, los ortogneis son considerados como el fundamento estrato cristalino de los sedimentos que yacen en ambos lados de Las Lomas y parecen tener relación con los batolitos graníticos que forman la cordillera. Se dice que estas terrazas pertenecen al Terciario que yacen sobre las cuarcitas paleozólicas (Bowman).

Existe también la creencia de que la depresión tuvo origen en las erosiones de un antiguo río que en la era geológica anterior recorría el suelo peruano paralelamente a la costa peruana (Staimann). Los sedimentos que yacen en el amplio valle de Majes parecen pertenecer, como los sedimentos de las terrazas costeras, al Paleoceno o el Pliocénico.

1.3. Procesamiento de la moscovita (Gupta, 2006)

Los análisis de laboratorio han concluido que la moscovita peruana presenta altos niveles de porcentaje de materiales volátiles que varían en aprox. 1 a 9 % y los niveles de K₂O presente en el mineral de moscovita también tienen un rango amplio que puede variar desde 8 a 11.5 %.

Esto confirma que el producto en su estado natural no tiene características apropiadas para el uso en la fabricación de electrodos.

Esto nos permitió analizar varias opciones. La primera opción es la selección artesanal de los mejores minerales o ejemplares de moscovita al ser extraídos de mina utilizando la técnica del pallaqueo. Pero ello deja una merma de rechazo muy grande que supera el 50% en peso. La segunda opción es tratar térmicamente el mineral y controlar el área superficial, en este caso emplearemos el método de Rosin-Rammler.

1.4. Diagrama Rosin-Rammler (RR)

El método de Rosin-Rammler establece lo siguiente:

$$R(d) = 100 \cdot e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^m} \tag{1}$$

Dónde:

R(d): es el porcentaje acumulado del material retenido.

d: Tamaño de la partícula.

d': Tamaño medio de la partícula.

n : Es una medida de la propagación de tamaños de partículas (parámetro de distribución).

Aunque en el RR la distribución de los parámetros d' y n puede ser estimada por el software ecuación de ajuste, a menudo se realiza a través de regresión lineal de los datos representados gráficamente en un diagrama de RR [4].

Después de tomar el logaritmo de la ecuación (1) dos veces y reordenando la ecuación (2):

$$\frac{\log\left(\log\frac{100}{R(d)}\right)}{\log(\log e)} = n \cdot \log d - n \cdot \log d' + \tag{2}$$

Entonces d' y n son constantes para el material dado, la expresión se transforma en la ecuación (3), donde el número de Euler es considerado una constante también:

$$\log(\log e) - n \cdot \log d' = c \tag{3}$$

Combinando la ecuación (2) y la ecuación (3) obtenemos la siguiente ecuación (4):

$$\log\left(\log\frac{100}{R(d)}\right) = n \cdot \log d + c \tag{4}$$

Podemos graficar una escala de doble logaritmo de 100/R versus un logaritmo que nos debe dar una línea recta.

La comparación de una escala lineal frente a la logarítmica se muestra en la Figura N° 1. La ventaja de emplear una escala lineal logarítmica es que no sufre congestión de puntos de data en una región de tamaños más finos de apertura [6] necesarios para la presente investigación.

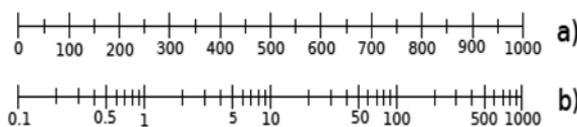


Figura N° 1. Comparison of linear (a) and logarithmic (b) X-axis (Wills and Napier- Munn 2006).

Podemos comparar tres escalas diferentes, que pueden ser utilizadas como eje Y de distribución del tamaño de partícula como se muestra en la Figura N° 2, teniendo en cuenta el comportamiento de doble logaritmo de 100/R (d) es claro que un eje solo puede contener valores que van desde 0 a 100% que son los límites de exclusión. Sobre todo solo los valores entre 0.1 y 99.9% se pueden graficar como la figura 2 (C).

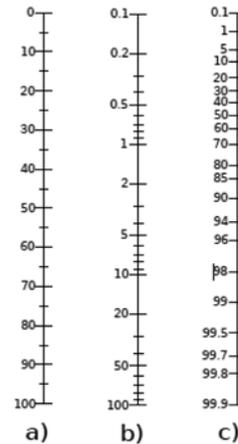


Figura N° 2. Comparison of linear (a), logarithmic (b), and double logarithmic (rosin-Rammler) (c) Y-axis (wills and Napier- Munn 2006).

El eje Y de la escala log-log puede ser utilizado como la recta de aproximación lineal durante un intervalo de tamaño ancho, presenta una desventaja que puede contraer severamente la región por encima del 50% acumulado y especialmente en la región por encima del 75% [7]. La principal ventaja de la combinación de ejes logarítmicos con doble logarítmicos utilizados en un diagrama RR se aproxima al tamaño de los datos de distribución, la data nos da una línea recta sobre toda la región. Desde la aproximación de línea, tanto como los parámetros de la distribución de tamaño RR que describe completamente la distribución del tamaño se pueden obtener.

El parámetro tamaño d' puede ser determinado por clasificación del material dado en un tamaño de malla d=d'. Esta sustitución en la ecuación 1 va a producir una constante de material aproximadamente 36.79% retenido. El parámetro tamaño es, por lo tanto, un tamaño de partícula en la que la línea de aproximación cruza el valor de 36.79% R(d). El valor más alto es el d', el grueso del material.

El parámetro distribución n se puede calcular usando la fórmula dada como ecuación 5, donde [d1, R (d1)] y [d2, R (d2)] son datos aleatorios alineados a los puntos de la aproximación. Cuanto más bajo sea el valor del parámetro de distribución, más amplia es la distribución del tamaño del material [7].

$$n = \frac{\log\left(\log\frac{100}{R(d_2)}\right) - \log\left(\log\frac{100}{R(d_1)}\right)}{\log d_2 - \log d_1} \tag{5}$$

Para los fines de la investigación, el tamaño de esta media se encuentra en el orden de 53 μm, con una desviación estándar de 28.4 μm, los minerales presentan un valor máximo de 100 μm y un mínimo de 20 μm para los efec-

tos de la prueba de la mezcla el rango estuvo entre 42.3 y 74.5 micrones.

Variable	N	Mean	St Desv	SE	Mean 95% CI
C1	11	58.43	23.98	7.23	(42.32, 74.54)
Sign test of median = 20.00 versus > 20.00					
	N	Below	Equal	Above	P
Median					
C1	11	0	0	11	0.0005 57.98

1.4.1 REGRESSION ANALYSIS

log(log(100/Rd)) versus Log d
 The regression equation is
 $log(log(100/Rd)) = 0.0936 + 0.135 Log d$
 Predictor Coef SE Coef T P
 Constant 0.093560 0.015240 6.10 0.000
 Log d 0.135249 0.005935 21.99 0.000
 $S = 0.0106033$ R-Sq = 97.3% R-Sq(adj) = 97.2%
 Analysis of Variance
 Source DF SS MS F P
 Regression 1 0.059411 0.059411 528.42 0.000
 Residual Error 9 0.001012 0.000112
 Total 10 0.060423

II. MATERIAL Y MÉTODOS (LESKO, 1985)

2.1 Transformación de la moscovita

Se seleccionaron varias temperaturas de horneado preparado en una cámara especial a escala laboratorio para la transformación.

El mineral es molido a una granulometría malla mesh 325 y colocado en crisoles de porcelana, en una cámara previamente acondicionada. Al cabo de varios minutos se observa que la mica cambia de coloración de color gris a dorado intenso. Figura N° 3 y Tabla N° 2.



Figura N° 3. Diferente coloración de la moscovita.

2.2 Análisis químico de la moscovita molida – Provincia de Arequipa

Tabla N° 2. Composición química

Producto	Porcentaje %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO
Natural	46	33.5	10%	10.5	0.5	0.6
Mica sintética	51.12	31.68	4.07	10.25	3.46	2.24
Moscovita importada	47-52	30-39	5.0	9-11	5.0	2.0

Para efectos de comprobar la eficacia de la moscovita tratada térmicamente, se analizó la norma AWS/ASME SFA 5.4/ SFA 5.4M. Ver Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Clasificación electrodos de aceros inoxidables

AWS clasificación	Tipo de corriente	Posición de soldadura
EXXX(X)-15	dcep	Todas
EXXX(X)-16	ac y dcep	Todas
EXXX(X)-17	ac y dcen	Todas
EXXX(X)-18	ac y dcep	F,H filete

Ciertamente en la presente investigación, el electrodo del tipo martensítico es considerado como uno de los productos más críticos de trabajar debido a que las porosidades en el cordón de soldadura son consideradas críticas. Ver Tabla N° 4.

Tabla N° 4. Evaluación de electrodos

Características	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Encendido	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Reencendido	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Arco	Aceptable	Buena	Buena	Buena
Remoción de escoria	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Chisporroteo	Normal	Excesivo	Normal	Normal
Salpicaduras	Normal	Excesivo	Normal	Normal
Transferencia	Spray	Spray	Spray	Spray
Penetración	mediana	Buena	Mediana	Mediana
Humectabilidad	Aceptable	Buena	Buena	Buena
Fluidez del metal	Aceptable	Buena	Aceptable	Buena
Fluidez de escoria:	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable

El procedimiento de fabricación de electrodos mediante la utilización de la moscovita sintética sigue las siguientes etapas:

- 1.1 Molienda de moscovita natural usando medios mecánicos a una granulometría cuyo rango debe ser entre 150 y 20 micrones.
- 1.2 La moscovita se mezcla con los otros minerales: tales como dióxido de titanio, óxido de potasio, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, sílice, alúmina, óxido de magnesio, cal, dióxido de sodio, FeCr, FeMo, Ni, FeN, Cu, pentaóxido de difósforo, FeSi y FeMn en polvo.
- 1.3 Mezclado homogéneo en un mezclador biconico juntos.
- 1.4 Adición de aglomerante silicato hasta homogenizar la masa en un mezclador, el cual permita homogenizar la masa de revestimiento hasta alcanzar un

valor de humedad de aprox. 30%, esto facilitará la extrusión en la prensa del tipo Zoy Impex EP-200 con una capacidad de presión 150 bar.

- 1.5 Secado final del electrodo.
- 1.6 Soldeo del electrodo de acuerdo a la especificación de la norma AWS/ASME SFA5.4/SFA5.4M.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN (LANGE, 1976)

3.1 Evaluación del producto final

El electrodo seco se evalúa empleando una máquina de soldar tipo inversor DCEP, con un amperaje de trabajo de 120 a 150 amperios. Figuras N° 4,5,6, y Tabla N° 5.

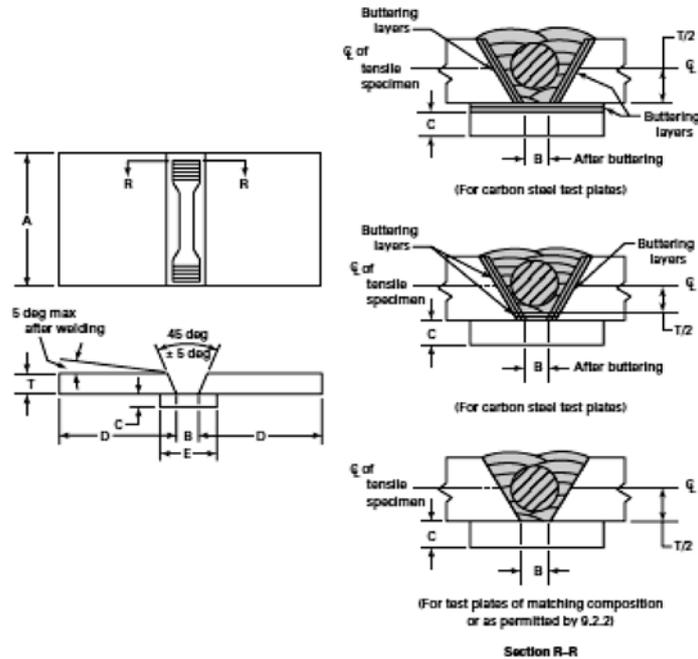


Figura N° 4. Soldeo de los electrodo tipo Martensitico.



Figura N°5. Esquema de preparación de probetas para calificados de electrodos AWS/ASME SFA 5.4/ SFA 5.4M.



Figura N°6. Prueba de tracción, Laboratorio 4 UNI

Tabla N° 5. Resistencia mecánica del electrodo

Metal Depositado	R.Fluencia (MPa)	R.Máxima (MPa)	Elongación (%)
Test 1	799	938	14.5
Test 2	542	675	23.8
Test 3	534	646	30.6
Test 4	525	636	11.0
AWS: E8015-X	460 ^a	550 ^a	19 min ^a
AWS: E8016-X	460 ^a	550 ^a	19 min ^a
AWS: E8018-X	460 ^a	550 ^a	19 min ^a
AWS: E410-X	-	450 ^a	20 min ^a
AWS:E410NiMo	-	760 ^a	15 min ^a

3.2. Efecto de los elementos Cr, Mn, Si Y Ni vs. Impacto Charpy (Joules)

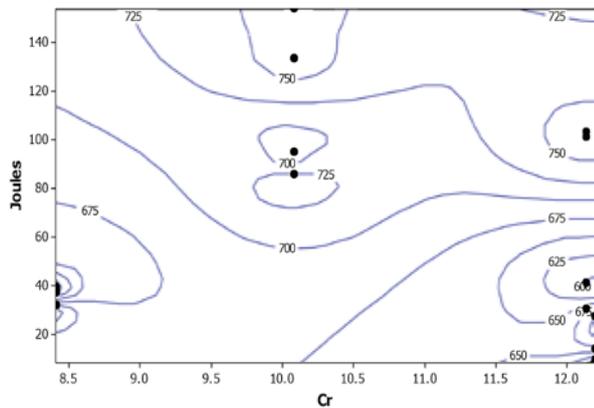


Figura N° 7. Efecto del elemento Cr vs. Joules.

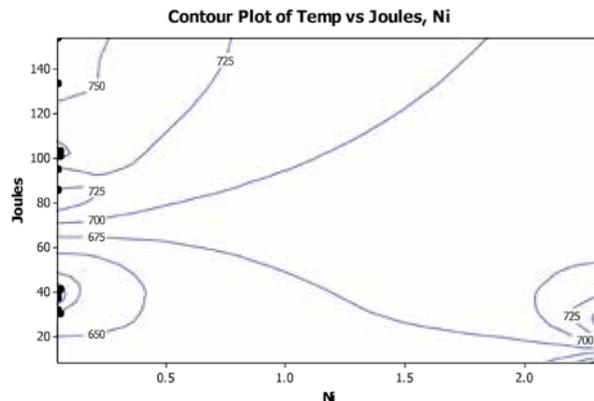


Figura N° 8. Efecto del elemento Ni vs. Joules.

Durante los test de impacto efectuados a temperatura ambiente a las probetas tratadas térmicamente de 580 °C a 760 °C, se confirma que un aumento del contenido de cromo y níquel en el metal de soldadura será necesario, un TTT de 760 °C; esto permitirá que toda la martensita revenida sea transformada mediante TTT y los valores Joules se incrementarán. Figuras 7, 8, 9, 10.

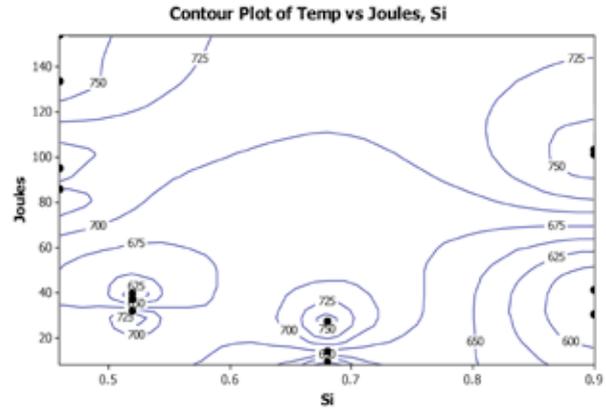


Figura N°9. Efecto del elemento Si vs. Joules.

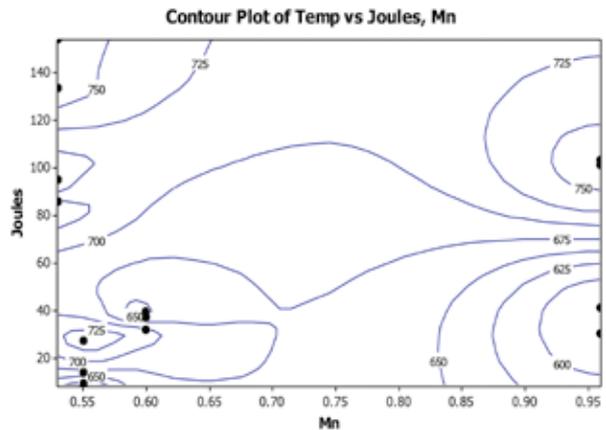


Figura N°10. Efecto del elemento Mn vs. Joules.

Otros elementos como el silicio tienen doble papel. El exceso puede ser bueno para la fluidez del metal, pero nocivo en los valores de impacto. La combinación de elementos como manganeso puede ayudar a reducir esto, pero los mejores resultados se obtuvieron con valores menores de 0.55% o mayores de 0.9 %.

IV. CONCLUSIONES

- La utilización de la moscovita tratada térmicamente genera beneficios económicos, dándole valor agregado mucho mayor cuando se incorpora en el revestimiento de acero inoxidable.
- Con la técnica del tratamiento térmico de la moscovita, se confirma la viabilidad de usar aun las no aptas comercialmente y transformarla a una de calidad premium, similar a un producto importado.
- Así mismo esta moscovita facilita la fusión de los elementos de otros elementos como Cr, Ni, Si y Mn en el charco de soldadura, que permite la interacción entre ellos y controlar sus propiedades de impacto

cumpliendo las exigencias de la norma americana de soldadura AWS.

- Con este proyecto nos permite la utilización del 100% del mineral extraído de mina.

4.1 Impactos del proyecto

a.- Impactos internos

Permitió desarrollar tecnología propia y desarrollar nuestro propio know how, sin necesidad de contar con personal extranjero adicional y mejorar la capacidad de ingreso de la empresa y trabajador.

b.- Impactos externos

1. Nuestros soldadores locales pueden contar con una opción más, que puede competir con los productos importados.
2. La posibilidad de fabricar localmente los electrodos especiales nos permitiría reducir los costos de operación, además de reducir los costos del producto final.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por la empresa COMACSA, la Universidad Nacional de Ingeniería, la Facultad de Ingeniería, Geológica, Minera y Metalúrgica y

FONDO FINCYT- FIDECOM para el desarrollo de la presente investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. La siderurgia en cifras 2010, Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero – ILAFA, Las Condes - Santiago de Chile (2010).
2. La siderurgia en cifras 2010, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile (2011).
3. Lange, Kurt. Handbook of metal forming. McGraw-Hill. United States of de America (1976).
4. Gupta, A., Yan, D., 2006. Mineral Processing Design and Operation. Elsevier Science. chapter 2. Particle Size Estimation and Distributions. pp. 32–62. ISBN: 978-0-44-451636-7.
5. Wills, B.A., Napier-Munn, T.J. (Eds.), 2006. Wills' Mineral Processing Technology. Elsevier Science & Technology Books. Chapter 4. Particle Size Analysis. Seventh edition. pp. 90 – 108. ISBN: 0750644508.
6. Leško, M., 1985. Úpravnícka technologická analýza. Edičné stredisko VŠT v Košiciach. chapter II. 1. Zrnitostný rozbor surovín. (in Slovak).