

COMPORTAMIENTO AL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO NORMA ASTM G 65 DE DEPÓSITOS DE SOLDADURA APLICADOS SOBRE SUSTRATOS DE ACERO ASTM A-36.

E. Espejo y J. Pérez

Maestría en Ingeniería – Materiales y Procesos – Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá D.C.

Correo de contacto: japerezce@unal.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se evaluó bajo norma ASTM G 65 el comportamiento ante el desgaste abrasivo de los materiales depositados por los siguientes electrodos comerciales: West Crome (aleación ferrosa de 25% de Cromo y 3,5% de Carbono), West Hard 400 (acero tipo hadfield), West Hard 65 (acero con 7,5% de Cromo y 0,7% de Carbono), West Hard 30 (acero con 1,6% de Cromo y 0,25% de Carbono) y el electrodo ER11018 (acero de bajo carbono y baja aleación). Se usaron como variables de depósito para cada uno de los electrodos: a) dos o tres cordones (para el West Crome también se evaluó un cordón) y b) tres niveles de precalentamiento durante soldadura (sin precalentar, 150° C y 350° C). Como capa de soporte para el electrodo West Crome se usó al West Hard 400 o el West Hard 30, para el West Hard 65 se usó el West Hard 30 y para los electrodos West Hard 400, West Hard 30 y ER 11018 se usaron capas de los mismos electrodos como soporte. Los depósitos se hicieron sobre láminas de acero ASTM A-36.

En las pruebas de desgaste se usaron cinco réplicas por experimento y a partir del análisis ANOVA y de las pruebas metalográficas, se obtuvieron las siguientes conclusiones: a) el electrodo que mejor resistencia al desgaste presentó fue el West Crome, derivado de la alta densidad de carburos presentes en su microestructura, b) en general no se presentaron diferencias significativas entre la resistencia al desgaste de los electrodos depositados con dos y tres capas, pero si se encontró una merma en la resistencia al desgaste del electrodo West Crome cuando se aplicó una sola capa, esto debido a la dilución con la capa de soporte, c) los electrodos West Hard 65, West Hard 30 y ER11018 presentaron una resistencia al desgaste similar y bastante inferior al electrodo West Crome, debido a la baja presencia de carburos, d) el electrodo West Hard 400 presentó una resistencia al desgaste intermedia entre el electrodo West Crome y los demás electrodos, esto debido al endurecimiento por deformación que experimentó este acero durante la prueba de desgaste, e) en general la temperatura de precalentamiento no ejerció influencia en la resistencia al desgaste, excepto en los electrodos West Hard 65 y West Hard 30, debido a la influencia de la temperatura sobre la velocidad de enfriamiento y por lo tanto en las fases finales obtenidas (bainitas, perlitas, martensitas).

Tópico 2: Materiales metálicos.

Palabras clave: desgaste abrasivo, soldadura, aceros.

1. INTRODUCCIÓN.

Algunos autores se refieren a los gastos derivados de procesos relacionados con el desgaste, variando este dato entre 2 y 5% del PIB [1], [2], tal valor muestra que el estudio y análisis de los procesos y más aun, de las posibles mejoras en este campo son una solución apremiante. En el siguiente trabajo se llevará a cabo el análisis de la problemática presentada en componentes mecánicos sujetos a la acción abrasiva en minería, tema que abarca una actividad productiva de casi todos los países de la región y a nivel mundial, ya que este ítem juega un papel preponderante en el desarrollo productivo de cada uno de los países.

En variados estudios se lleva a cabo el análisis de recargues duros por aplicación de 2 o 3 electrodos [3-6], obteniendo la resistencia al desgaste abrasivo de una variedad de electrodos, así como la microestructura y la morfología de las fases encontradas, el presente estudio se basa en problemas encontrados en aplicaciones prácticas de minería, donde los niveles de desgaste y los costos de compra de nuevos componentes son demasiado elevados y se necesita encontrar soluciones para poder aplicar una gran cantidad de pases de soldadura para la reconstrucción satisfactoria de estos elementos. Una de las limitantes en la aplicación de números elevados de capas de soldadura para reconstrucción y de recubrimientos duros, es la característica predominante en los electrodos con altos niveles de cromo y es la de sufrir fragilización, agrietamiento y problemas de desprendimiento en servicio sin cumplir con la función de minimizar el desgaste, por este motivo se decidió llevar a cabo el análisis de diferentes materiales que puedan llegar a reducir el desgaste acelerado que se produce cuando las 2 o 3 capas de recubrimientos de alto cromo que se pueden aplicar se agotan y queda expuesto el material base o electrodos que no poseen características antidesgaste.

Se tomaron en estudio 5 juegos de electrodos, aplicando entre 5 y 6 capas de estos electrodos, esto por los altos valores de desgaste que se pueden llegar a presentar en equipos de minería de gran capacidad, donde se llegan a aplicar hasta capas compuestas de 10 a 12 capas de soldadura; además se analizó el comportamiento al desgaste variando las temperaturas de precalentamiento y de sostenimiento, tomando 3 valores distintos de temperatura.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales.

La aplicación de los cordones se llevó a cabo utilizando proceso GMAW, se aplicó la soldadura sobre platinas de acero ASTM A 36, los tamaños de las probetas o cupones se basaron en la norma ASTM G 65 [7], las medidas de las probetas son 12 in x 1 in x 0,12 -0,15 in de espesor, las variaciones en la composición química de la última capa aplicada se debieron a los procesos de dilución.

Tabla 1 Composición química de los electrodos empleados.[8]

<i>Electrodo</i>	<i>Carbono</i>	<i>Molibdeno</i>	<i>Manganeso</i>	<i>Cromo</i>	<i>Níquel</i>	<i>Vanadio</i>	<i>Silicio</i>
E 11018	0.1 max	0.25 - 0.5	1.3 - 1.8	0.4 max	1.25 - 2.5		
West Hard 30	0.25		0.85	1.6			
West Hard 65	0.7	0.5	0.31	7.5		0.5	0.68
West Crome	3.1	1,2	1.4	25		1,2	0.9
West Hard 400	0.6		15		3		0.5

2.2 Diseño experimental.

El procedimiento experimental de este estudio se basó en el análisis por diseño factorial [9], se tomaron en consideración 3 factores (tipo de electrodo, número de pases y temperatura de precalentamiento y de sostenimiento), con sus respectivas variables (5 electrodos, 2 números de pases y 3 temperaturas).

Utilizando teoría de cálculo de número de replicas [9], se determinó un número de repeticiones de 5, con lo cual se obtuvieron 150 probetas o cupones de cada una de las posibilidades según los factores y las variables.

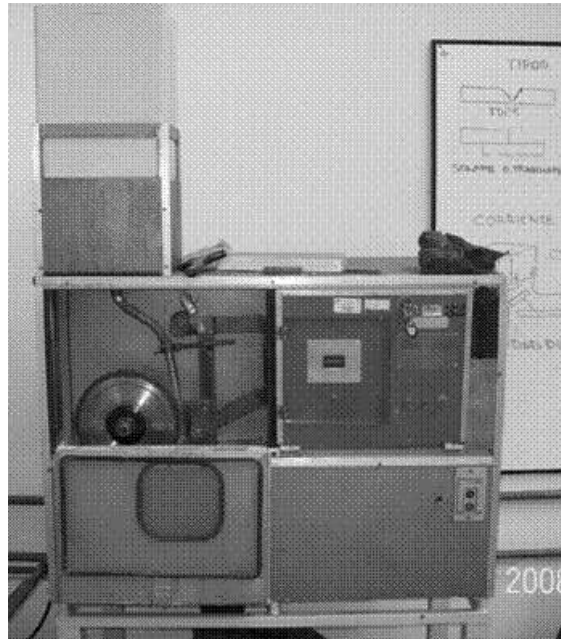
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Ensayo de desgaste.

El ensayo utilizado para obtener los valores de desgaste fue el ensayo de desgaste de abrasión con arena seca ASTM G65 procedimiento B, usado desde materiales con alta resistencia al desgaste hasta materiales con baja resistencia al desgaste, el número de revoluciones utilizado fue de 2000 rpm, lo que nos da una abrasión lineal de 1436 m. Se escogió el procedimiento B, tomando en consideración que los materiales que se quieren analizar tienen una variada composición química, así como diferentes valores de dureza. Se utilizó para la aplicación del ensayo arena con granulometría AFS 50/70 con flujo constante de 300 a 400g/min.

En la figura 1 se puede observar el dispositivo utilizado en la aplicación del ensayo.

Figura 1 Dispositivo para ensayo de desgaste bajo norma ASTM G65



En la tabla 2 se pueden observar los resultados obtenidos del ensayo de desgaste, se realizó el pesaje antes de la realización del ensayo y posterior a éste. Se utilizó la ecuación 1 para determinar la pérdida en volumen comparando la pérdida en masa con la densidad del acero.

Ecuación 1. Cálculo de pérdida en volumen bajo norma ASTM G65

$$\text{Pérdida en volumen (mm}^3\text{)} = \frac{\text{pérdida en masa (g)}}{\text{densidad (g/cm}^3\text{)}}$$

Tabla 2. Resultados ensayo de desgaste bajo norma ASTM G65

<i>Electrodo</i>	<i>temperatura °C</i>	<i>Desgaste mm³</i>	<i>Valor mínimo desgaste</i>	<i>Valor máximo desgaste</i>	<i>Desviación estándar</i>
E11018 + wh400 1capa + west crome 2 capas	20	19,108	12,092	26,124	7,016
2 capas E11018 + 1 capas west hard400 + 3 capas west crome	20	24,204	14,628	33,779	9,5755
5 capas E11018	20	212,739	185,078	240,4	27,661
6 capas de E11018	20	169,427	137,895	200,959	31,532
E11018 + west hard 400 1 capa + west crome 2 capas	150	24,204	11,636	36,772	12,568
E11018 + west hard 400 1 capa + west crome 3 capas	150	14,013	10,691	17,335	3,322
E11018 5 capas	150	202,548	175,842	229,254	26,706
E11018 6 capas	150	189,809	175,895	203,723	13,914
E11018 2 capas + west hard 1 capa + west crome 2 capas	350	84,076	73,298	94,854	10,778
E11018 2 capas + west hard 1 capa +west crome 3 capas	350	85,35	74,572	96,128	10,778
E11018 5 capas	350	252,229	228,346	276,113	23,8835
E11018 6 capas	350	220,382	189,197	251,568	31,1855
West Hard 30 5 capas	20	214,013	202,131	225,895	11,882
West Hard 30 6 capas	20	201,274	184,065	218,483	17,209
West Hard 30 5 capas @150°C	150	184,713	169,576	199,851	15,1375
West Hard 30 5 capas @350 °C	350	185,987	185,987	200,952	7,4825
West Hard 30 6 capas	150	179,618	155,508	203,728	24,11
West Hard 30 6 capas	350	175,796	161,384	190,209	14,4125
West Hard 30 3 capas + 2 capas West Crome	20	53,503	35,829	71,178	17,6745
West Hard 30 capas + 2 capas West Crome	150	19,108	14,899	23,317	4,209
West Hard 3 capas + 2 capas West Crome	350	44,586	28,025	61,146	16,5605
West Hard 30 capas + 3 capas West Crome	20	20,382	15,933	24,832	4,4495
West Hard 30 capas + 3 capas West Crome	150	22,93	21,534	24,325	1,3955
West Hard 30 capas + 3 capas West Crome	350	26,752	24,1	29,403	2,6515
West Hard 30 capas + 2 capas West Hard 65	20	206,369	189,799	222,94	16,5705
West Hard 3 capas + 2 capas West Hard 65	150	178,344	169,732	186,956	8,612
West Hard 3 capas + 2 capas West Hard 65	350	131,21	123,174	139,247	8,0365
West Hard 3 capas + 3 capas West Hard 65	20	224,204	208,131	240,277	16,073

Tabla 2. Resultados ensayo de desgaste bajo norma ASTM G65 (continuación)

West Hard 3 capas + 3 capas West Hard 65	150	210,191	198,919	221,463	11,272
West Hard 3 capas + 3 capas West Hard 65	350	171,975	161,563	182,386	10,4115

3.2 Análisis químico en la última capa.

Se obtuvo la composición química en la última capa por medio de ensayo de espectroscopia de chispa, las variaciones con la composición química que da el productor del electrodo se explica por los procesos de dilución entre las diferentes capas de soldadura aplicadas, a mayor número de capas depositadas del electrodo más externo la dilución en el material es menor. Los datos se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química en la última capa

PROBETA	Electrodo	C	SI	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Fe
5	WCROME	3,79	0,69	1,82	24,49	0,61	0,26	0,56	67,35
9	WCROME	3,44	0,73	1,78	24,23	0,57	0,25	0,55	68,03
15	E11018	0,08	0,41	1,31	0,50	0,36	1,97	0,01	95,23
20	E11018	0,09	0,42	1,40	0,46	0,35	1,97	0,01	95,19
21	WCROME	3,49	0,70	1,77	25,38	0,58	0,23	0,57	66,85
27	WCROME	3,49	0,79	1,95	24,78	0,61	0,26	0,55	67,13
31	E 11018	0,08	0,38	1,27	0,45	0,36	1,91	0,01	95,42
39	E 11018	0,10	0,39	1,34	0,47	0,38	2,18	0,01	95,00
44	WCROME	3,25	0,48	2,32	20,28	0,54	0,55	0,54	71,68
46	WCROME	3,06	0,57	2,25	21,25	0,54	0,48	0,59	70,84
53	E 11018	0,05	0,22	1,17	0,25	0,35	1,87	0,01	95,92
59	E 11018	0,12	0,22	1,13	0,27	0,34	1,88	0,01	95,91
61	WH30	0,28	0,51	0,86	1,30	0,01	0,01	0,02	96,84
69	WH30	0,38	0,50	0,80	1,23	0,01	0,02	0,02	96,85
72	WH30	0,33	0,44	0,80	1,29	0,01	0,02	0,01	96,94
76	WH30	0,43	0,49	0,80	1,26	0,01	0,02	0,01	96,77
83	WH30	0,34	0,43	0,77	1,31	0,01	0,02	0,01	96,96
90	WH30	0,41	0,43	0,73	1,24	0,01	0,01	0,01	96,99
92	WCROME	4,82	0,63	0,97	24,65	0,62	0,09	0,62	67,12
99	WCROME	3,75	0,60	1,20	24,85	0,68	0,10	0,64	67,71
105	WCROME	4,06	0,52	1,04	25,37	0,62	0,09	0,60	67,23
108	WCROME	3,65	0,69	1,19	26,83	0,62	0,10	0,69	65,75
115	WCROME	4,07	0,54	1,24	26,40	0,64	0,08	0,70	65,85
118	WCROME	3,47	0,61	1,12	25,30	0,59	0,10	0,65	67,70
122	WH65	0,62	0,66	0,20	6,43	0,45	0,04	0,41	90,97
130	WH65	0,82	0,68	0,23	6,28	0,46	0,03	0,42	90,88
133	WH65	0,81	0,63	0,26	5,78	0,40	0,04	0,37	91,49

Tabla 3. Composición química en la última capa (continuación)

139	WH65	0,75	0,71	0,21	7,01	0,50	0,04	0,46	90,10
142	WH65	0,74	0,67	0,17	6,96	0,49	0,04	0,46	90,27
147	WH65	1,02	0,65	0,20	6,74	0,49	0,04	0,46	90,20

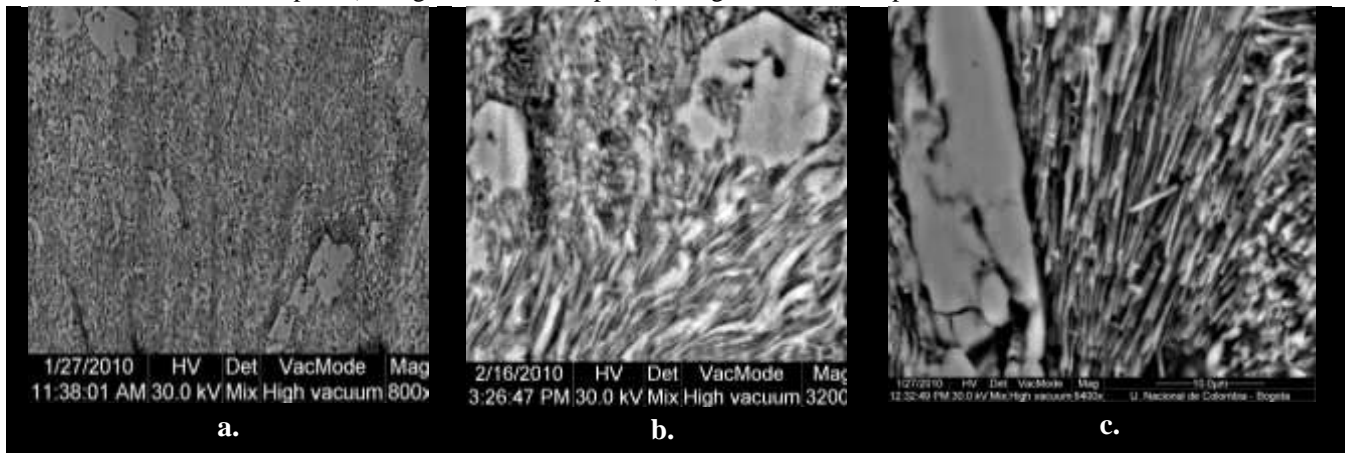
3.3 Análisis microestructural.

Se llevó a cabo el análisis microestructural usando microscopía SEM y análisis por metalografía con microscopio óptico, las muestras fueron analizadas sin ataque y con ataque químico usando Nital y Vilella, dependiendo del material analizado, también se observaron las muestras sin ataque (superficie desgastada) en el microscopio SEM a diferentes aumentos (50x,200x,800x,1600x,3200x,6400x).

En la figura 2, podemos observar un ejemplo de las imágenes obtenidas por microscopía SEM del electrodo West Cromo, en las que se puede observar la formación de carburos primarios de tipo M_7C_3 , en una matriz eutéctica formada por austenita y carburos de cromo, estas imágenes fueron tomadas sobre la superficie de desgaste, donde no se aprecian surcos o deformación superficial a gran escala. En la figura 3 se muestra las imágenes tomadas en la superficie de desgaste del electrodo E11018, se aprecia claramente la formación de canales o surcos debido a la acción abrasiva de la arena, además, se aprecia claramente la deformación plástica en las zonas laterales de dichos surcos.

En general los depósitos con última capa de West Cromo no mostraron surcos ni deformación superficial, similar a la Figura 2, mientras que los depósitos con última capa de aceros de bajo carbono y/o baja aleación (E11018, WH30 y WH65), si presentaron surcos y marcada deformación superficial similar a la Figura 3. Los depósitos con última capa en West Hard 400 (acero de alto manganeso y medio carbono, tipo Hadfield) mostraron un comportamiento intermedio entre los dos antes descritos.

Figura 2. Imágenes obtenidas por microscopía SEM sobre la superficie desgastada. Electrodo West Cromo. a) Imagen a 800 aumentos 2 capas. b) Imagen a 3200x 2 capas, c) Imagen a 6400x 2 capas. Todas atacadas con Vilella



3.4 Análisis de resultados.

En la figura 4 se grafican los resultados de la tabla 2, donde en general se nota la superior resistencia de los depósitos con última capa en West Cromo sobre todos los demás depósitos (con última capa de aceros de bajo carbono y/o baja aleación), esto debido a la alta densidad de carburos tipo M_7C_3 en su microestructura, mientras que estos otros aceros presentaron microestructura ferrítica, martensítica o bainítica. Los depósitos con última capa en West Hard 400 debido a su microestructura austenítica, que se transformó en martensítica producto de la

deformación durante el ensayo mostraron una resistencia al desgaste intermedia entre los electrodos antes mencionados.

Figura 3 Imágenes obtenidas por microscopia SEM sobre la superficie desgastada. Electrodo utilizado E11018 5 capas. a) 200x atacada con Nital, b) 6400x sin ataque, c) 3200x sin ataque.

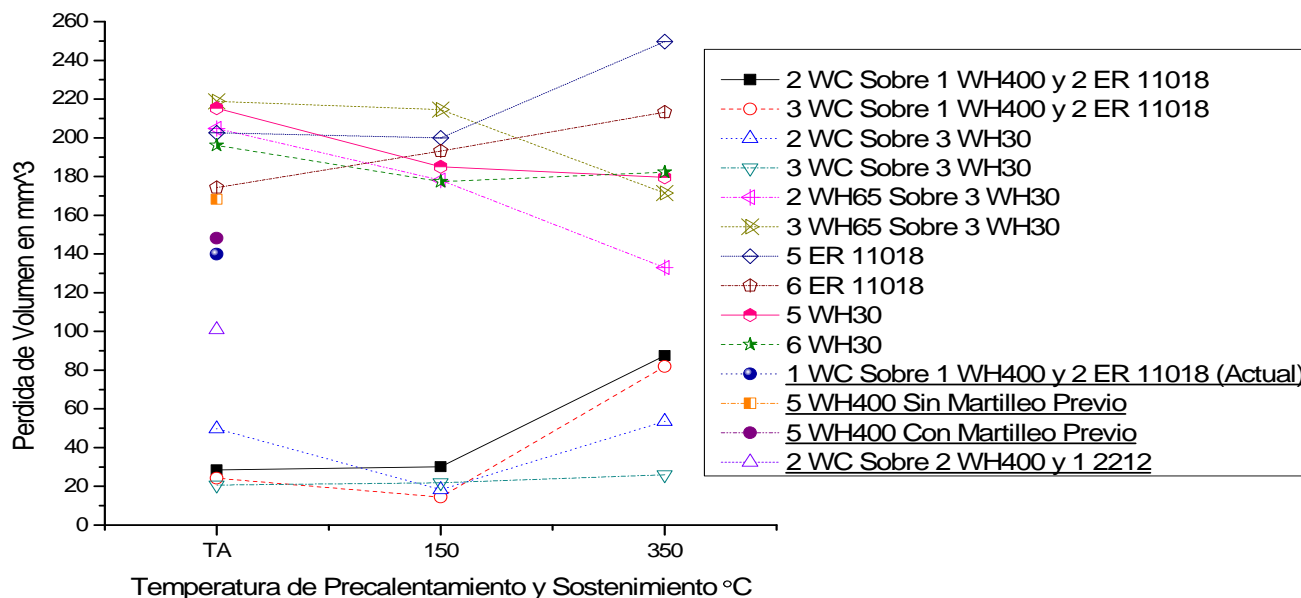
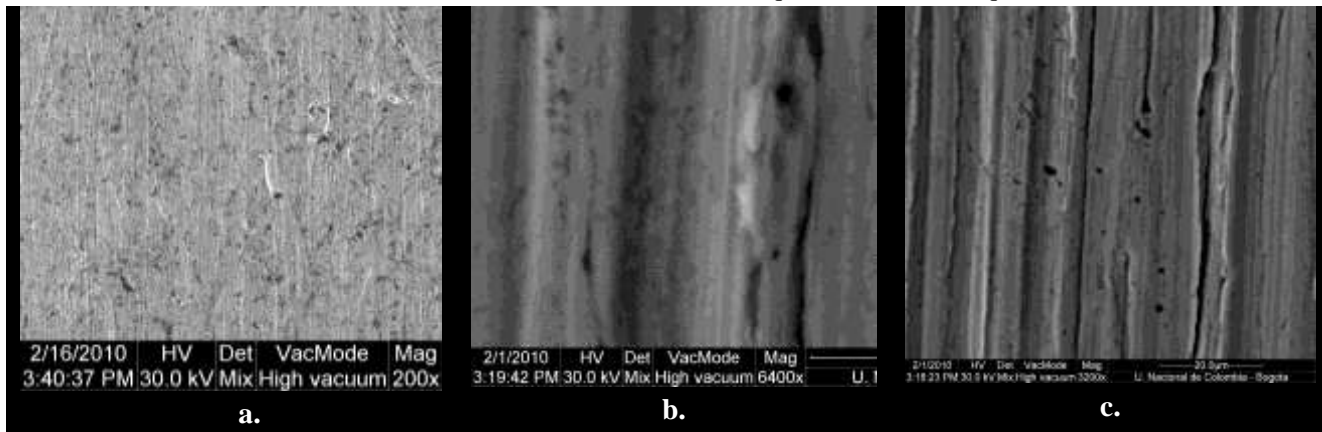


Figura 4. Comportamiento al desgaste de los electrodos analizados, tomando en consideración la temperatura de pre calentamiento y de sostenimiento. Los números que están antes de cada electrodo indican el número de pases del mismo.

Se realizaron análisis de varianza (tablas ANOVA) para poder correlacionar los tres factores estudiados (tipo de electrodo, temperatura de pre calentamiento y número de pases del último electrodo), llegándose a las siguientes conclusiones:

- El tipo de electrodo usado en la última capa del depósito influye sobre la resistencia al desgaste obtenida, lo cual concuerda con lo antes mencionado.

- La temperatura de precalentamiento y sostenimiento no tuvo influencia significativa en la resistencia al desgaste. Este resultado se refiere al tamaño de las probetas del ensayo, lo cual no necesariamente es extrapolable a la escala de piezas en minería.
- El número de capas del último electrodo influye sobre la resistencia al desgaste, esto debido a que a mayor número de capas hay menor dilución y por tanto en el caso del electrodo West Crome se obtuvo mayor resistencia al desgaste.
- No se encontraron diferencias significativas entre la resistencia al desgaste de los depósitos con última capa en electrodos ER 11018, West Hard 65 y West Hard 30.

CONCLUSIONES

- La resistencia al desgaste fue máxima en depósitos con última capa de West Crome y mínima en aquellos con última capa de aceros de bajo carbono y/o baja aleación.
- Los depósitos con última capa en West Hard 400 mostraron una resistencia al desgaste intermedia entre los West Crome y de bajo carbono y/o baja aleación.
- La temperatura de precalentamiento no ejerció influencia significativa en el comportamiento al desgaste de los depósitos.
- El número de pases empleado influye en la resistencia al desgaste, para el caso del West Crome aumentándola de una manera significativa.

REFERENCIAS

- [1] ASM Metals Handbook Volume 18 Friction, Lubrication, and Wear Technology. 1992. Páginas 320 – 351.
- [2] J. Gutiérrez, M. León, D. Mesa y A. Toro. Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura eléctrica (SMAW)
- [3] J. Santa Marin. Estudio del efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos de carburos complejos resistentes a la abrasión. Tesis de pregrado. Facultad de minas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2005
- [4] J. N. DuPONT and A. R. Marder Dilution in single pass arc welds. Metallurgical and Material Transaction B. Vol 27B, Junio de 1996.
- [5] J. Gutiérrez, M. León, D. Mesa y A. Toro. Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera. Universidad Nacional Sede Medellín. 2004
- [6]] M.F. Buchely, J.C. Gutiérrez, L.M. León, A. Toro. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. Science direct. Tribology and Surfaces Group, National University of Colombia, Medellín, Colombia. Wear 259 (2005) 52–6.
- [7] Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus Designation G 65-04. ASTM. (2004) 1-12
- [8] Soldaduras especiales West Rode Catalogo Técnico. Edición actualizada 2006. Páginas 63-81.
- [9] Diseño y análisis de experimentos. Montgomery Douglas. 2ª Ed. Limusa. (2006) Páginas 170-276.