

En relación con el comportamiento de los vientos, se concluye que:

- Los vientos diurnos, por convección, levantan los humos afectando la región marcada y los vientos nocturnos, por estabilidad, tienden a hacerlo rastreando el suelo (zonas aledañas a la fuente emisora).
- Las calmas tienden a acumular las nubes de los humos sobre el mismo lugar del emisor, afectando aproximadamente un radio de 3 km, según lo reflejado en la Figura 2.
- La inversión en las capas de la atmósfera con calma o sin ella obliga al flujo de gases a bajar y a acumularse próximo o en el suelo.
- Durante la noche los gases se concentran en mayor cantidad junto al suelo y su proporción decrece verticalmente hacia arriba.
- Se nota que raras veces existe la presencia de vientos del oeste y consecuentemente el este será poco afectado.
- Se asegura que en los 8 km alrededor del foco emisor (el Complejo Industrial) se encuentran, con certeza, evidencias de contaminación y conservadoramente se propone un alcance de hasta 10 km, según lo reflejado en el mapa resumido en la Figura 2.
- Dentro de la zona de contaminación segura (8 km), según lo reflejado en la Figura 2, serán afectados con mayor intensidad los componentes ambientales que se encuentran en un radio de 3 km del foco emisor, como el poblado de Punta Gorda, desembocadura de los ríos Moa y Yagrumaje, los pantanos y parte de la zona costera.
- En el cuadrante localizado entre el SW y el WNW a sotavento, se afectan grandes extensiones de los ríos Moa y Cabañas, así como parte del sistema montañoso Sagua-Baracoa; el resto del área contenida en los 8 km de radio de acción que es afectado contiene los poblados de Quemado del Negro y Punta Gorda; los ríos Yagrumaje, cayo Guam y Quesigua; la barrera arrecifal; pantanos y zonas costeras al este del Complejo Industrial.

- Alrededor de los 10 km propuestos se localizan otras secciones de los componentes ambientales mencionados anteriormente, y son con mayor intensidad relativa a sotavento de las chimeneas del Complejo Industrial (entre los SW y WSW).
- En la Figura 2 aparece representada una zona que sobrepasa los 10 km propuestos a sotavento, en el cuadrante localizado entre el SW y el WNW, a causa de las suposiciones conservadoras del autor, respecto al alcance de estas emisiones.

### CONCLUSIONES

Se demuestra que la difusión espacial de los contaminantes se distribuye en áreas fuera del lugar de impacto directo, en gran parte de los ríos, bosques y asentamientos socioeconómicos que experimentan la influencia de dichas emisiones. La operación de la central termoeléctrica provoca impactos ambientales considerables en el aire, las aguas, los suelos, la flora y la fauna, el paisaje y el hombre, causados fundamentalmente por no haber incluido la dimensión ambiental en todas las esferas de desarrollo de la empresa.

### BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA-RODRÍGUEZ, W.: *Estudio de las características eólicas de Moa para su utilización en la generación eléctrica alterna*, Trabajo de Diploma, Moa, ISMM, 1995.
- ALFONSO-PÉREZ, G.: *Evaluación ambiental de la central termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes*, Trabajo de Diploma, Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos, 1996.
- Atlas Climático de Cuba*, Instituto de Geodesia y Cartografía, La Habana, 1979.
- BOYTEL YAMBÚ, F.: *Geografía eólica de Oriente*, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1972.
- CLIMENT, M.D. y otros: *Conocer la química del medio ambiente. La atmósfera*, Universidad de Valencia, Valencia, 1992.
- HURTADO-FREYRE, G.: *Estudio ambiental en la central termoeléctrica de la empresa niquelífera Cmdte. Ernesto Che Guevara*, Tesis de maestría, ISMM, Moa, 1997.
- Methodologie d'étude de la pollution atmosphérique d'un site industriel*, Paris: Électricité de la France, 1993.

## Algunas consideraciones sobre la influencia de la constitución matricial de los fundentes cerámicos y la composición química del metal depositado mediante la soldadura automática bajo fundente

Rafael Quintana Puchol\*  
Gilma Castellanos Hernández\*\*

\*Doctor en Ciencias Químicas. Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad Central de Las Villas.  
\*\*Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad de Las Villas.

**RESUMEN:** Se exponen algunas consideraciones sobre la influencia del tipo de matriz (cerámica o fundida) con que están constituidos los fundentes cerámicos en el proceso de transferencia de elementos químicos al metal depositado durante la Soldadura Automática bajo Fundente (SAW).

**ABSTRACT:** Some considerations about the influence of type of matrix (ceramic or fused) which constitutes the ceramic fluxes in the transfer process of chemical elements to weld metal during the automatic welding under flux are reviewed.

### INTRODUCCIÓN

Los fundentes para la SAW se dividen, según el método de obtención, en dos grandes grupos: fundentes fundidos y fundentes no fundidos. A estos últimos se les denomina con frecuencia como cerámicos o aglomerados, indistintamente. Independiente de la denominación de los fundentes no fundidos, estos están constituidos por una matriz y una carga aleante que se une mediante un aglomerante durante el proceso de peletización, formando granos de diferentes dimensiones, que frecuentemente se encuentran entre 0,2 y 3,0 mm (Alob, 1964; Frolov, 1988; Popatov, 1989).

La matriz puede presentarse en el solvente de muy diversas formas y estar constituida por múltiples sustancias naturales y sintéticas, que representan entre 70 y 90 % del volumen del grano del fundente no fundido (Castellanos y otros, 1997). Durante la SAW la matriz ejerce disímiles funciones metalúrgicas; además, garantiza la estabilidad del desarrollo del proceso tecnológico de soldadura y constituye, en su forma líquida como escoria y después en su forma sólida, una barrera mecánica protectora del baño metálico y del cordón contra la acción de gases perjudiciales del medio circundante.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la influencia que ejerce el tipo de matriz cerámica o fundida en la transferencia de elementos químicos aleantes, en la composición del cordón durante el proceso de SAW, manteniendo los parámetros tecnológicos constantes. Para la confección de las formulaciones de ambos tipos de matrices se emplearon seis minerales diferentes, de los cuales cuatro son de origen nacional: feldespatos, dolomita, cuarzo y calcita, que representan 85 % de la formulación; mientras que los otros dos minerales: rutilo y fluorita, son de importación y se usan en las fábricas de electrodos del país.

#### Parte experimental

Por consideraciones metodológicas, para obtener el mayor grado de homogeneidad posible en la composición mineral de las mezclas a sinterizar o fundir, estas se elaboran según el procedimiento expresado por el esquema representado en la Figura 1.

**VISITE LA CIUDAD DEL NÍQUEL,**  
**CAPAZ DE SATISFACER TU MÁS EXIGENTE DESEO**

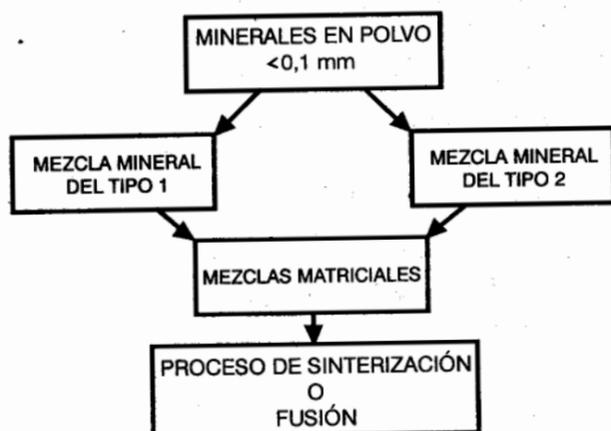


FIGURA 1. Representación esquemática de la preparación de las mezclas matriciales (MM) destinadas a la sinterización o a la fusión.

A partir del conjunto de seis minerales (Tabla 1), se confecciona la formulación de cinco mezclas primarias (MP), de las que al ser mezcladas entre sí se obtienen las mezclas matriciales (MM) correspondientes. Los minerales triturados (< 0,1 mm) se dividen en dos grupos para la confección de los dos tipos de mezclas primarias (Tabla 2).

TABLA 1. Composición química de minerales con características ácidas y básicas

Óxidos	Minerales de					
	Características ácidas			Características básicas		
	Feld.	Cuarzo	Rutilo	Dolm.	Calc.	Fluor.
SiO <sub>2</sub>	66,30	92,32	0,10	0,25	0,36	2,06
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,19	98,75	-	-	0,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,80	0,52	-	0,12	0,23	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22	1,31	-	0,15	0,17	0,18
CaO	1,94	1,23	-	33,82	55,20	0,56
MgO	0,50	0,61	-	18,78	0,67	-
Na <sub>2</sub> O	3,20	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	4,00	-	-	-	-	-
CaF <sub>2</sub>	-	-	0,25	-	-	95,80
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,01	0,13	0,13	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,02	0,02	0,07	0,07	0,01
PPI	1,87	3,69	0,72	46,29	42,76	1,42
Total	99,92	99,89	99,85	99,43	99,59	99,76

FELD: Feldespato; CAL: Calcitas; DOL: Dolomita; FLUOR: Fluorita

La mezcla primaria tipo 1 (MP<sub>1</sub>) constituye entre 40,3 y 48,9 % de las matrices cerámicas y fundidas. En ella, y en cualquiera de las mezclas matriciales, los contenidos de los minerales que la conforman se mantienen constante.

TABLA 2. Composición mineral de las mezclas primarias del tipo 1 (MP<sub>1</sub>) y del tipo 2 (MP<sub>2</sub>)

Componente mineral	Contenido [%]; MP <sub>1</sub> -1	Componente mineral	Mezcla primaria 2			
			Contenido en [%]			
			MP <sub>2</sub> -1	MP <sub>2</sub> -2	MP <sub>2</sub> -3	MP <sub>2</sub> -4
Feldespato	63,55	Dolomita	25,00	33,33	41,67	50,00
Rutilo	14,17	Calcita	25,00	33,33	41,67	50,00
Fluorita	22,28	Cuarzo	50,00	33,33	16,66	-
Total	100,00	Total	100	100	100	100

A partir de los minerales que conforman la mezcla primaria tipo 2 (MP<sub>2</sub>), usando diferentes proporciones, se confeccionan cuatro mezclas matriciales, cuyos productos sólidos constituyen entre 51,1 y 59,7 % de las matrices cerámicas y fundidas.

Cada una de las cuatro mezclas primarias del tipo MP<sub>2</sub> se mezclan con las del tipo MP<sub>1</sub> en una proporción de 3:2, y se obtienen así cuatro mezclas matriciales (MM). A partir de ellas y por sinterización o fusión se obtienen las ocho respectivas matrices de los fundentes cerámicos: cuatro cerámicas (MC) y cuatro fundidas (MF).

Durante los procesos de sinterización y fusión se produce una pérdida de masa de 22 a 33 %, de acuerdo con la composición mineralógica y como consecuencia, fundamentalmente, de la descomposición de los carbonatos (CO<sub>2</sub>) y el desprendimiento del agua adsorbida y absorbida.

El primer grupo de componentes minerales (MP<sub>1</sub>) es la parte invariable de la composición mineral de las mezclas matriciales (MM); conforma la denominada «base matricial» de las matrices de los fundentes, la cual contiene al mineral complejo base (feldespato), que es el que sustenta la premisa de andamiaje estructural del sistema de óxidos de la matriz cerámica (MC) o fundida (MF) del fundente cerámico. En la base matricial está presente la fluorita, que es el mineral fundente cuya función principal es regular la temperatura de fusión y la viscosidad de la matriz. El rutilo contribuye a conformar el andamiaje estructural de la matriz y a favorecer, además, la estabilización del arco eléctrico (Castellanos y otros, 1993).

El contenido individual de los tres minerales restantes que representan el segundo grupo, varía en amplio rango con respecto a la composición de la mezcla primaria del tipo MP<sub>2</sub>; esto contribuye a que se mueva en un gran diapazón la basicidad de la matriz, sin alterar sustancialmente la composición cualitativa del sistema matricial de óxidos (SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO), que conforma entre 75,54 y 80,61 % de la composición química de las ocho matrices de la formulación (Tablas 3 y 4).

TABLA 3. Composición mineral de las mezclas matriciales (MM)

Mezclas primarias	Componentes minerales	Contenido en [%]			
		MM-1	MM-2	MM-3	MM-4
MP del tipo 2 (60 %)	Dolomita	15	20	25	30
	Calcita	15	20	25	30
	Cuarzo	30	20	10	0
MP del tipo 1 (40 %)	Feldespato	25,42	5,42	25,42	25,42
	Rutilo	6,67	6,67	6,67	6,67
	Fluorita	8,91	8,91	8,91	8,91
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLA 4. Composición química de las matrices cerámicas (MC) y fundidas (MF) obtenidas por sinterización y fusión respectivamente, y sus correspondientes valores de basicidad, determinados según la ecuación reportada por Frolov [4]

Óxidos	Matrices cerámicas				Matrices fundidas			
	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MF-1	MF-2	MF-3	MF-4
SiO <sub>2</sub>	51,03	42,98	30,34	23,34	52,92	44,35	31,09	24,27
TiO <sub>2</sub>	5,51	6,88	7,66	7,68	6,75	7,10	7,86	7,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,21	6,58	7,38	7,43	6,44	6,79	7,56	7,73
CaO	16,98	22,38	31,07	35,98	17,61	23,09	31,84	37,42
MgO	3,61	4,86	6,75	7,39	3,64	5,02	6,92	7,69
Na <sub>2</sub> O	1,23	1,30	1,45	1,45	1,23	1,27	1,49	1,51
K <sub>2</sub> O	1,17	1,23	1,38	1,40	1,21	1,27	1,41	1,44
CaF <sub>2</sub>	9,77	10,28	11,47	11,51	10,05	10,61	11,70	11,90
PPI	2,57	2,48	2,23	1,21	0,06	0,09	0,05	0,07
Total	99,98	99,97	99,73	99,72	99,96	99,49	99,91	100,02
Basicidad	0,55	0,85	1,52	2,12	0,57	0,84	1,54	2,10

De cada una de las cuatro mezclas matriciales se obtuvo una réplica, y resultaron ocho muestras. De estas se seleccionó un juego de cuatro y se obtuvo, a partir de ellas, cuatro briquetas, que se sometieron a un proceso de sinterización, a 1 073 K durante 4 horas, y se obtuvieron las cuatro matrices cuasicerámicas, estas presentaron un grado de sinterización de 90 % y resultaron, a la vez, de fácil trituración. Las cuatro restantes mezclas-rélicas se fundieron individualmente en un horno de arco eléctrico, a 1 870 K y posteriormente se vertieron en agua a 300 K; se obtuvo una masa granulosa vítreo-porosa muy frágil. Tanto las réplicas cuasicerámicas (MC) como las fundidas (MF) se trituraron, primero en un molino de quijada, hasta una granulometría menor de un milímetro, y después en un pulverizador de disco hasta un tamaño de grano < 0,15 mm.

El 79 % de polvo de las cuatro MC y de las cuatro masas vítreas se mezcló con 21 % del polvo de la carga aleante, durante más de dos horas, en un mezclador cilíndrico, hasta lograr una alta homogeneidad (Tablas 4 y 5). Las ocho mezclas resultantes se sometieron a un proceso de peletización empleando como aglomerante vidrio líquido, cuya composición química es de 29,87 % de SiO<sub>2</sub>, 10,34 % de Na<sub>2</sub>O y 59,79 % de agua.

La calcita y la dolomita, al descomponerse en los procesos de obtención de las matrices, actúan como minerales fundentes y contribuyen aportando, prácticamente, óxidos libres como modificadores estructurales e incrementando el carácter básico de la matriz. El contenido de estos óxidos en la matriz ayuda a garantizar, por el relativo bajo potencial de ionización de sus elementos metálicos, la estabilidad del arco eléctrico en el proceso de soldadura. El contenido de cuarzo, por el contrario, influye reduciendo el carácter básico de la matriz, aporta a la consolidación del enrejado estructural de ella e incrementa la viscosidad y temperatura de fusión.

En una peletizadora se añadió, a cada una de las masas de polvo seca y homogeneizada de las matrices con sus respectivas cargas aleantes, 30 % de vidrio líquido como aglomerante, en forma de chorro de microgotas dispersas (spray).

TABLA 5. Contenido másico y químico de los componentes de la carga aleante de los fundentes cerámicos

Componentes	Contenido [%]	Contenido químico [%]			
		S	P	Si	C
Ferrocromo (54 % Cr)	47,62	0,014	0,019	3,0	4,3
Ferromanganeso (75 % Mn)	28,57	0,30	0,45	4,0	1,0
Grafito (100 % C)	23,81	-	-	-	-
Total	100,00	0,314	0,469	7,0	100

Los granos verdes (pelets) de los fundentes obtenidos por peletización, contienen un 76,92 % de matriz, más carga aleante y 23,08 % de vidrio líquido. Al secarse estos granos verdes a 300 °C el contenido de la matriz aumenta hasta 71,71 %, el de la carga aleante disminuye hasta 19,05 % y el de los

componentes sólidos del aglomerante alcanza 9,23 % (SiO<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>O).

El tamaño de los granos calcinados se selecciona mediante dos tamices cuyas mayas presentan una abertura de 0,2 y 2,5 mm respectivamente. Los granos mayores que 2,5 mm y menores que 0,2 mm, fueron separados. Como promedio estos representan 7,8 % de la masa de los granos calcinados útiles.

Con cada uno de los fundentes se realizaron las pruebas soldadas en una máquina de soldadura automática por arco sumergido, empleando como material base un acero de bajo contenido de carbono (Ct-3) y un alambre-electrodo, también de bajo contenido de carbono (Cb-08), materiales no aleados, cuyas composiciones químicas se muestran en la Tabla 6.

**TABLA 6. Análisis químico del alambre-electrodo y del material base empleados en la realización de los depósitos multicapa**

Materiales	Composición química [%]		
	C	Si	Mn
Alambre-electrodo	0,08	-	0,50
Material base	0,18	0,21	0,53

Por la SAW se realizaron depósitos multicapas, es decir, unos sobre otros, hasta el tercero, para menguar la influencia del metal base sobre el último cordón a analizar. Para tal propósito se empleó un régimen de soldadura cuyos valores paramétricos se expresan a continuación:

- Intensidad de corriente (I) ..... 375 A
- Voltaje (V) ..... 31 V
- Velocidad de soldadura (Vs) ..... 30 m/h

Se realizaron los análisis químicos a las virutas del tercer cordón. Los resultados aparecen expuestos en la Tabla 7.

**TABLA 7. Análisis químico del tercer cordón de los depósitos multicapa realizados con fundentes cerámicos de diferentes tipo de matrices**

Elementos	Fundentes cerámicos							
	Matriz cerámica				Matriz fundida			
	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MF-1	MF-2	MF-3	MF-4
Cr	2,25	2,36	2,68	3,18	2,28	2,31	2,27	3,24
Mn	0,74	0,81	1,22	1,78	0,78	0,86	1,32	1,95
Si	0,51	0,4	0,31	0,28	0,42	0,34	0,26	0,24

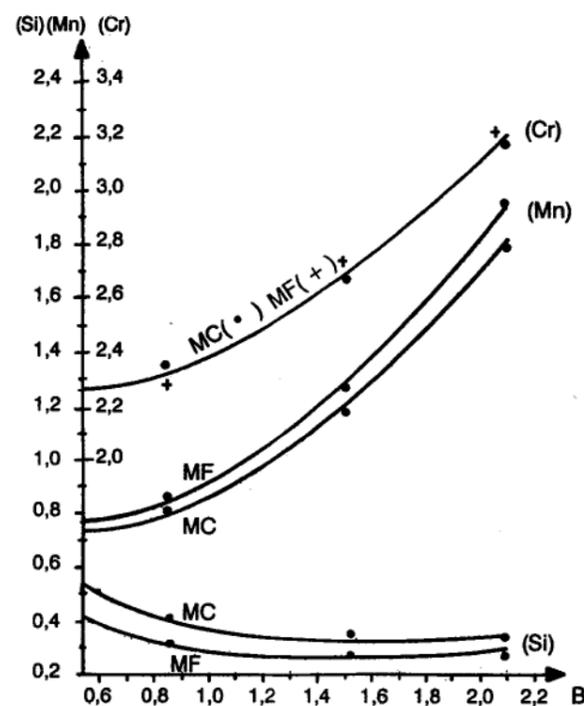
**Análisis de los resultados**

Los resultados del análisis químico de las sustancias y minerales empleados, así como las características de los componentes de la carga aleante, aparecen tabulados (Tablas 1 y 5, respectivamente). La caracterización

del vidrio líquido como aglomerante contribuye a valorar el aporte en SiO<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>O. Con todos estos datos analíticos es posible realizar el recálculo de la composición química del fundente cerámico y valorar su basicidad y actividad química.

La pequeña diferencia que se observa en la composición química entre las réplicas tratadas térmicamente de diferente forma, se debe, en lo fundamental, a que el contenido de componentes volátiles (PPI) de las matrices cerámicas es superior al de las matrices fundidas. Si se plotean los resultados de los análisis químicos de los cordones del tercer depósito (Tabla 7), contra los valores de basicidad de cada matriz (Tabla 4), se observa cierta tendencia entre estos parámetros.

En la Figura 2 se puede apreciar, independientemente del tipo de matriz del fundente cerámico, que el aumento de la basicidad disminuye el contenido de silicio en el cordón; sin embargo, el contenido de manganeso y de cromo aumenta. Esta tríada de elementos presentan un contenido elemental en el cordón, por encima del calculado metalográficamente según las zonas de dilución del cordón (Castellanos y otros, 1997).



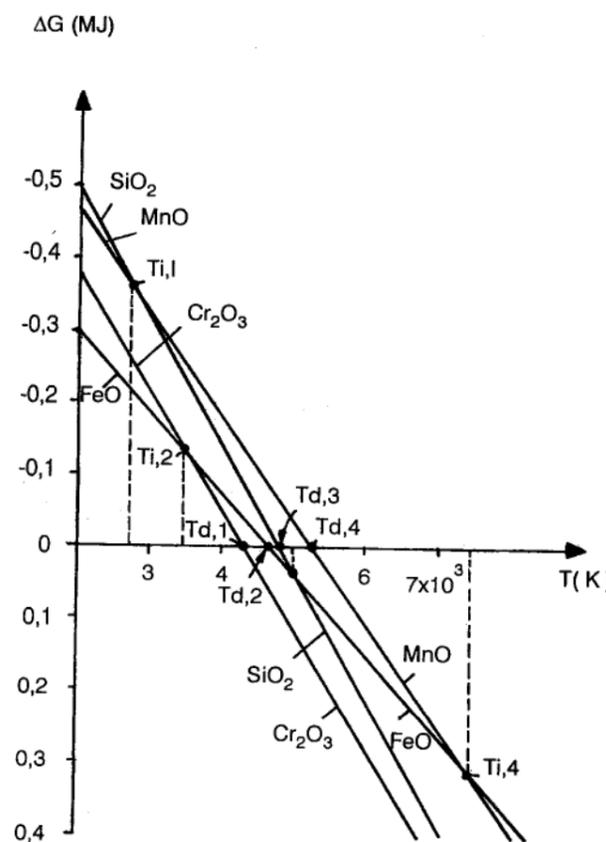
**FIGURA 2. Representación gráfica de la dependencia del contenido elemental del tercer cordón en función de la basicidad (B) y de la matriz cerámica (MC) y fundida (MF).**

Este comportamiento de los tres elementos (Si, Mn y Cr), está asociado a fenómenos de oxidación-reducción (Redox) y a las características matriciales de los fundentes cerámicos.

En primera instancia, el comportamiento Redox entre los elementos está regido por los valores de la energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ), a diferentes temperaturas, de las reacciones siguientes:

- SiO<sub>2</sub> = Si + O<sub>2</sub>;  $\Delta G(\text{SiO}_2) = 859\,300 - 181,66T$  [J].. (1)
- 2 MnO = Mn + O<sub>2</sub>;  $\Delta G(\text{MnO}) = 769\,960 - 148,05T$  [J].. (2)
- 2/3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4/3Cr + O<sub>2</sub>;  $\Delta G(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 737\,218 - 142,09T$  [J].. (3)
- 2 FeO = Fe + O<sub>2</sub>;  $\Delta G(\text{FeO}) = 527\,360 - 114,75T$  [J].. (4)

Según el desarrollo de las curvas  $\Delta G = f(T)$  y la posición relativa de unas con respecto a las otras, en determinados rangos de temperatura, el Fe se comporta como un reductor frente al Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> y MnO; y en otros rangos, el FeO es un oxidante frente al Cr, Si y Mn (Figura 3).



**FIGURA 3. Representación gráfica de la energía libre de Gibbs en función de la temperatura de descomposición (Td) de los óxidos: 1. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2. FeO; 3. SiO<sub>2</sub>; 4. MnO. La temperatura de inversión del carácter Redox entre un par de óxidos se expresa por Ti.**

Para altas temperaturas (> 3 000 K), en la gota metálica y en donde se proyecta con mayor intensidad el arco eléctrico sobre el baño metálico, los átomos de Fe actúan como agente reductor, liberando de los óxidos (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> y MnO) los elementos Cr, Si y Mn, que junto con el FeO formado se disuelven en la gota y en el baño metálico del cordón de soldadura, enriqueciendo en defi-

nitiva el contenido de los elementos reducidos en el baño. Al mismo tiempo, y por las mismas razones, los átomos de Mn presentes reducen el óxido de silicio y de cromo, liberando al silicio y al cromo, lo que contribuye adicionalmente a elevar su contenido en el baño metálico.

- Fe + MnO ----> [Mn] + [FeO] ..... (> 7 300 K) ..... (5)
- 2 Fe + SiO<sub>2</sub> ----> [Si] + 2 [FeO] ... (> 5 000 K) ..... (6)
- 3 Fe + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ----> 3 [Cr] + 3 [FeO] .. (> 3 000 K) ..... (7)
- 2 [Mn] + SiO<sub>2</sub> ----> [Si] + 2 MnO ..... (> 3 000 K) ..... (8)
- 3 [Mn] + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ----> [Cr] + 3 MnO ..... (> 3 000 K) ..... (9)

A temperaturas menores de 3 000 K y cercanas a la temperatura de cristalización del metal líquido (1 800 K), vuelven a convertirse nuevamente el [Mn] y el [Si], presentes en el baño metálico, en agentes reductores frente al [FeO] disuelto, a pesar de que ya una parte de él ha sido extraída, a causa de la apreciable solubilidad que presenta el (FeO) en las escorias con contenidos de SiO<sub>2</sub> mayores de 20 %, formando forsterita. Todas estas interacciones se pueden formular por las ecuaciones siguientes:

- [Mn] + [FeO] ----> Fe + (MnO) .... (< 2 000 K) .... (10)
- [Si] + 2 [FeO] ----> 2 Fe + (SiO<sub>2</sub>)..... (< 5 000 K) .... (11)
- (SiO<sub>2</sub>) + [FeO] ----> (FeSiO<sub>3</sub>) ..... (< 3 000 K) .... (12)

A causa de la intensidad de las reacciones en las regiones de alta y baja temperatura es diferente, y de la extracción previa del [FeO] por el (SiO<sub>2</sub>) de la escoria, es que el balance del contenido de [Mn] y [Si] en el cordón será algo mayor que el que debían aportar el alambre, el cordón y la misma carga aleante correspondiente a un hipotético fundente cerámico de matriz neutra y sin contenido de SiO<sub>2</sub>.

La existencia de un exceso de óxidos básicos en la matriz, proporciona una mayor disponibilidad de oxígeno reactivo al medio circundante, y hace disminuir el contenido de Si en el cordón.

En un medio ácido el SiO<sub>2</sub> reacciona con el MnO formando los compuestos rodonita (MnSiO<sub>3</sub>) y treforita (Mn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), disminuye las concentraciones disponibles de Mn en el medio circundante y aminora las posibilidades de que este se disuelva en el baño metálico; de ahí el decrecimiento de su contenido en el cordón de soldadura.

En la transferencia de los elementos [Si] y [Mn] al metal, también influyen las características estructuroquímicas de los diferentes tipos de matrices de los fundentes cerámicos.

La matriz cuasicerámica presenta un estado metaestable amorfo, que no ha concluido con el establecimiento del estado final cerámico sin haber finalizado la consolidación química y estructural de las diferentes fases. Esto se expresa a favor de que el puente de oxígeno -Si-O-Me- es más débil en la cuasicerámica que en la matriz vítrea. Con la ruptura del puente de oxígeno se

proporciona SiO<sub>2</sub> mucho más reactivo y capaz de reaccionar o descomponerse más intensamente a temperaturas menores, por lo que a altas temperaturas provoca, por interacción, una disminución mayor de la disponibilidad del Mn, que puede ser transferido al baño metálico (ver ecuación 8).

Tanto las características estructuroquímicas como las termodinámicas de las matrices, a distintos rangos de temperatura, se conjugan para definir el grado de transferencia de los elementos químicos al cordón de soldadura.

El mayor nivel de transferencia del Cr se debe, fundamentalmente, a la relativa menor posibilidad que presenta el cromo de oxidarse a temperaturas mayores de 3 000 K, es decir, a la poca estabilidad del Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> frente a los demás óxidos analizados donadores de oxígeno a altas temperaturas.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ALOB, A.A.: *Fundamentos de la teoría de los procesos de soldadura*, Construcción de Maquinarias, 272 pp. (en ruso), Moscú, 1964.
- CASTELLANOS, G. y otros: «Alternativas de cálculo de los coeficientes de transferencia de elementos aleantes en la soldadura automática por arco eléctrico bajo fundentes HF-600», *Revista Construcción de Maquinarias*, 1997.
- : *Consideraciones teóricas sobre los coeficientes de transferencia en fundentes cerámicos*, V Simposio de Soldadura, CIS-UCLV, feb., 1993.
- FROLOV, V.V.: *Teoría de los procesos de soldadura*, 559 pp., (en ruso), Editorial Escuela Superior, Moscú, 1988.
- KULIKOV, I.C.: *Termodinámica de óxidos*, 342 pp. (en ruso), Editorial Metalurgia, Moscú, 1986.
- POPATOV, N.N.: *Materiales para la soldadura por arco: gases protectores y fundentes para la soldadura*, vol. 1, 545 pp. (en ruso), Editorial Construcción de Maquinarias, Moscú, 1989.

**CONTACTE  
CON NOSOTROS**



**Usted podrá recibir servicios y productos  
en las siguientes actividades:**

**Centro de Investigaciones del Petróleo**

Washington #169 esq. a Churrucá,  
Municipio Centro Habana, 12000, Cuba.

TELÉFONOS:

Pizarra: 40 4500, 40 4520, 40 4544  
Dirección: 41 1132  
Fax: (537) 66 6021

## Características reológicas de las colas de la Empresa Ernesto Che Guevara

**Enrique Torres Tamayo\***  
**Raúl Izquierdo Pupo\***  
**Marnoidis Ortiz Cobas\***  
**Ramón González Arce\***

\*Profesores del Departamento de Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

**RESUMEN:** Se realiza el estudio reológico de las colas obtenidas en la última etapa del proceso de lavado hasta la planta de recuperación de amoníaco de la Empresa Ernesto Che Guevara; se determinó experimentalmente el comportamiento del esfuerzo cortante y la viscosidad aparente en función del gradiente de velocidad para diferentes valores de densidad. Las corridas experimentales se realizaron en un viscosímetro rotatorio Rheotest (alemán). Se obtuvo que el comportamiento de estos materiales corresponde al de los plásticos reales, para una densidad superior a 1 465 kg/m<sup>3</sup>, y se pudo ajustar al modelo de Bingham. Para valores de densidad menores que este, el comportamiento es pseudoplástico, según el modelo de Ostwald de Waele.

**ABSTRACT:** The results of the research of modification of hydraulic transportation of the waste obtained during the last stage of wash process toward the ammonia recuperation plant in Ernesto Che Guevara nickel plant are shown in this paper. A reological study of the waste was carried out with the objective of determining by means of different experiments the behaviour of stress shear and the apparent viscosity in function of the velocity gradient for different density values. The experiments were carried out in a Rheotest rotatory viscosimeter. The reological behaviour of waste corresponds to that of the real plastic for a density higher than 1 465 kg/m<sup>3</sup>. It is possible to adjust it to Bingham's model. We take into consideration of the Ostwald's model the viscosity is lower than 1 465 kg/m<sup>3</sup>, for pseudoplastic behaviour.

#### INTRODUCCIÓN

El esquema de bombeo de las colas consta actualmente de dos partes: la primera comprende desde la última etapa de los sedimentadores hasta los tanques de cola, y la segunda, desde estos hasta los alambiques situados en la planta de recuperación de amoníaco.

Cuando la planta de recuperación de amoníaco presenta problemas de tupición, ponchadura de los tubos u otros que le impiden recibir las colas, estas se almacenan en tanques y, una vez agotada la capacidad de almacenaje, se vierten a la presa de colas sin la previa recuperación del amoníaco. Esta situación conlleva la necesidad de modificar el esquema de bombeo para evitar así la pérdida del amoníaco contenido en las colas.

La literatura disponible acerca de esta temática es escasa y los autores plantean modelos diferentes para describir las curvas de flujo. A causa de que en las propiedades reológicas de las colas influye una serie de factores, como la calidad de agua empleada, la composición química, la densidad y el tamaño de las partículas, entre otros, es necesario obtener por vía experimental los datos que permitan trazar las curvas de flujo que caracterizan dichas colas, así como el modelo reológico que las describe.

El objetivo de este trabajo es determinar, precisamente, de forma experimental, el comportamiento reológico de las colas en función del gradiente de velocidad, para diferentes valores de densidad y establecer el modelo que describe tal comportamiento.

#### Elaboración de los datos experimentales

Las curvas de flujo se obtuvieron con un viscosímetro rotatorio, utilizado para determinar la viscosidad dinámica de líquidos newtonianos y para investigaciones reológicas de líquidos no newtonianos.

Las propiedades reológicas de una sustancia pueden ser investigadas de dos formas: mediante un sistema de medición de cilindro de searle, o mediante un sistema de cono y placa. Este equipo es accionado por un motor sincrónico con conmutación del número de polos a través de un engranaje de cambio de doce escalonamientos, de manera que están disponibles, en total, 24 diferentes regímenes o gradientes de velocidad. Las curvas de flujo se obtienen de los datos que proporcionan los ensayos experimentales.

La tensión tangencial ( $\tau$ ) en la sustancia se obtiene por la fórmula:  $\tau = 0,1 \cdot Z \cdot \alpha$ . La constante del cilindro ( $Z$ ) depende de las medidas del cilindro y de la constante del resorte del dinamómetro; esta se especifica para cada dispositivo de medición en el certificado de ensayo.

El gradiente de velocidad ( $D$ ), que muchas veces también es denominado velocidad de deformación, da el gradiente de la velocidad en la hendidura anular. Depende de las medidas del sistema del cilindro y es proporcio-