



## PARÁMETROS ASOCIADOS A LA VISCOSIDAD DE MATERIALES VÍTREOS: CASO DE ESCORIAS SIDERÚRGICAS

Edgardo Benavidez\*<sup>(a)</sup>, Leandro Santini<sup>(a)</sup>, Marcelo Valentini<sup>(a)</sup>,  
Elena Brandaleze<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup>Dto. Metalurgia y Centro DEYTEMA, Fac.Reg. San Nicolás (UTN), Colón  
332, San Nicolás 2900, Argentina.

\*E-mail: [ebenavidez@frsn.utn.edu.ar](mailto:ebenavidez@frsn.utn.edu.ar)

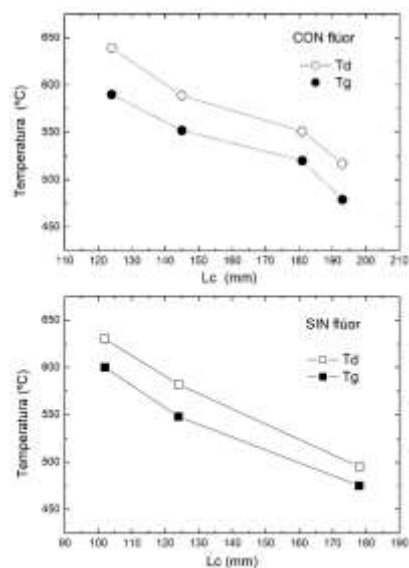
Los materiales del presente estudio son escorias sintéticas conocidas como “escorias de molde”, “polvos coladores” o “polvos de molde”, debido a que las mismas son usadas en las máquinas de colada continua de aceros. Una de las funciones más importantes que deben cumplir estas escorias es la de lubricar adecuadamente la interfaz entre el acero en solidificación y la pared del molde de cobre. Para eso, debe presentar una viscosidad adecuada para generar un producto sin defectos superficiales o evitar problemas de perforación del molde. Por este motivo, es importante conocer la viscosidad de estos materiales en el rango de 1200-1400 °C, siendo la viscosidad a 1300 °C un dato importante en la selección de estas escorias para su uso en la industria del acero. Ese dato se complementa con el tipo de acero a colar, la velocidad de extracción de calor desde el acero al molde y la velocidad de colada, entre otros parámetros de operación. De acuerdo a su estructura, estas escorias pueden clasificarse como vidrios o vidrios-cerámicos, dado que durante su solidificación los mismos presentan, de acuerdo a su composición química de partida, una estructura totalmente amorfa o parcialmente cristalizada. Los polvos comerciales contienen flúor (F), elemento que les brinda ciertas características de fluidez y grado de cristalización; sin embargo se están estudiando, por razones medioambientales, nuevas composiciones con bajo o sin contenido de flúor [1]. La medición de la viscosidad de estas escorias, a altas temperaturas, es un trabajo que conlleva ciertas dificultades experimentales y un considerable tiempo para su determinación, razón por la cual se han desarrollado varios modelos basados, principalmente, en su composición química [2]. Otra manera de estimar la viscosidad, es a través de ensayos de fluidez (inversa de la viscosidad) por medio del método del plano inclinado [3]. Por medio de esta técnica, la escoria (polvo) es fundida a una determinada temperatura, generalmente 1300 °C, para luego volcarla sobre un plano inclinado de acero. La longitud de la capa vítrea o parcialmente cristalizada (Lc), obtenida por enfriamiento brusco, indica el grado de fluidez del material fundido. Esto permite, de manera rápida, conocer y comparar la fluidez de diferentes polvos coladores. Como materiales de estudio se seleccionaron 4 escorias de molde con diferentes porcentajes de flúor (una de ellas preparada en el laboratorio y tres de origen comercial) y 3 escorias sin flúor (todas ellas diseñadas en el laboratorio) en los cuáles el F es reemplazado por diferentes contenidos de boro (B) y/o litio (Li). En el presente trabajo se analiza la relación de la longitud de las capas obtenidas en los ensayos de plano inclinado con la viscosidad estimada a partir de la composición química de las distintas escorias. Los valores de Lc también son relacionados con otros parámetros determinados a partir de las capas de vidrio obtenidas tras el templado desde 1300 °C. Los parámetros seleccionados fueron: la temperatura de transición vítrea (Tg), la temperatura de ablandamiento dilatométrico (Td), el coeficiente de dilatación térmica lineal ( $\alpha$ ) y el coeficiente de dilatación medio ( $\alpha_M$ ) determinado a la temperatura de transición vítrea. Estos datos se determinaron a partir de dilatometrías a velocidad de calentamiento constante de 10 °C/min sobre capas vítreas obtenidas en el ensayo del plano inclinado. Para una mejor interpretación, los materiales se dividieron en dos grupos: escorias *con flúor* y *sin flúor*.

Los resultados obtenidos indican una muy buena relación entre los valores de fluidez (longitud de la capa) con los valores de viscosidad estimados a partir de un modelo basado en su composición química. Por otro lado, en las curvas dilatométricas de las capas vítreas se distinguen tres etapas. La primera se caracteriza por una velocidad de expansión constante hasta la alcanzar la Tg. A partir de esta temperatura, la curva dilatométrica aumenta notablemente su velocidad de dilatación (segunda etapa) hasta alcanzar un máximo en su expansión a la temperatura de ablandamiento dilatométrico. Cuando se supera la Td la curva dilatométrica comienza una tercera etapa, de contracción, indicando que el vidrio se deforma por el descenso en su viscosidad. De la primera etapa de crecimiento lineal se puede calcular el coeficiente instantáneo de dilatación térmica ( $\alpha$ ) por medio de un ajuste lineal de la curva dilatométrica.

La figura presenta los valores de Tg y Td en función de la longitud de la capa, correspondientes a las muestras con y sin flúor. Se observa que a medida que la escoria es menos viscosa (mayor Lc) el valor de ambas temperaturas disminuye. Una interpretación a este comportamiento surge a partir de considerar que la viscosidad (a 1300 °C) se asocia a la intensidad en sus enlaces y al grado de complejidad de la estructura vítrea. Por otro lado, la Tg indica que el vidrio ingresa a la zona viscoplástica, mientras que la Td señala el ingreso a la zona de “ablandamiento” del material. De esta manera, menores valores de Tg y Td estarían asociados a estructuras menos complejas y/o enlaces de menor intensidad, lo que se manifiesta, a mayor temperatura, en una menor viscosidad del material fundido.

Por otro lado, para las escorias con y sin flúor, los valores de los coeficientes de dilatación lineal,  $\alpha$  y  $\alpha_M$ , presentan mayores valores a medida que se incrementa el valor de Lc (disminución de la viscosidad). Una justificación similar, basada en la intensidad de los enlaces, puede ser considerada. Así, un mayor valor del coeficiente de dilatación térmica, en el estado sólido, se asocia a una menor intensidad de los enlaces entre los iones de la estructura vítrea. Esta baja intensidad de los enlaces se traduce, en el estado fundido del material, en una menor viscosidad.

El trabajo también analiza el comportamiento de la viscosidad, así determinado por los valores de Lc medidos, con otros parámetros como el NBO/T (oxígenos no-ligados por cada tetraedro silicato) y la temperatura de fluidez (determinada por microscopía de alta temperatura).



Valores de Tg y Td en función de Lc de escorias con y sin flúor.

[1] E. Benavidez, L. Santini, M. Valentini, E. Brandaleze, *Proc. Mater. Sc.*, 1 (2012), 389.

[2] T. Iida, *J. High Temperature Soc.*, 25 (2000), 93.

[3] K.C. Mills, M. Halali, H.P. Lörz, A. Kinder, R. Pomfret, B.Walker, 5th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, Sydney, Australia, 1997, p. 535-542.

**Palabras clave:** vidrios, escorias, viscosidad, dilatometría