

# **Simulación del canal del alto horno n° 2 por medio de modelos físicos**

**Juan S. Sylvestre Begnis**

Ingeniero mecánico, Instituto Argentino de Siderurgia  
San Nicolás, Buenos Aires, Argentina CEP 2900 MAD  
sylvestre@siderurgia.org.ar

**Elena Brandaleze**

Ingeniera metalúrgica, Instituto Argentino de Siderurgia  
San Nicolás, Buenos Aires, Argentina CEP 2900 MAD  
brandaleze@siderurgia.org.ar

---

## **Resumo**

En la operación de los canales de alto horno se busca disminuir las pérdidas metálicas en la escoria, que pueden llegar al 2,5% y también reducir o eliminar el arrastre de escoria con el arrabio líquido, lo que puede implicar un aumento de costo en los tratamientos aguas abajo. También es importante minimizar las reparaciones de paredes y piso, apuntando a una mayor vida útil. Se construyó un modelo del canal del alto horno N° 2 de Siderar en escala 1:5. Para determinar el caudal, se tuvieron en cuenta los números de Froude y Reynolds. El modelo permite simular diferentes condiciones de colado, dando información sobre zonas turbulentas y sobre la separación y arrastre de escoria. Se hizo un ensayo con condiciones de colado que simulan 10 t de una mezcla de 60% de metal y 40% de escoria. Se usó aceite para representar la escoria. Se observó el flujo en cada zona: piquera y comienzo del canal, zona de impacto del chorro, zona de separación de escoria y metal, y las zonas de los canales de escoria, skimmer, y la salida al canal de arrabio.

**Palavras-chave:** canal, alto horno, simulación, modelo de água.

## **Abstract**

In the operation of the blast furnace through the aim is to diminish metal losses with the slag, that can be as high as 2.5% and to reduce or eliminate the slag carry over, that leads to an increase in the cost of downstream treatment. Another important issue is to minimize the need for repairing the walls and floor, in order to increase their life. A physical model of the Siderar blast furnace N° 2 through was constructed on 1:5th scale. To determine the flowrate, Froude and Reynolds similarity criteria were taken. The model allows simulation of different casting conditions, giving information about turbulent zones as well as slag separation or entrainment. A trial was made simulating a casting rate of 10 metric tons per minute for a mix of 60% metal and 40% slag. Oil was selected to simulate the slag. The fluid flow was observed in each zone: taphole and first part of the runner, zone of jet impact, zone of separation of slag and hot metal, and the zones of slag runner, skimmer and exit to the hot metal runner.

**Key words:** runner, blast furnace, simulation, water model.

## **1. Introdução**

En la operación de los canales de alto horno se tiende a disminuir las pérdidas metálicas asociadas a la escoria donde llegan a reportarse valores de hasta 2,5% y también reducir o eliminar el arrastre de la escoria con el arrabio líquido, lo que puede traer un importante aumento de los costos en los tratamientos aguas abajo. También es importante detectar los mecanismos de desgaste tanto

químico como mecánicos de las paredes y piso con la idea de minimizar las reparaciones apuntando a una mayor vida útil de los mismos. Los fenómenos como abrasión – erosión de las paredes pueden deberse a zonas de alta turbulencia o de interacción entre metal-escoria-refractarios. En la zona de interfase en general se desarrolla la mayor corrosión. Los mecanismos mencionados, además van acompañados de penetración, que provoca una densificación del refractario en la cara caliente y finalmente spalling (Banerjee, 1998).

La simulación del flujo de arrabio y escoria puede proporcionar información útil (Kim, 1998; Dash, 1998; He, 2002). Una de las formas de hacerla es mediante un modelo hidráulico. La versatilidad del modelo físico permite realizar la simulación de los flujos de arrabio y escoria permitiendo la visualización y dando información útil, como la localización de zonas turbulentas que están asociadas a desgastes prematuros de la pared refractaria, medir la eficiencia en la separación o arrastre, así como aplicar alteraciones en el proceso o geometría actuales y observar el funcionamiento del nuevo sistema.

La idea principal de este estudio es la de comprender los fenómenos que se desarrollan dentro del canal, como el efecto que las distintas variables del proceso puedan tener sobre la separación y desgastes. Se pueden variar las características geométricas, el caudal y la forma del chorro, o las proporciones de escoria y arrabio en la mezcla. Se pretende a partir de los resultados, lograr beneficios orientados a disminuir las pérdidas metálicas, minimizar el pasaje de escoria y aumentar la vida útil de los refractarios.

## 2. Operación del canal

La tarea principal del canal es separar la mezcla de arrabio y escoria proveniente del crisol del alto horno, que a través de la piquera, sale en forma de chorro. Es importante identificar en primer lugar los distintos mecanismos que se presentan en cada una de las zonas del canal. Las figuras 1 y 2 esquematizan este proceso.

La zona de impacto del chorro está entre los 2 a los 6 metros. Este chorro puede ser coherente o un chorro difuso dependiendo de la presión interna, la cantidad de gases atrapados y de la forma de la piquera, que generan mayores o menores distorsiones en el flujo de salida, como se observó en un estudio previo donde se simula el chorro de piquera en escala natural, para distintos caudales y atrapes de gases.

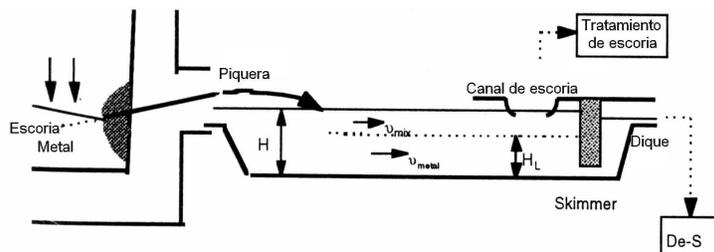


Figura 1. Esquema del proceso del canal de alto horno.

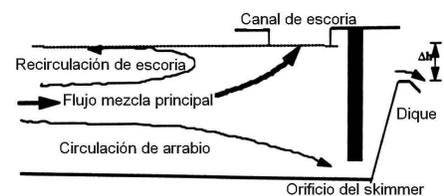


Figura 2. Flujos de escoria y arrabio.

Luego, aguas abajo, se produce la separación de la mezcla afectada por factores principalmente la fuerza de la gravedad, la turbulencia, la longitud propia del canal que define el tiempo de permanencia en el mismo, el impacto o forma del chorro, la posición de la interfase, la proporción de arrabio y escoria proveniente del chorro, las velocidades de los flujos de arrabio y escoria o la mezcla que definen la posibilidad de arrastre de partículas.

### 3. Factores que afectan la separación

Dentro del estudio en modelo de agua un punto a tener en cuenta es que las propiedades de la escoria como viscosidad, tensión superficial, etc., varían debido a los cambios de temperatura. Además el chorro puede distorsionarse ya que puede acarrear gases infiltrados a través de grietas, o por el desgaste de la piqueta. Esto hace que el sistema cambie permanentemente y no se tenga una situación completamente estacionaria. Esto producirá cambios en las condiciones que mejoraran o perjudicarán la separación. Los principales factores son (Kim, 1998):

**Velocidad de asentamiento:** la velocidad que una partícula ya sea sólida, o una gota se mueve en un medio distinto, ya sea para flotar o decantar, depende principalmente de la diferencia de densidades y del tamaño de la partícula. En un régimen laminar estas responden a la "Ley de Stoke", dependiendo de la diferencia de densidades, diámetro de la gota y la viscosidad del medio donde esta se mueve. Por otro lado, se ha reportado en la bibliografía que más del 50% de la masa metálica arrastrada con la escoria corresponde a gotas de un tamaño menor al milímetro.

**Tiempo de permanencia:** el tiempo que las gotas metálicas permanecen en la escoria, y viceversa debe ser tal que permita una efectiva separación durante su permanencia en el canal. Este factor se controla principalmente con las características geométricas del canal, por lo que es mucho más controlable que la velocidad de asentamiento.

**Disipación de energía:** la forma en que es absorbida la energía proveniente del chorro puede afectar a la separación, ya que tiene efecto sobre la cantidad y tamaño de gotas que se mezclan en el flujo y la turbulencia en el canal.

**Turbulencia en el canal:** una gran turbulencia en el canal puede producir una disminución en la flotación de las partículas o gotas debido al efecto de mezclado que provoca, obligando a estas a recorrer remolinos, aumentando por tanto el tiempo de permanencia necesario para la flotación.

**Nivel de la interfase:** el nivel de la interfase (HL, figura 1) determina la velocidad de flujo en cada fase y por lo tanto el balance dinámico de fuerzas entre ambas fases. El nivel cae aguas abajo, teniéndose menor posibilidad de separar las gotas metálicas por el aumento del tiempo de residencia.

**Escoria atrapada en la fase metálica:** si se supera cierta velocidad crítica entre las fases, que depende de la tensión superficial, se generan desprendimiento de gotas que quedan atrapadas en la otra fase.

### 4. Parámetros adimensionales

Las condiciones o criterios de similitud para el empleo de modelos exige que las fuerzas actuantes en el modelo real y el a escala se deben igualar para lograr la correspondencia entre si (Cicutti, 1990; Fox, 1989). Las diversas fuerzas que entran en juego se pueden referir a una de ellas, es decir dividiendo el valor relativo de una fuerza respecto a otra, indicaría su importancia o efecto sobre la partícula y permitiría extrapolar resultados a modelos de diferentes dimensiones y materiales.

En los modelos a escala no es fácil igualar todos estos parámetros adimensionales, sino que se debe optar por aquellos que tengan preponderancia en la propiedad o efecto que se desee estudiar. En el caso del canal, la separación entre el metal y la escoria será el efecto que se busca simular.

El sistema metal escoria es reemplazado por agua y aceite. Las variables que afectan la separación son el tiempo requerido para la separación ( $t_r$ ), la velocidad en la piqueta ( $V_t$ ), la viscosidad cinemática de arrabio líquido ( $\nu_m$ ) y de la escoria ( $\nu_s$ ), la tensión superficial del arrabio ( $\gamma_m$ ) y de la escoria ( $\gamma_s$ ) y la aceleración de la gravedad ( $g$ ) además de la relación de densidades que en caso de cada sistema es fijo. Esto se puede escribir en la forma de (1), o adimensionalizando (2). Los dos

primeros términos son referentes al número de Reynolds y Froude en la piquera y el último grupo es función del número de Froude en el canal. Por lo tanto los criterios de similitud a respetar entre el modelo y real serán:

$$t_r = f(v_t, v_M, v_s, \gamma_M, \gamma_s, g) \quad (1)$$

$$f\left(\frac{g v_M}{v_t^3}, \frac{g v_s}{v_t^3}, \frac{\gamma_s}{\gamma_M}, \frac{g t_r}{v_t}\right) = 0 \quad (2)$$

$$\left(\frac{g v}{v_t^3}\right)_{Real} = \left(\frac{g v}{v_t^3}\right)_{Modelo} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_M}\right)_{Real} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_M}\right)_{Modelo} \quad (4)$$

$$\left(\frac{g t_r}{v_t}\right)_{Real} = \left(\frac{g t_r}{v_t}\right)_{Modelo} \quad (5)$$

Uno de los factores principales que se tuvo en cuenta para la elección de los fluidos fue respetar la relación de tensiones superficiales. En nuestro caso la relación (4) entre arrabio-escoria se encuentra en el orden de 2 a 2,8. Se eligió un aceite que mantenga dicha relación con el agua. Esto tiene en cuenta el tamaño de las gotas que se forman dentro del seno del líquido además, si la energía turbulenta o el Reynolds es similar en la piquera dará una distribución de gotas similares.

La relación entre las densidades, define la velocidad de ascenso para cada tamaño de gota. Encontrar un fluido que respete ambas condiciones, en cuanto a la relación de densidades y tensiones superficiales es lo ideal. Si no se conserva la relación de densidades, como en nuestro caso, se pueden variar las dimensiones del canal para conservar el tiempo de flotación de las gotas, o realizar mediciones a cierta distancia de la zona de impacto del chorro y predecir que zona se está representando del canal real. Dado que en nuestro caso el canal conserva la relación de dimensiones, en este estudio no se realizaron ensayos de separación.

En tabla 1, se presentan las propiedades de las sustancias que intervienen.

Tabela 1. Propiedades de las sustancias involucradas.

	(Densidad (kg/dm <sup>3</sup> ))	Viscosidad dinámica 10 <sup>-3</sup> Pa.s	Viscosidad cinemática cSt	Tensión superficial mN/m
Arrabio	6,8	4,5	0,662	900 a 1400
Escoria	2,6 a 3	250	96,15	450 a 500
Agua	1	0,89	0,89	72,8
Aceite	0,91	13,5	14,8	28,1

En primer lugar se busca observar el comportamiento general de flujo, se conservó el número de Froude en el canal. Esto permite ver zonas de recirculación que se pueden asociar a desgastes en el revestimiento refractario. Se tomó una condición donde se simula un caudal de 10 t/min de mezcla arrabio-escoria en proporciones de volumen 60% arrabio y 40% de escoria. Calculando se obtiene 2.03 t/min de escoria y 7.97 t/min de arrabio. Dividir por las respectivas densidades se obtiene el caudal volumétrico total que atraviesa la piquera, 1.96 m<sup>3</sup>/min, lo que permite calcular la velocidad

en la misma. En la ecuación (3) el valor de la velocidad en el modelo es la incógnita. Cabe aclarar que los valores de viscosidad cinemática se calculan determinando los promedios para ambas mezclas, promediadas en peso, según la ecuación 6.

$$v_{prom} = \frac{\% Vol_{esc} \times \delta_{esc}}{\% Vol_{esc} \times \delta_{esc} + \% Vol_{arr} \times \delta_{arr}} \times v_{esc} + \frac{\% Vol_{arr} \times \delta_{arr}}{\% Vol_{esc} \times \delta_{esc} + \% Vol_{arr} \times \delta_{arr}} \times v_{arr} \quad (6)$$

Conociendo la velocidad y tamaño de la piqueta en el modelo se puede calcular el caudal volumétrico que deberá salir por la misma. Conociendo que las proporciones de mezcla son 60% y 40% en volumen. Esto nos da un caudal total de 53 l/min de la mezcla, 21 l/min de aceite y 32 l/min de agua.

## 5. Alto horno n° 2

El alto horno de Siderar N° 2 tiene una capacidad de producción de 3,2 t/m3/día dando un valor cercano a 6800 t diarias (Zubimendi, 2003). Posee dos piqueras para la descarga, con dos canales, oeste y sur, similares entre sí. Estos canales poseen una longitud de unos 18 metros aproximadamente (figura 3).

Actualmente se opera con la menor cantidad de coladas por día (10 -9), con longitudes objetivo de 3 metros y con índices de escoriado objetivo mayor a 0,75. La filosofía de operación en la evacuación es de "crisol vacío" pero sin llegar a soplo. Minutos antes de llegar a soplo en una sala de procede a la apertura de la otra sala minimizando así las fluctuaciones de nivel dentro del horno.

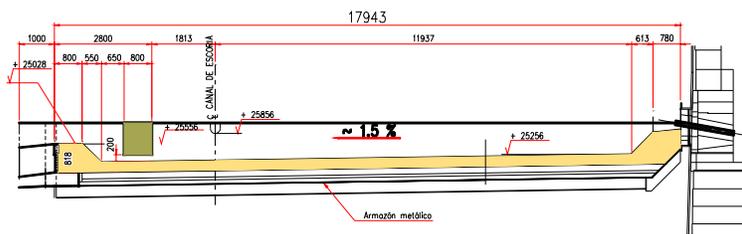


Figura 3. Canal de alto horno 2. Izquierda: Esquema, vista lateral. Derecha: Canal durante parada de mantenimiento.

El canal es construido en material refractario con un revestimiento de trabajo constituido por material proyectable y por un respaldo de seguridad, como se puede apreciar en la figura 4, que representa un corte del canal en la zona cercana al "skimmer".

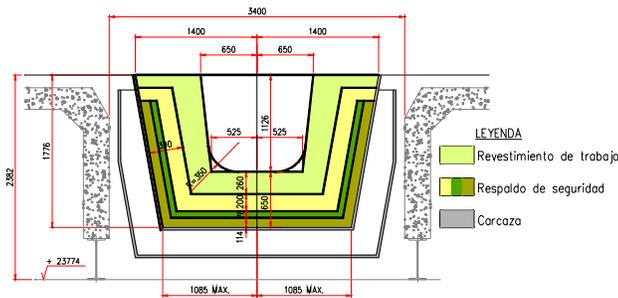


Figura 4. Corte transversal del canal de colada.

## 6. Descripción del modelo hidráulico

El modelo del canal de alto horno N° 2 de Siderar fue construido en escala 1:5, respetando las similitudes geométricas respecto al canal a inicio de campaña. Esta situación a priori se corresponde con la de peor comportamiento respecto a la separación de escoria, debido a que el menor volumen generará un menor tiempo de permanencia, mayores velocidades en los flujos inferior y superior, por ende mayor turbulencia, tendencia al arrastre y pérdida o enmascaramiento en la velocidad de asentamiento.

El modelo se construyó de forma tal que permita simular la operación variando algunos parámetros como caudal de entrada, inclinación, posición del "skimmer", inclinación del talud de salida del canal, etc. En la figura 5 se presenta un esquema.

El circuito del modelo de agua del canal está constituido por un tanque el cual tiene una mezcla de aceite y agua en su interior. Este tanque cuenta con una tapa sellada que permita la presurización del mismo, un sistema de agitado desde el fondo para lograr la mezcla buscada en el modelo y una válvula (2) de venteo para descargar el aire que está ingresando con el objeto de proporcionarle las condiciones necesarias de presurización.

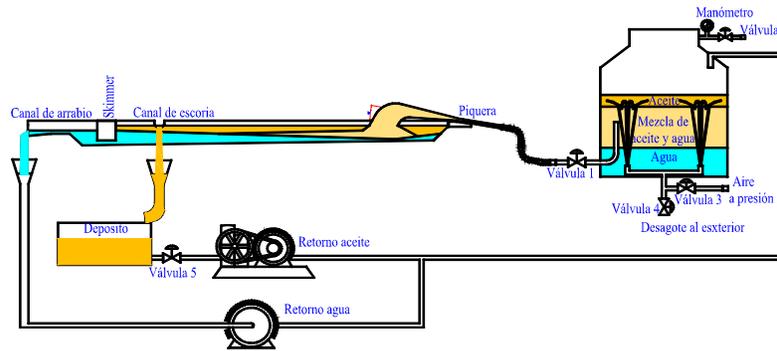


Figura 5. Esquema de funcionamiento del modelo de canal.

La toma de la mezcla está a unos 35 cm del fondo del tanque, como se puede apreciar en el esquema. La salida del tanque pasa por una válvula (1) que regula el caudal al canal, y cuenta en su extremo con un tubo de acrílico que representa la piqueta, dispuesto con una inclinación de 10° sujeto por un dispositivo de agarre, figura 6.



Figura 6. Simulación de la piqueta en el modelo.

El canal de arrabio, por donde circulará el agua, descarga en un caño conectado a una bomba centrífuga, que empuja a este líquido de nuevo al tanque principal. El aceite, que sale por el canal de escoria, cae a un tanque el que está conectado a una bomba a diafragma. Esta bomba si bien genera

un flujo pulsado evita la emulsificación del aceite. Las salidas de ambas bombas se unen en su camino de regreso al tanque.

La descarga a través de la piquera se realiza por diferencia de presiones, sin usarse ninguna bomba, ya que las que se probaron generaban emulsificación. Como se mencionó, una válvula (1) regula el caudal en caso de que sea elevado.

En caso que se necesite un mayor caudal se puede presurizar el tanque cerrando una válvula (2) de venteo, elevando la presión dentro del mismo. Un ejemplo de operación del modelo se ve en la figura 7.



Figura 7. Modelo en operación.

## 7. Estudio en modelo de agua

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta es el efecto de la diferencia de alturas entre el canal de arrabio y el de escoria. El fenómeno de acumulación de escoria en el canal está asociado a dicha diferencia. En los ensayos con modelo de agua esta situación se hace más crítica debido principalmente a que la diferencia de densidades entre el agua y el aceite es mucho menor que la del arrabio con la escoria.

El canal armado a escala y las diferencias entre los canales de arrabio y escoria proporcionales a las reales, se da una situación donde la escoria supera todo el ancho del skimmer resultando en el pasaje de aceite hacia el canal de arrabio. Para tener en cuenta este factor se debe calcular el espesor de la capa de escoria deseada, partiendo de la diferencias de densidades. Un esquema de la situación sirve para aclarar el concepto.

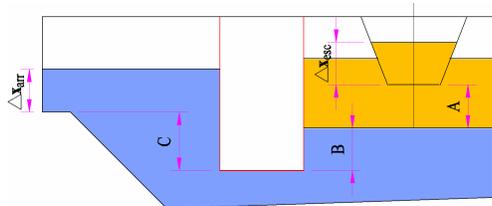


Figura 8. Esquema de la diferencia de niveles entre el canal de escoria y el canal de arrabio.

La altura del flujo en canales abiertos depende de varios factores, es decir  $\Delta x$  depende de la forma de sección, los cambios bruscos o resaltos, los saltos en las mismas, la pendiente, el caudal, etc.

La presión por encima del skimmer debe ser similar en ambos lados, por lo que  $\delta_{arr}(C+\Delta x_{arr})=B+\delta_{esc}(A+\Delta x_{esc})$ . Con esto puedo calcular el espesor de la capa de escoria deseada, lo que me va a determinar la velocidad del flujo en cada capa, la superior de escoria y la inferior de arrabio y esto tener su influencia en el arrastre.

Los ensayos en modelo de agua fueron realizados suponiendo un canal nuevo, sin desgaste. Esto da la situación de mayores velocidades ya que la sección transversal es la menor.

El flujo que sale de la piquera es mezclado por agitado con aire dentro del tanque como se mencionó. La piquera muestra un flujo preferencial del aceite por la parte superior, como se aprecia en la figura 9. El chorro presenta una forma bastante coherente, ya que el tubo no presenta imperfecciones ni es afectado por el ingreso de aire para simular filtraciones de gases en el tubo de piquera.



Figura 9. Flujo de la mezcla agua-aceite por el tubo de piquera.

La zona donde impacta el chorro se encuentra a unos 30 cm del comienzo del canal. La forma donde impacta es elíptica y el flujo sigue bastante homogéneo, situación poco probable en el canal real ya que las distorsiones, rugosidades en la pared de la piquera y el ingreso de gases contribuyen a aumentar la turbulencia.

La zona desde el comienzo del canal hasta donde impacta el chorro es una zona de recirculación, con poco movimiento, se genera una capa de escoria de menor espesor. Es una zona de baja turbulencia en la que el fluido tiene poco movimiento.

El chorro ingresa con un ángulo de  $40^\circ$ , esto depende del flujo en la piquera. En la zona de impacto se genera una alta turbulencia y mezcla del aceite con el agua, una zona que abarca alrededor de 40 a 50 cm. La figura 10 muestra dicha zona. Un chorro coherente tiene una mayor penetración que uno difuso, por lo que la mezcla llega a mayor profundidad debajo de la superficie, hasta el piso del canal.



Figura 10. Zona de impacto del chorro proveniente de la piquera y zona de alta turbulencia.

El ingreso del chorro arrastra aire, como muestra la figura 11, simulación que fue realizada con agua solamente. La zona turbulenta será una mezcla de agua, aceite y aire. La aparición de burbujas en la superficie del canal se observa desde unos 10 a 15 cm del chorro hasta una distancia de 70 cm [5].



Figura 11. Ingreso de aire con el jet.

Las burbujas que afloran a la superficie tienen dirección contraria al flujo normal del canal en la zona cercana al chorro, mostrando que hay recirculación en esa zona y en la dirección del canal a partir de cierta distancia como se indica en la figura 12.



Figura 12. Zona de recirculación de escoria. Izq. Vista superior. Arriba. Vista lateral.

En la zona de impacto, se presenta en forma localizada una zona de alta mezcla, donde se ve el arrastre de gotas de aceite hacia el fondo. El movimiento que se observa dentro del canal en el plano transversal no es sólo de avance en la dirección paralela a la del canal, sino que también genera un movimiento de rotación hacia las paredes laterales, como indica la figura 13, lo que puede contribuir al desgaste de las paredes del canal en dicha zona.

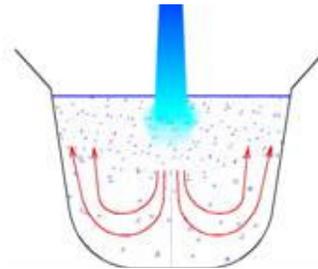


Figura 13. Esquema de circulación del flujo observado en la zona de impacto del chorro en un plano transversal.

El flujo luego de la zona de impacto del chorro se define como dos capas separadas. El espesor de la capa de escoria no es constante, y va variando su espesor. La figura 14, muestra una medición del espesor y de la velocidad de las capas de agua y aceite. El espesor de cada capa viene determinado por la diferencia de altura entre los canales de arrabio y escoria. Se grafica a partir del metro desde donde quedan bien definidas las dos capas.

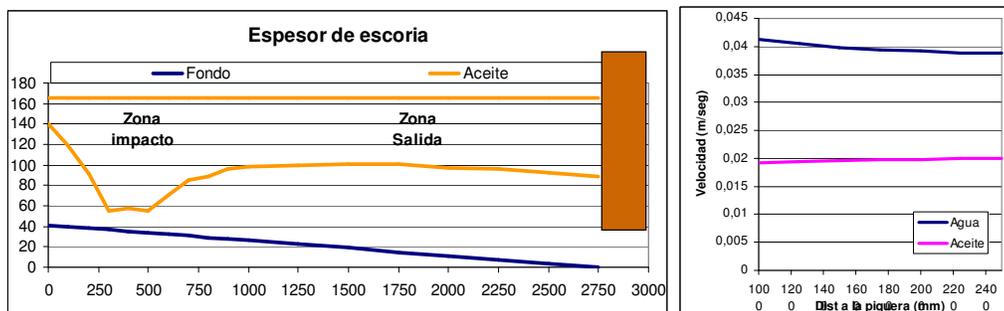


Figura 14. Espesor y velocidad de las capas de aceite y agua a lo largo del canal.

El arrastre de gotas de escoria con el arrabio se da si la diferencia de velocidades entre ambas capas supera cierta magnitud, obligando a la interfase a generar ondas, produciéndose luego el desprendimiento de gotas, fenómeno similar al que se da en el molde de planchones en el colado a baja, media y alta velocidad, como se puede observar en la figura 15.



Figura 15. Deformación de la interfase con el aumento de la velocidad entre las capas. Izq. Interfase plana. Medio. Deformación de la interfase. Der. Deformación con rompimiento.

Cerca de la zona del skimmer la velocidad de la escoria es más baja, por lo que puede haber mayor posibilidad de atrapes y arrastre de escoria con el arrabio. En la figura 16, se aprecia esta situación. La escoria que sale por el canal de escoria es tomada mayormente del flujo que viene aguas arriba y parte de la zona entre el canal y el skimmer. En la figura 13 se aprecia un cambio de coloración en la escoria que se está moviendo respecto a la que está quieta.



Figura 16. Arrastre de escoria con el arrabio.



Figura 17. Flujo hacia el canal de escoria.

El área de pasaje por debajo del "skimmer" es menor al que ocupa el flujo de agua por lo que la velocidad se duplica en esa zona. Esta situación generará una mayor erosión en esta zona. Luego del "skimmer" el flujo se mueve de acuerdo a la figura 18. El arrabio que pasa por debajo del "skimmer" continua por el fondo hasta la pared final con la que choca y es obligado a subir. Gran parte sale por el canal de arrabio y otra cantidad menor hace un giro en el espacio que queda definido por el "skimmer".

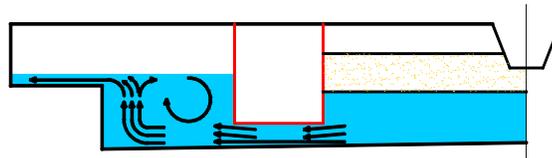


Figura 18. Flujo en la zona posterior al skimmer. Arriba: esquema del flujo. Abajo: Secuencia fotográfica mediante inyección de tinta a 2, 6 y 9 segundos.

## 8. Desgaste en los canales

Se inspeccionaron los canales durante las reparaciones de mantenimiento donde se observaron las zonas más deterioradas y de mayor ataque de la pared que corresponde a la porción comprendida entre los 2 a los 6 metros de la piqueta.

Dados los diversos fenómenos de flujo dentro del canal de alto horno resulta interesante correlacionar los mismos con las velocidades de desgaste en diferentes zonas. Estas velocidades fueron obtenidas de las mediciones de rutina realizadas en planta durante paradas de reparación de los canales. En la figura 19 se puede apreciar las diferentes velocidades de desgaste para las 4 posiciones marcadas en la figura durante varias campañas.

La posición 1 es la que muestra mayor desgaste en general, seguido por la posición 2. Estas dos posiciones se encuentran en la zona de alta turbulencia, a diferencia de las otras dos posiciones que se encuentran más retiradas.

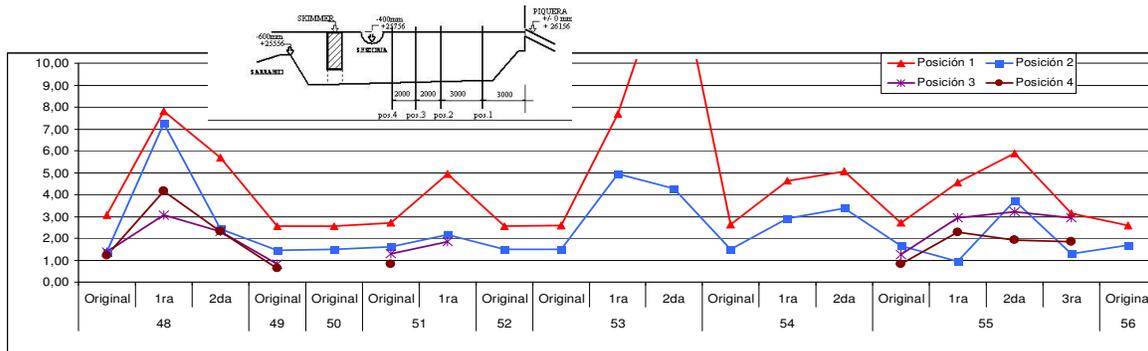


Figura 19. Velocidad de desgaste en el canal de alto para 4 posiciones diferentes en mm/ 1000 ton coladas para las campañas 48 a la 56 del canal Sur.

## 9. Conclusiones

Se construyó el modelo de canal en escala 1:5, respetando la similitud geométrica con el canal real, con las dimensiones que este tiene al inicio de la campaña. Se realizó un ensayo simulando una condición de colada de 10 t/min de una mezcla de arrabio-escoria de 60%-40% en volumen, utilizando a los criterios de similitud de los número de Froude y Reynolds. Se eligió un aceite para representar la escoria de manera que se conservara la relación de tensiones superficiales arrabio-escoria y agua-aceite.

El flujo en el canal fue analizado por zonas: la zona de piqueta y comienzo del canal, zona de impacto del chorro, zona de separación, y las zonas de los canales de escoria, "skimmer", y la salida al canal de arrabio.

En la piqueta se observó una circulación preferencial del aceite por la zona superior. El flujo de salida y el que impacta en la superficie es bastante coherente, por no estar afectado a rugosidades internas del refractario o "clogging" dentro de la piqueta.

En la zona de impacto del chorro se observó alta emulsificación, atrape de aire, altas velocidades y una zona de recirculación de escoria. Luego de esta región aparece el flujo como dos zonas bien determinadas, a lo largo del canal donde se realiza la separación por gravedad.

La mayor parte de la escoria que sale del canal proviene de aguas arriba del canal de escoria, siendo muy bajo el movimiento de la misma entre dicho canal y el "skimmer".

La velocidad del arrabio aumenta al doble en la zona debajo del "skimmer". Al abandonar éste, se dirige directamente al canal de arrabio, quedando una zona o volumen con baja velocidad de circulación detrás del "skimmer".

## 10. Referencias

BANERJEE, S. 1998. *Monolithic Refractories – A Comprehensive Handbook*. Westerville, USA, American Ceramic Society, p. 219 – 241.

CICUTTI, C.; MADIAS, J. y REGGIARDO, H. 1990. Notas Preliminares para el Diseño de un Modelo de Agua de Repartidor. San Nicolás, IAS-Siderar, 14 páginas. [Trabajo interno, Diciembre].

DASH, S. K.; AIMANI, S. K.; KUMAR, A.; GHOSH, S. y PRASAD, H. 1998. Improvement in Blast Furnace Through Life. *Tata Search Journal*, V(1):85-88.

FOX, R.W. et al. 1989. Introducción a la Mecánica de Fluidos. In: R.W. FOX et al., *Análisis dimensional y semejanza*. México, 4ª edic., Mc Graw Hill, p. 281-330.

HE, Q.; EVANS, G.; ZULLI, P.; TANZIL, F. y LEE, B. 2002. Flow Characteristic in the Blast Furnace Trough. *ISIJ International*, **42**(8):844-851.

KIM, H.; OZTURK, B. y FRUEHAN, R. J. 1998. Slag-Metal Separation in the Blast Furnace Through. *ISIJ International*, **38**(5):430-439.

ZUBIMENDI, J.L.; VELO, E.; AMETRANO, R.; LINGIARDI, O.; GIANDOMENICO, F. y GONZÁLEZ, J.M. 2003. Alto horno 2 de SIDERAR. Extensión de Campaña vs Productividad. In: *4th IAS Ironmaking Conference Proceeding*, San Nicolás, Argentina, p. 336-344.

Submissão: 11/05/2006

Aceite: 07/08/2006