

# MECANISMO Y REDUCCIÓN DE ESCORIAS INSOLUBLES PARA UN METAL MÁS LIMPIO



**Dr. R. L. (Rod) Naro  
y Dave C. Williams**

ASI International, Ltd.  
[www.asi-alloys.com](http://www.asi-alloys.com)



## **Puntos sobresalientes del Artículo:**

1. Cómo combatir los óxidos y escorias insolubles en fundiciones ferrosas y no-ferrosas
2. Comprendiendo el mecanismo de la adherencia del crecimiento de escorias insolubles en el metal fundido
3. Una explicación mecánica de la formación de las escorias

Durante muchos años, los fundidores tanto ferrosos como no-ferrosos le han hecho frente a los inconvenientes de los óxidos o escorias insolubles diariamente, de manera continua durante los procesos de fusión y de colado. Dependiendo del segmento de la industria, los fundentes se han convertido en una parte vital de lograr un metal limpio, de calidad. Otros se están adaptando lentamente a usar la tecnología de los fundentes como herramienta de limpieza.

Las fundiciones de hierro gris consiguieron manejar la adherencia de escoria en varias facetas de fusión y colado de metal fundido. Ya sea en horno de inducción coreless, a canal o fusión en cubilote, los fundentes se

volvieron necesarios durante la carga de materiales para alcanzar la calidad deseada y el tratamiento metalúrgico deseado. En las aplicaciones de colado, el agregado de fundentes ha ayudado a aliviar las adherencias en cucharas o recipientes con pobres condiciones térmicas.

## **MECANISMO DE ADHERENCIAS INSOLUBLES EN EL METAL FUNDIDO**

La escoria se adhiere y acumula en las paredes del horno y en las vueltas del inductor a partir de las fases de escoria emulsionadas en el metal fundido en un proceso clásico de nucleación y crecimiento de un cristal. Puede ser simplificado en dos explicaciones: la teoría termodinámica y la teoría mecánica.

La explicación termodinámica de la adherencia y acumulación de escoria:

Al considerar las razones de la formación inicial de adherencia, son esenciales tanto el mecanismo de sedimentación como la termodinámica. El fenómeno de la adherencia en un horno de canal se relaciona al tipo de óxidos insolubles que se forman o se introducen con el metal fundido. Las consideraciones termodinámicas son de obvia importancia al predecir los minerales complejos presentes en las adherencias de escoria.

Cuando se funde el metal, luego de que las fases iniciales líquidas de escoria comienzan a precipitar como los núcleos iniciales, seguidos por una fina película sólida o substrato en cualquier superficie del refractario del horno. Así, la cristalización típica de escorias insolubles crece de manera bastante fácil y rápida. Es válido asumir que los insolubles comenzarán a depositarse, basados en los valores de Energía Libre de Gibbs de Formación para cada uno de los complejos compuestos presentes en el baño. Este vidrio líquido o fase de escoria va a nuclearse y crecer en las adherencias depositadas debido a que la superficie de la

escoria inicial o fase sólida de escoria es similar a la fase vidriosa o fase líquida de escoria que intenta precipitar fuera de la solución.

El orden de precipitación de los compuestos cerámicos puede predecirse mediante cálculos termodinámicos pero es extremadamente difícil debido a la química compleja de los sistemas involucrados. Se ha visto verificado este concepto mediante observación del orden, orientación y morfología de los depósitos de escoria observados en investigaciones anteriores.

El otro factor en la formación de las adherencias de escoria puede considerarse similar a los principios generales de la cristalización cerámica. En el punto de fusión de un material cerámico (o cualquier material), la Energía Libre de Gibb de Formación ( $\Delta G_f$ ) para una cantidad dada del mismo es la misma ya sea cristalino o líquido. A temperaturas menores, la forma cristalina que tenga el menor valor de energía libre, precipitará primero. Sin embargo, esto no acontece fácilmente a menos que haya sitios de nucleación.

En ausencia de núcleos, la cristalización no ocurre a menos que se enfríe el sistema por debajo de la temperatura crítica en la cual la cristalización es espontánea. Desafortunadamente, se conoce muy poco acerca de las propiedades termodinámicas de los complejos sistemas involucrados, de modo que no es posible desarrollar un método para predecir temperaturas críticas para esta teoría de cristalización. Sin embargo, el comportamiento de esta formación puede ser comparado con otras formaciones de cerámicos.

Una explicación mecánica de la formación de la escoria adherida:

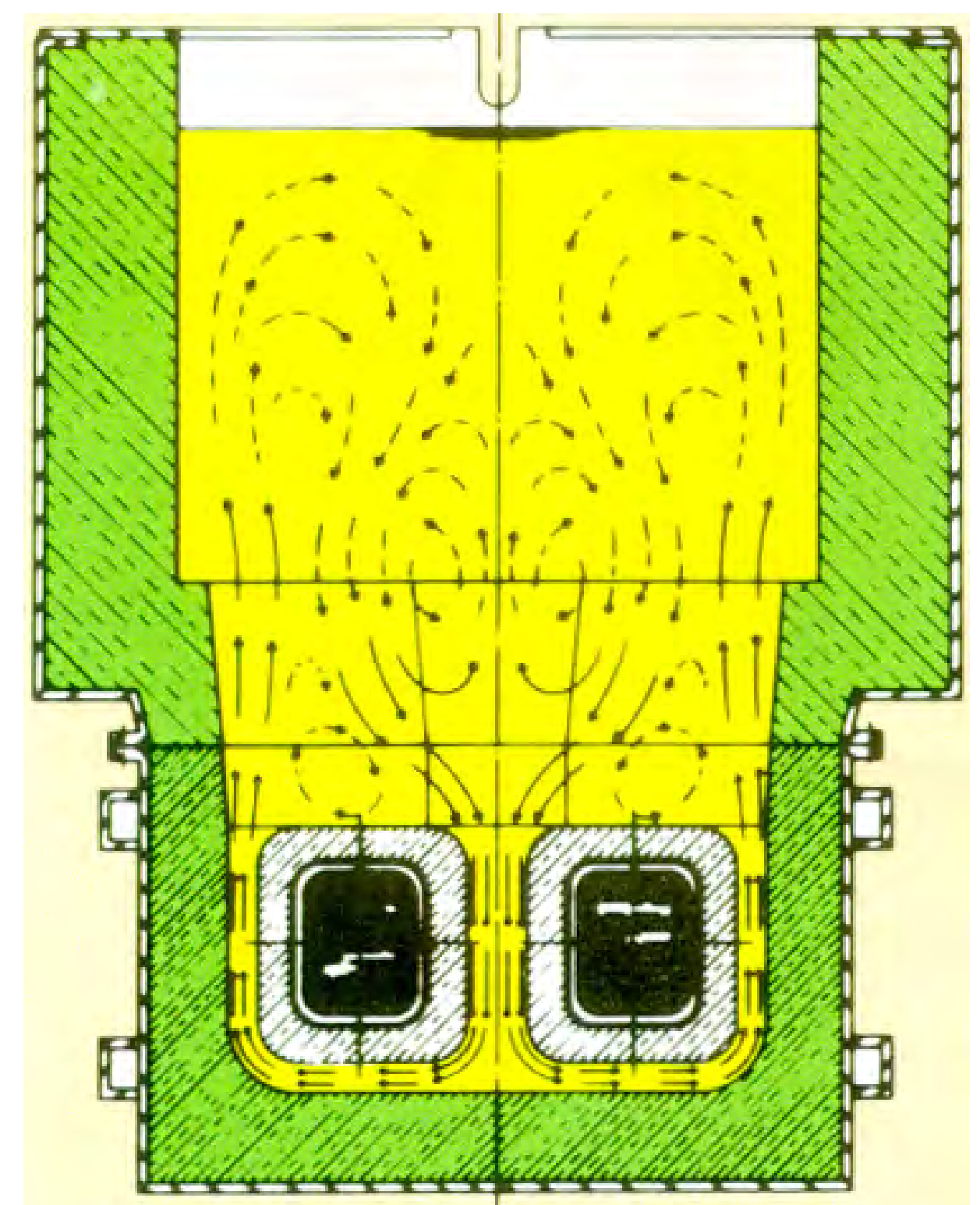
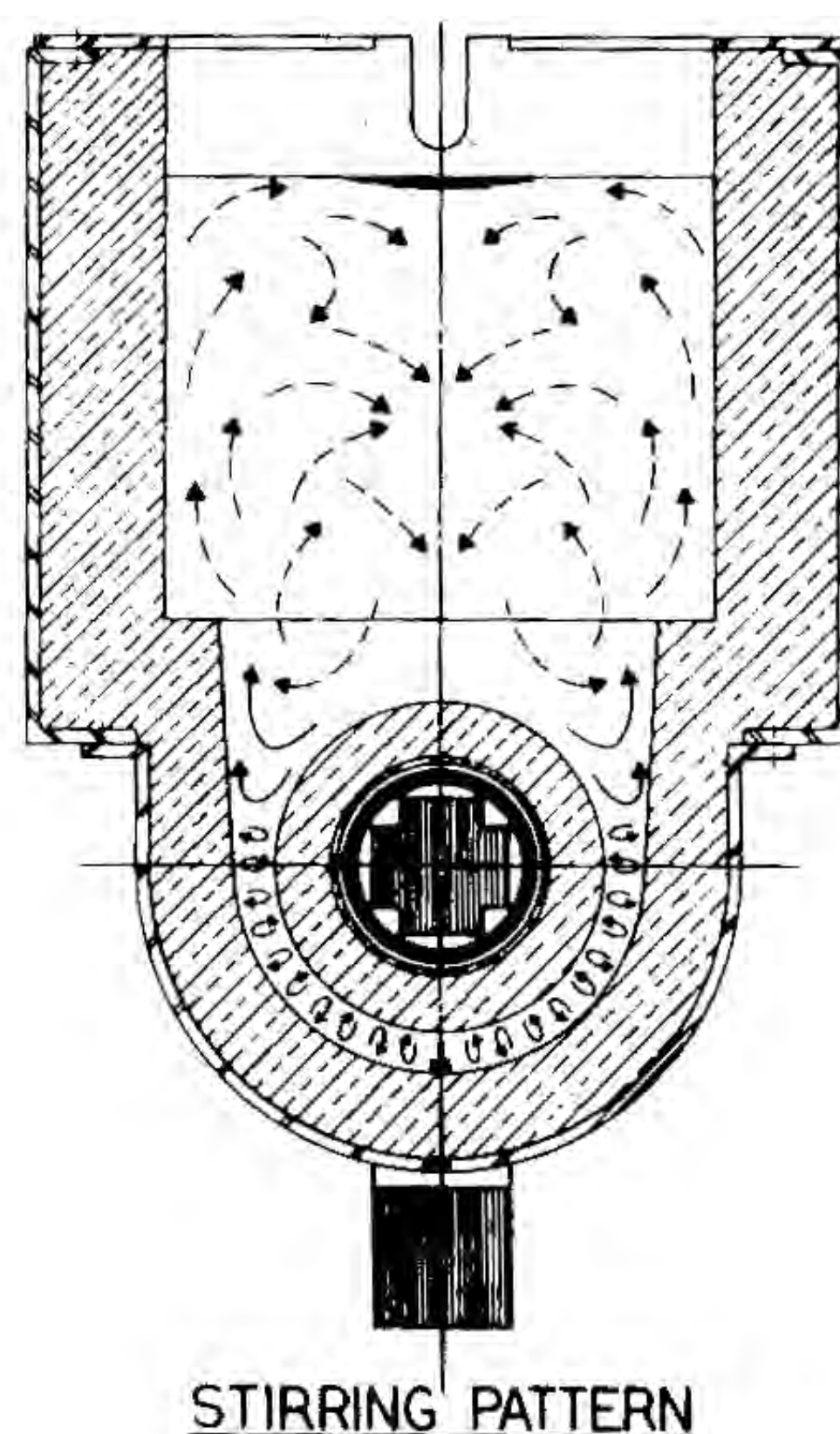
Investigaciones destacadas probaron los mecanismos de formación de las adherencias de alúmina en tubos de volcado en referencia a tres condiciones básicas que deben satisfacerse: (1) las partículas deben entrar en contacto con la superficie del refractante, (2) las partículas deben adherirse a la superficie del refractante, y (3) las partículas deben adherirse entre sí para sinterizarse y formar una red. Este trabajo explicó la importancia de la velocidad del metal, especialmente en áreas cercanas a la superficie donde la velocidad de flujo es función de la fuerza de fricción entre la superficie del refractante y el metal fundido. Si se mantiene el flujo de metal a alta velocidad y no se le permite permanecer inactivo o en movimiento lento, usualmente se reduce la tendencia a que ocurran adherencias.

El efecto de batido de un inductor es pronunciado mientras éste esté en una potencia alta. El "batido" se refiere al flujo del metal mismo a

través de los canales del inductor. Mientras que en un inductor de lazo simple o doble, se sobrecalienta al metal líquido dentro de los canales del inductor e ingresa a la parte superior a través de la garganta del horno.

### Circulación del Metal Fundido en un Horno de Inducción a Canal

En cualquiera de estos tipos de inductor, el "batido" no se encuentra definido cuando se deja al horno en potencia de mantenimiento, como durante un fin de semana inactivo. Durante estos periodos, las áreas con flujo mínimo son en el sector de la barquilla (la sección de transición entre los canales en la parte superior del inductor) o en las áreas de refractario en la garganta que son adyacentes a la corriente de metal emanando de cada canal. Éstas representan las zonas "muertas" donde el metal no circula tan eficientemente como lo hace dentro del canal. El mecanismo mecánico de la acumulación de la escoria se favorece también con la sedimentación de los óxidos insolubles en las áreas de bajo caudal. Esto ayuda a explicar las adherencias iniciales.



## DOS EJEMPLOS DE ADHERENCIA DE ESCORIA INSOLUBLE EN HIERROGRIS, IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y TRATAMIENTO CON FUNDENTES:

Ejemplo N°1 Atenuación del Magnesio para Tratamiento de Hierro Nodular en Aplicaciones de Mantenimiento y Colado

A partir de la introducción de los hierros dúctiles, las fundiciones han tratado el inevitable problema de la pérdida de magnesio, esta "atenuación" al mantener y colar hierro dúctil tratado. Esta atenuación del magnesio a menudo crea adherencias de escoria insoluble que luego resulta en una significativa reducción de la capacidad de cucharas / recipientes de colado sin precalentar, y fallas en la garganta/inductor de hornos con vertido a presión. Pueden atribuirse al crecimiento de adherencias insolubles, tiempos muertos de parada significativos para la limpieza y mantenimiento requeridos.

Se muestra debajo un ejemplo de adherencia de Silicato de Magnesio en presencia de una matriz de magnesio. Este es un escenario típico para la atenuación de del agregado

de Magnesio en el tratamiento de nodulares.

**Silicatos de Magnesio,  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  (Forsterita)**

**$T^\circ$  fusión  $3,434^\circ\text{F}(1890^\circ\text{C})$ ,  $\Delta G_{\text{form}}@2,700^\circ\text{F} = -13,017 \text{ Cal/mole}$   
 $2\text{MgO} + \text{SiO}_2 \Rightarrow 2 \text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$**

Del cálculo de energía libre de Gibbs de formación, a  $2700^\circ\text{F}$  el silicato de magnesio es bastante estable. (Un valor negativo moderado de  $\Delta G$ ) Al mantener o colar el hierro dúctil tratado, la temperatura del metal fundido será menor, lo cual podría traducirse en una mayor estabilidad para este compuesto. En presencia de un fundente libre de flúor, el óxido de Calcio puede reaccionar así:

**Óxido de Calcio en Forsterita,**  
 **$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + 2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2 \Rightarrow 2(\text{CaOMgO})\cdot 2\text{SiO}_2$  (Piroxeno) @ $2,700^\circ\text{F}$**   
 **$T^\circ$  fusión  $2,536^\circ\text{F}(1,391^\circ\text{C})$   $\Delta G_{\text{form}} = -33,922 \text{ Cal/mole}$**

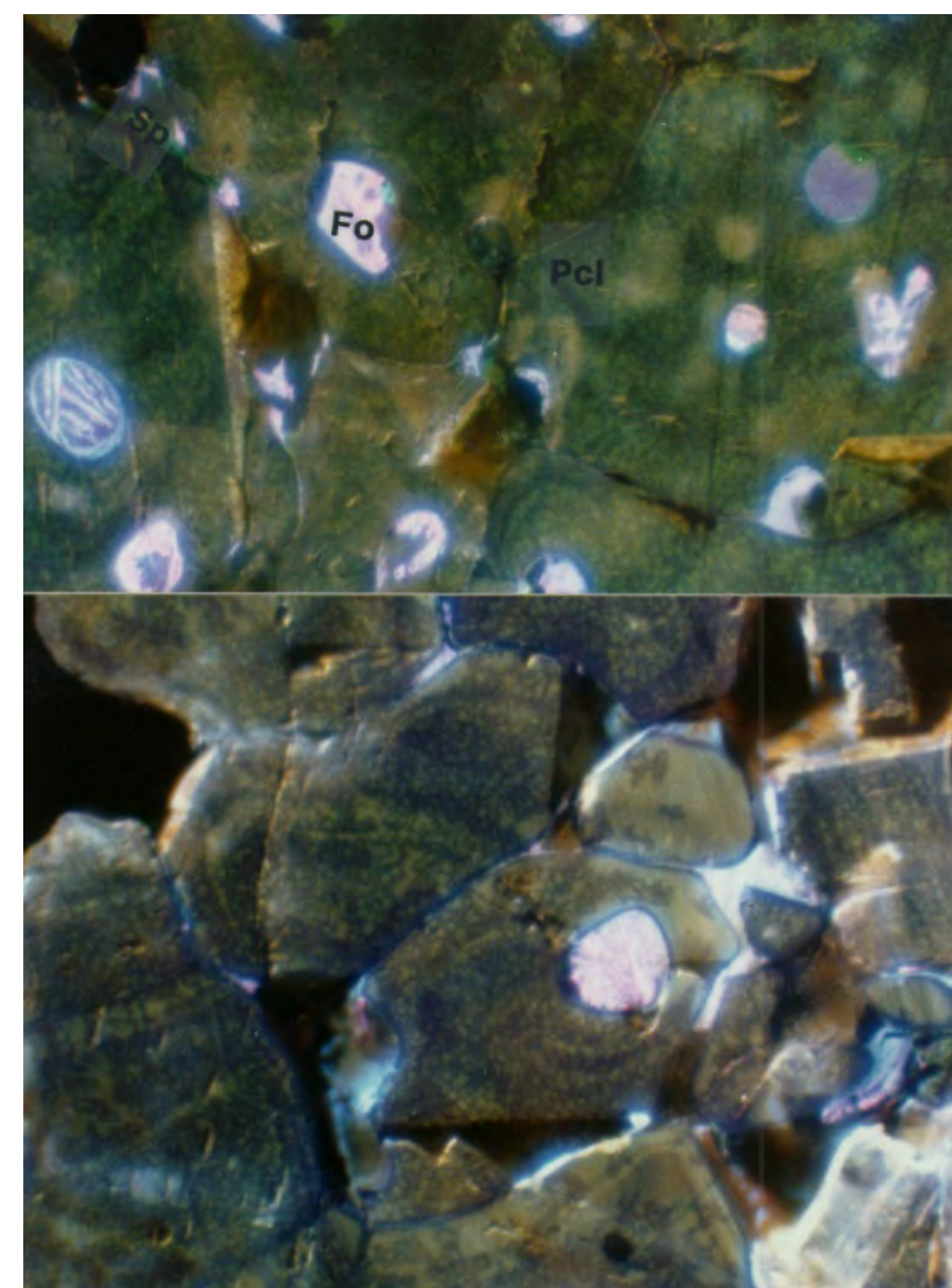
Al considerar las adherencias que se obtuvieron de hierro dúctil tratado con Magnesio atenuado, los análisis químicos reflejarán una mayor presencia de  $\text{MgO}$  junto con  $\text{MgS}$ . Aunque es imposible detener este "atenuamiento", los hábitos de limpieza y mantenimiento diarios y

semanales de las fundiciones pueden ayudar a prolongar las horas de servicio del equipamiento de colado y tratamiento.

Para ayudar a controlar a los insolubles  $\text{MgO}$  y  $\text{MgS}$  de este "decaimiento", se puede agregar entre media y una libra de fundente libre de flúor por cada tonelada de metal en un recipiente o cuchara de tratamiento, que permitirá mayores periodos de servicio.

**Ejemplo N° 2 Horno de Inducción a Canal – acumulación de escoria adherida a la garganta, hierros base gris o nodular.**

Muchas fundiciones ferrosas utilizan un hornos de inducción a canal para fundir/mantener colar de manera continua. Como la carga o el metal fundido ingresan de manera continua al canal del horno, la presencia de escoria y remanentes insolubles flota en el metal. Cuando el nivel del metal desciende al pie de baño mínimo, la posibilidad de que esta escoria alcance la abertura de la garganta es inevitable. Debajo hay un ejemplo de una obstrucción severa de la entrada a la garganta de un típico horno de fusión a canal.





Este es un horno vertical de 35 toneladas que funde hierro en base gris y nodular. Un precipitado común insoluble en la formación inicial de adherencia es el Silicato de Aluminio,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (Mullita)

**Silicato de Aluminio, ( Mullita )**  
 $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

**T° fusión 3,380°F(1860°C),  $\Delta G_{form}$  @2,700°F = -3,177 Cal/mole**

$3Al_2O_3 + 2SiO_2 \Rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

La adición de entre media y una libra de fundente libre de flúor a cada carga del horno es extremadamente beneficioso para prevenir las adherencias, que se distribuyen de manera pareja. Si no se lo adiciona, la escoria suele crecer más rápidamente una vez que las primeras adherencias aparecen en el refractario del horno.

Para hornos a canal de mantenimiento o en hornos de volcado a presión, el agregado de un fundente libre de flúor a cada cuchara de transferencia ayudará a mantener limpias las cucharas como así también el metal en ellas y a quitar varias fases de escoria del metal. Para dichas aplicaciones, se recomienda EF40LP en bolsas de 1 libra.

Otras consideraciones respecto a los constituyentes del fundente libre de flúor para aplicaciones en hierros grises se muestran debajo. Como se

mencioné arriba, la energía libre de Gibbs de formación ayuda a identificar las posibles reacciones que pueden ocurrir luego de las reacciones iniciales.

Debajo hay algunos ejemplos de Óxido de Calcio reaccionando con varios componentes de la escoria insoluble.

**Oxido de Calcio en Mullita,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$**   
 $3CaO + 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \Rightarrow 3(CaOAl_2O_3) \cdot 2SiO_2$  Anortita (feldespato)  
 @2,700°F

**T° fusión 2835°F(1557°C)  $\Delta G_{form}$  = -33564 Cal/mole**

**Oxido de Calcio en Forsterita,  $2MgO \cdot SiO_2$**

$2CaO \cdot SiO_2 + 2MgO \cdot SiO_2 \Rightarrow 2(CaOMgO) \cdot 2SiO_2$  Piroxeno @2,700°F

**T° fusión 2,536°F(1,391°C)  $\Delta G_{form}$  = -33,922 Cal/mole**

**Oxido de Calcio en Azufre,  $2CaO + 2S \Rightarrow 2CaS + O_2$  (Oldhamita)**

**T° fusión 4,577°F(2,525°C)  $\Delta G_{form}$  = -86,573 Cal/mole**

Al considerar un fundente libre de flúor, pueden ocurrir reacciones similares con Óxido de Sodio también.

$Na_2CO_3 + SiO_2 \Delta Na_2SiO_3 + CO_2$

$Na_2O + SiO_2 \rightarrow Na_2O \cdot SiO_2$

**T° fusión 1,990°F (1,088°C)**

$Na_2O + Al_2O_3 \rightarrow NaAlO_2$

**T° fusión 3,002°F(1,650°C)**

$Na_2O + Al_2O_3 \rightarrow Na_2O \cdot Al_2O_3$

**T° fusión 2,469°F(1,353°C)**

Como se observa, este fundente libre de fluoruros puede reaccionar rápidamente con la escoria adherida cuando se lo usa según sus instrucciones.

Las fundiciones de ferrosos pueden comprender ahora algunos criterios de formación de adherencias de manera diaria, que usualmente es un desafío. Los dos ejemplos incluidos para fusión y vertido de hierro fundido, son casos comunes en varias fundiciones. La utilización de fundentes no debería ya tener ese estigma negativo en hierros grises ya que posee claros beneficios para lograr un metal más limpio.

Al ser usado adecuadamente, Redux EF40, fundente libre de flúor, puede ayudar a las fundiciones de ferrosos a alcanzar una mejor capacidad efectiva del horno y una mayor vida útil entre mantenimientos, a la vez que consigue un metal más limpio. Una mejor limpieza del metal se correlaciona directamente con propiedades mecánicas mejoradas de las piezas coladas.



**Contacto:**

**Rod Naro**

[rod@asi-alloys.com](mailto:rod@asi-alloys.com)

# Encuentre más... Metales, Aleaciones & Fundentes



**ASI**  
**INTERNATIONAL**

Horno eléctrico y fundentes de limpieza de cuchara, exotérmicos, fundentes no ferrosos, especialidad en inoculantes y nodulizantes...todo diseñado para reducir los costos de fusión.

- Fundentes para Horno eléctrico Redux EF40L & EF40LP - ¡Duplica la vida del Refractario!
- Nodulizantes de baja Silicona Nodu-Bloc
- Reforzador Inoculante Sphere-O-Dox  
Reemplazo de los inoculantes de tierras raras

**¡Aleaciones en cualquier cantidad!**

[www.asi-alloys.com](http://www.asi-alloys.com)

Toll Free: 800.860.4766