

ALLIED MINERAL PRODUCTS

# MEJORANDO EL RENDIMIENTO EN OLLAS DE COLADA/TRANSPORTE DE METAL LIQUIDO

Los autores ofrecen varias soluciones refractarias para mejorar el rendimiento de ollas de colado/transferencia de metal líquido, revisando varias ventajas y limitaciones



AUTORES: CHARLES ESSMAN, RAJMOHAN MATHIAZHAGAN, HIMANSHU BHARDWAJ, & K VARATHARAJAN

TRADUCIDO POR: JOSE BERMUDEZ

## ALLIED MINERAL PRODUCTS

Las OLLAS se usan en las fundidoras para mantener aleaciones de varios metales, popularmente de hierros y aceros. Tradicionalmente, a los refractarios de ollas no se les da la importancia como parte operacional del proceso. Una fundidora puede llegar a consumir y gastar más en refractarios para las ollas que para los hornos de fusión si el refractario adecuado no se utiliza en las ollas. El precio por tonelada de metal fundido puede reducirse ampliamente usando un sistema de revestimiento refractario para las ollas que dure más, se repare o parche menos y ahorre energía.

La calidad de las piezas fundidas depende más del refractario de la olla que del refractario del horno. Con el pasar de los años, los principales problemas de rechazo son debido a inclusiones en las piezas fundidas.

Cada fundidora es única en sus procesos y por eso la recomendación del material refractario para cada proceso se maneja revisando caso por caso. No hay un solo producto que pueda usarse para todas las aplicaciones. Aunque soluciones generales y comunes se han manejado por décadas en las fundidoras, nueva y mejor tecnología existe para varias aplicaciones donde un diseño del sistema refractario dura más, opera de manera más segura y los costos

reducen por tonelada de metal fundido. Este es un concepto muy fácil de confirmar. El uso de material disminuirá significativamente, habrá menos paros por fallas en las ollas, menos recalentamientos o arranques en frío requeridos disminuyendo el costo de combustible/energía, disminución de los defectos superficiales que reducen la reparación de piezas fundidas mediante soldadura y rectificado, retrabajos, y/o retornos para fundir por rechazo, y reducción significativa por inclusiones en las piezas fundidas.

## **CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE REFRACTARIO DE OLLAS**

- Química del metal transportado
- Cualquier aleación o modificación del metal hecha en la olla
- Tipo de inclusiones que aparecen en las piezas fundidas
- Perdida de calor es mucha en la olla
  - o La temperatura del metal no es suficiente para colar y llenar el molde de la pieza
- Olla con tapa.
  - o Si no se usa tapa, ¿el proceso permite usar una tapa?
- Tapón/boquilla inferior de vaciado en la olla

## **DIFERENTES REFRACTARIOS PARA OLLAS DE HIERRO Y ACERO**

Tradicionalmente los ladrillos, arenas de moldeo, arenas de sílice, entre otras, se usan como revestimiento de las ollas, pero gradualmente se están reemplazando con refractarios monolíticos de alta calidad, entre ellos apisonables secos, concretos colados, plásticos o piezas prefabricadas. Todos estos refractarios tienen sus ventajas y limitaciones, como se observa en el análisis de las tablas adjuntas.

Hay aditivos refractarios que se pueden incluir en el agregado refractario. Estos aditivos se usan para mejorar las características del agregado base de los refractarios. Compuestos como Carburo de Silicio (SiC) ofrecen excelentes propiedades antiadherentes, Sílice Electro Fundida es térmicamente estable y el Óxido de Cromo agrega resistencia a la corrosión a los refractarios. Hay otros aditivos, pero estos son los aditivos más comunes.

Revisemos las ventajas y desventajas de los ladrillos, concretos, y de los apisonables secos.

<b>LADRILLOS</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Alta resistencia en caliente	Tiempo de instalación lento
Resistencia al ataque ácido y alcalino	Requiere mano de obra calificada
Buena resistencia a la abrasión	No es monolítico – múltiples juntas de construcción
Ciclo de secado rápido – presecado	Más propenso al choque térmico

<b>CONCRETOS</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Muy buena resistencia al ataque químico	Necesita equipo especial para instalación, como el mezclador
Monolítico – no tiene juntas de construcción	Requiere mano de obra calificada
Muy alta resistencia en caliente	Largos tiempos de secado, tecnologías nuevas más rápidas
Estructura granular muy apretada, por lo tanto, alta densidad y baja porosidad	Requiere cimbras/formas más pesadas y reforzadas
Tiempos de instalación rápidos	
Cimbras/formas son removibles y reusables	
Pueden ser reparados con el mismo material, o materiales afines	

APISONABLES SECOS	
Ventajas	Limitaciones
Poco equipo necesario para instalación	Baja resistencia al ataque químico
Puede instalarse por mano de obra inexperta bajo supervisión	Dificultad para reparar
Puede sinterizarse rápidamente	Resistencia más baja a temperaturas de operación
Mejor resistencia al choque térmico	Toma más tiempo para el aislante
Tiempo de almacenamiento largo	Mas poroso y menos densidad

Las fundiciones de hierro modernas experimentan varios cambios a diario mientras manejan y vacían hierros y aceros líquidos, incluyendo la batalla continua de mantener las ollas limpias, mantener la capacidad original y minimizar las pérdidas de calor. La reducción de la capacidad de la olla por acumulación de escoria se traslada en tasas de producción reducidas. Por ejemplo, en la producción de hierro dúctil o nodular, mantener el “bolsillo” de la olla de tratamiento es crítico, así como mantener la capacidad original de la olla. La escoria generada es muy alta y tiende a adherirse naturalmente al refractario. La selección adecuada del refractario puede ayudar a aumentar la vida útil, y a reducir los costos operativos y defectos/inclusiones en las piezas fundidas.

### IMPORTANCIA DE LA TECNOLOGIA PINTURAS SOBRE EL REVESTIMIENTO MONILITICO

- Reduce el tiempo de limpieza de la olla
- Facilita el proceso de limpieza
- Alarga el tiempo de vida útil del revestimiento monolítico
- Mejora las pérdidas de calor en algunos casos

La pintura para capa de sacrificio a base de magnesita, *T-Coat*, está diseñada para alta contracción al enfriarse la olla. Esta pintura refractaria se aplica sobre el revestimiento de trabajo principal de la olla para combatir la acumulación de escoria. Como se muestra en la **Figura 1**, esta pintura se agrieta con el enfriamiento de la olla lo que hace más fácil la remoción de la pintura y la acumulación de escoria sobre la misma, y por lo tanto reduciendo significativamente la acumulación de escoria y el tiempo de mantenimiento de las ollas.

La pintura a base de carbón/grafito para capas de sacrificio, *Armor Kote*, se aplica sobre el revestimiento principal de trabajo de la olla. Por tener resistencia al choque térmico puede reusarse. En fundiciones donde el ciclo térmico, enfriamiento y calentamiento diario, de las ollas es normal este revestimiento ayudara durante la remoción de escorias.

**FIGURA 1 – Capa de sacrificio con la pintura a base de magnesita, *T-Coat*.**



## CASO DE ESTUDIO # 1

Este caso de estudio envuelve la olla de transferencia usada para colar hierro liquido en un horno de sostenimiento a presión (*PPF*). Esta es un área de enfoque en las fundidoras porque las ollas con refractarios inadecuados pueden causar acumulación de escorias en el pico de llenado/reciba y en la cuba del horno de sostenimiento, lo que lleva a la acumulación de escorias y reducción de capacidad en ambos equipos.

**Equipo:** Olla de transferencia tipo labio (*lip pouring*) de 1 MT para vaciado de hierro. El revestimiento de trabajo es una mezcla de arena de moldeo y arcilla refractaria instalada directamente sobre la carcasa de la olla fabricada con lamina de 8 mm de acero dulce. Temperatura de proceso es de 1450-1500°C.

**Diseño del revestimiento original:** El revestimiento original era de 50 mm de la mezcla de la arena de moldeo y arcilla refractaria instalada directamente sobre carcasa de acero, sin ningún tipo de aislamiento. El consumo total de arena y arcilla para revestir la olla completa eran 300 kg y con un rendimiento de 25 TM de metal liquido antes de demoler completamente el revestimiento cada dos (2) días y con una operación de 24 horas continuas. La erosión observada en 2 días de operación era aproximadamente 15% del grosor del revestimiento original, i.e. 45 kg de la mezcla de arena y arcilla erosionada por 25 TM de metal liquido transferido. Es difícil remover el 100% de la arena antes de agregar el metal al horno de sostenimiento a presión. Siempre hay la posibilidad de algún porcentaje de arena que termine en el horno de sostenimiento. Ya que la erosión es rápida, hay una posibilidad mayor que la arena termine en el horno de sostenimiento arrastrado por el metal líquido.

**Diseño nuevo:** Una mejora general fue considerada usando 3 mm de papel cerámico aislante entre el revestimiento con concreto refractario de Allied Mineral Products y la carcasa metálica de la olla. El consumo total del concreto refractario de Allied Mineral Products para revestir la olla fue de 350 kg. El rendimiento fue de 1500 TM de metal liquido transferido contra 25 TM de rendimiento en las ollas revestidas con la mezcla de arena de moldeo y arcilla refractaria. La erosión observada después del rendimiento de 1500 TM fue de aproximadamente el 15% del grosor original del revestimiento, i.e. 51 kg de concreto erosionados por 1500 TM de metal liquido transportados.

**Resultados:** Simplemente cambiando el revestimiento de la olla a un castable de Allied Mineral Products, el rendimiento de la olla incremento de este modo reduciendo el número de revestimientos de la olla y también la cantidad de escoria acumulada en el horno de sostenimiento a presión.

## REDUCCION DE PERDIDA DE CALOR A TRAVES DE LA CONFIGURACION AVANZADA DEL REVESTIMIENTO

Un diseño general del revestimiento y el análisis de perdida de calor se pueden enumerar en cuatro (4) puntos:

- 1) Refractario de trabajo, para contacto directo con el metal
- 2) Refractario(s) de respaldo aislante
- 3) Ambiente, incluyendo la temperatura de trabajo del metal y la emisividad de la carcasa de la olla
- 4) Tipo de pintura para genera la capa de sacrificio sobre el revestimiento de trabajo en contacto con metal

**Refractario de trabajo, para contacto directo con metal:** Los grados del refractario están diseñados para contacto directo con el metal y escorias del proceso con metales líquidos. Los productos refractarios, teniendo una máxima temperatura de operación mayor a la temperatura del metal líquido que se transporta en la olla, tendrán suficiente fuerza para resistir la abrasión mecánica que general el metal líquido.

**Refractario(s) de respaldo aislante:** En general, la mayoría de refractarios para contacto con metal liquido tienen una conductividad térmica que resulta en transferencia de calor significativa a la carcasa del equipo de transporte. Para reducir esta temperatura en la carcasa y la perdida de energía calorífica resultante, se utilizan refractarios aislantes. Categorías generales de estos productos aislantes se indican seguido:

- *Ladrillos Aislantes (IFB)* es un refractario aislante para muchas aplicaciones. Estos son ladrillos fabricados con

aluminosilicatos altamente porosos y livianos; se instalan con morteros, como los ladrillos densos y están disponibles en varias geometrías y dimensiones comunes. La alta porosidad y bajo peso de estos ladrillos aislantes resulta en una baja conductividad térmica y capacidad calorífica mínima. Los ladrillos aislantes (IFB) están disponibles en varios rangos de temperatura de trabajo, con los rangos más comunes siendo 1100-1540°C. Como en la mayoría de los refractarios de trabajo, mientras la temperatura de trabajo de los ladrillos aislantes (IFB) aumenta, la densidad del material es mayor, resultando en propiedades aislantes reducidas.

- *Tablas o papel cerámicos aislantes*, son tablas o papel delgados y livianos, fabricados de fibras cerámicas a base de refractarios aluminosilicatos. Ofrecen una resistencia estructural mínima, pero proveen excelente aislamiento térmico. Es un tipo de material muy común que puede instalarse rápidamente con un adhesivo contra la carcasa de acero de la olla. El grosor puede variar entre 3 mm para el papel y 25-50 mm para las tablas cerámicas gruesas. El rango de temperaturas de trabajo generalmente es entre 1100-1260°C. El papel cerámico es a menudo usado como junta de expansión y para facilitar la remoción del revestimiento de las ollas.
- *Aislamiento microporoso*: Para áreas que demandan una carcasa con bajas temperaturas de trabajo, el aislamiento microporoso es un material comúnmente usado con un valor altamente aislante. Este material contiene una base estructura tipo esferas encapsuladas de alto sílice ( $\text{SiO}_2$ ), extremadamente liviano, con muy baja conductividad térmica. La temperatura máxima de operación generalmente es 1000°C, un poco más baja que la tabla o papel cerámico.
- *Concreto aislante*: es un concreto liviano con una consistencia final similar a los ladrillos aislantes (IFB) presentados como un concreto con liga de cemento/hidráulica para ser mezclado, colado y formado con el mismo método que los concretos tradicionales. Las temperaturas de operación son 1000-1650°C. Los concretos aislantes pueden ser colados, zarpeados o guneados como método de instalación en contacto con la placa externa de la olla dejando fraguar antes de instalar los concretos densos de trabajo que estarán en contacto con el metal líquido. Como la mayoría de los materiales aislantes, a mayor temperatura de operación más densos serán los productos y lo que disminuye las propiedades de aislamiento térmico.
- *Ambiente*: siendo el término general para los factores no refractarios que afectan la conductividad térmica y la temperatura de la carcasa del equipo/olla de proceso de metales líquidos. El ambiente incluye la temperatura de fusión o mantenimiento del metal líquido, la velocidad del aire alrededor de la olla, y la emisividad de la carcasa metálica de la olla. La temperatura del metal líquido y la velocidad del aire que rodea son obvias, mientras que la emisividad es la eficiencia con la que el calor es irradiado desde la superficie de la carcasa de acero (generalmente referida como tasa). Para demostrar las opciones de materiales disponibles mientras se diseña un sistema de refractario óptimo y para documentar la influencia que el aislamiento tiene en la temperatura resultante de la carcasa, seguidamente se detallan varios casos de estudio:

## CASO DE ESTUDIO # 2

Este es un caso de estudio muy sencillo que incluye el ejemplo más común en los equipos de fundidoras – la olla de colada. Esta es un área de enfoque en muchas fundidoras donde la consistencia de la temperatura del metal es crítica, pero la perdida de calor no es adecuadamente controlada.

**Equipo:** Olla de vaciado tipo labio (lip pouring) para transporte de 1 TM de metal líquido para producción de hierro. La olla en cuestión se revestía con concreto a base de arcilla refractaria común y se instalaba directamente contra la lámina metálica de 6 mm de la carcasa de la olla. La temperatura de operación es de 1400-1500°C, y para los cálculos de este caso de estudio se usó 1450°C. La velocidad del aire en el ambiente se estima en 2 m/segundo y común para este tipo de aplicaciones.

**Diseño original del revestimiento:** El revestimiento original de concreto de arcilla refractaria era de 75 mm instalado directamente sobre la lámina de acero de la carcasa; no aislamiento fue utilizado.

**Ambiente:**

Temperatura del metal 1450°C

Velocidad del aire 2 m/seg.

Emisividad de la carcasa 0.82

Material	Grosor del revestimiento	Temperatura de la interface
Concreto de arcilla refractaria	75 mm	1450°C
Carcasa de acero	6 mm	428°C

**Cara fría de la olla 426°C****Perdida de calor 16,210 W/m<sup>2</sup>**

**Diseño nuevo de revestimiento 1:** Una mejora general fue considerada usando 6 mm de papel aislante instalado contra la carcasa de acero y luego instalando el concreto de trabajo de arcilla refractaria. El cambio en la perdida de calor fue de 16,210 W/m<sup>2</sup> a 10,920 W/m<sup>2</sup>.

Material	Grosor del revestimiento	Temperatura de la interface
Concreto de arcilla refractaria	75 mm	1450°C
Papel cerámico aislante	6 mm	788°C
Carcasa de acero	6 mm	358°C

**Cara fría de la olla 356°C****Perdida de calor 10,920 W/m<sup>2</sup>**

**Diseño final del revestimiento 2:** Una mejora adicional fue considerada usando 12 mm de tabla cerámica aislante de alta resistencia contra la carcasa metálica y luego instalando concreto de arcilla refractaria.

Material	Grosor del revestimiento	Temperatura de la interface
Concreto de arcilla refractaria	75 mm	1450°C
Tabla cerámica aislante	12 mm	788°C
Carcasa de acero	6 mm	291°C

**Cara fría de la olla 289°C****Perdida de calor 7,730 W/m<sup>2</sup>**

**Resultados:** Agregando papel o tabla cerámicos antes de la pared del revestimiento de trabajo, la temperatura estacionaria de la carcasa metálica de la olla se redujo de 426°C a 289°C, y la perdida de calor se redujo de 16,210 W/m<sup>2</sup> a 7,730 W/m<sup>2</sup>, una reducción mayor al 50%.

La mayoría de las fundidoras no usan cubiertas/tapas en las ollas y lo que juega un papel clave en el ahorro energético. Una tapa en la olla puede ayudar a ahorrar 8-10% de las perdidas de calor ayudando a un ahorro energético adicional.

Control de los costos energéticos es uno de los factores mas significativos en la rentabilidad de las fundiciones. El uso de energía es necesario para la fusión directa de los metales que se vaciaran en los moldes para fabricar las piezas fundidas. El control y minimización de las perdidas de calor a través de refractarios en los procesos de fusión, sostenimiento y vaciado deben ser las metas claves de proceso. Empleo de diseños de revestimientos óptimos deben comenzar con la compra y tamaño adecuado del equipo de fusión.

## CASO DE ESTUDIO # 3

Este caso de estudio revisa una olla de transferencia para vaciado de hierro liquido a una olla de vaciado para un horno de sostenimiento a presión (PPF). Esta es un área de enfoque en muchas fundidoras porque el uso indebido de los refractarios para ollas puede causar acumulación de escorias en el horno de sostenimiento a presión, y de este modo, ocasionando la disminución del volumen metálico en ese equipo.

**Equipo:** La prueba fue planeada en una olla de transferencia tipo labio (lip pouring) de 1.5 TM para producción de hierro. La olla en prueba era revestida normalmente con arena de moldeo y ladrillos refractarios directamente a la carcasa de la olla de acero suave de 8 mm. La temperatura de operación es de 1450-1500°C.

**Diseño de revestimiento original:** El revestimiento original era de 50 mm de ladrillos refractarios contra la carcasa metálica y 25 mm de arena de moldeo después de los ladrillos. El consumo total eran 50 kg de arena de moldeo y 40 unidades (2" de grosor) de ladrillos refractarios. El rendimiento de este revestimiento fue de 50 TM de metal liquido transportado antes de sacar para reparaciones. Normalmente estas ollas se usan 24 horas para lograr 50 TM de transporte de metal. La erosión observada por día de operación fue aproximadamente de 15% en el revestimiento original, i.e. 45 kg de arena de moldeo por 50 TM de metal liquido transferido. Es muy difícil remover el 100% de la área de moldeo removida por el metal liquido que se transfiere al horno de sostenimiento a presión. Siempre hay una posibilidad que algun porcentaje de la arena de moldeo llegue al horno de sostenimiento a presión y cause una variedad de problemas como acumulación de escoria, taponamiento de picos de llenado o reciba y picos de vaciado, garganta del horno, así como terminar en los moldes de vaciado.

**Diseno del nuevo revestimiento:** La configuración usada fue de 6 mm de papel cerámico aislante de respaldo entre la carcasa metálica de la olla y seguida del vaciado de un concreto refractario de bajo cemento de 70 mm de grosor. El consumo total de concreto para revestir la olla fue de 650 kg. El rendimiento de la olla revestida con concreto refractarios de bajo cemento fue de 1500 TM de metal liquido transferido, continuando en operación después de esa revisión, contra 50 TM de rendimiento cuando se revestía con arena de moldeo y ladrillos refractarios. La erosión observada después de 1500 TM de metal liquido transportado fue de aprox. 15% del revestimiento original, i.e. 51 kg de concreto refractario de bajo cemento erosionado por 1500 TM de metal liquido transferido.

**Resultados:** Simplemente con el cambio de revestimiento de la olla de arena de moldeo a concreto el rendimiento del revestimiento incremento, reduciendo el numero de revestimientos y disminuyendo la acumulación de escorias en el horno de sostenimiento a presión.

**Conclusión:** El área mas pasada por alto en los procesos de fundicion son las ollas de transferencia; aun así, tienen el potencial de ofrecer ahorros mucho mayores que los refractarios en los hornos de fundicion en las fundidoras y acerías. Usando el producto correcto, la calidad de refractario correcta y la configuración o sistema de pared refractaria correcta, las fundidoras y acerías puede ahorrar energía, reducir rechazos de piezas fundidas, ahorrar dinero y reducir la huella de carbono ambiental. Las ollas no son equipos que un solo tipo de producto refractario se solucionan todas sus necesidades. La operación de la olla, la química de la escoria de la olla, la metallurgia del metal, la adición de aleaciones, inoculantes, fundentes y desescoriantes en la olla y la distancia de viaje de la olla para completar el vaciado deben ser consideradas para definir las condiciones de trabajo. En el competitivo mercado global del negocio de la fundicion actual, el uso correcto de los productos para las aplicaciones adecuadas puede reducir costos operativos de la fundicion, ofreciendo a las fundidoras una ventaja económica sobre sus competidores y para mejores márgenes de mercado.

### Referencias:

1. Charles Essman and Peter Satre, Reducing Heat Loss through Refractory Design, 64th IFC, 2016
2. Charles Essman, Advanced Ladle Refractories, IIF seminar, Chennai and Kolhapur 2010