

Comportamiento térmico de cucharas de acería II. Refractarios de alta alúmina, dolomita, magnesita y magnesita-carbono

A. GASTON, M. MEDINA

Consejos de Investigaciones. Universidad Nacional de Rosario.
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

RESUMEN: Comportamiento Térmico de Cucharas de Acería II. Refractarios de alta alúmina, dolomita, magnesita y magnesita-carbono.

El desarrollo de la metalurgia secundaria introdujo un cambio en los revestimientos de las cucharas de acería. A través de una simulación numérica se compara el comportamiento de cucharas revestidas con alta alúmina, dolomita, magnesita y magnesita-carbono. Se considera un ciclo de trabajo característico de una operación de colada continua y se evalúa la respuesta térmica de las cucharas frente a la variación de los siguientes parámetros: precalentamiento de 1.300°C en la cara caliente, la cuchara presenta un régimen térmico estable para ciclos consecutivos de operación.

PALABRAS CLAVE: Cuchara, acería, comportamiento térmico, refractarios.

ABSTRACT: Thermal Behaviour of Casting Ladles II. High alumina, dolomitic, magnesita and magnesita-graphite refractory linings.

The development of secondary metallurgy introduced changes in ladle lining practice. Applying numerical simulation, the thermal behaviour of ladles lined with high alumina, dolomite, magnesita and magnesita-graphite refractories is compared. A typical casting working cycle is considered and the thermal response of the ladles is evaluated taking into account the effect of preheating conditions, use of ladle covers, teeming rates and heats on ladle. For a 1.300°C preheating temperature of the hot face, the ladle lining presents a stabilized thermal condition for consecutive cycling.

KEY WORDS: Ladle, Steelmaking, thermal behaviour, refractories.

1. INTRODUCCION

El desarrollo de la metalurgia secundaria en el proceso de fabricación de aceros introdujo importantes modificaciones en las condiciones de trabajo a la que se ven sometidos los revestimientos refractarios de las cucharas de acerías. Mayores tiempos de permanencia del acero en la cuchara, elevadas temperaturas de trabajo, escorias muy corrosivas, ciclos térmicos, etc. dieron lugar a una paulatina sustitución de los refractarios silico-aluminosos (30-40% Al_2O_3) por refractarios con mayor contenido de alúmina (andalucita, bauxita) y refractarios básicos (magnesita, dolomita, magnesita-cromo, magnesita-carbono). La elección de estos revestimientos está fijada por aspectos económicos y metalúrgicos, ya que los revestimientos empleados alteran notablemente variables tales como el rendimiento de las ferroaleaciones adicionadas a la cuchara, la velocidad de los procesos de desoxidación y desulfuración, el contenido de oxígeno en el acero colado, etc.

Entre los materiales mencionados, la dolomita ha desplazado a la alta alúmina, debido a su bajo costo, su estabilidad frente a las escorias básicas, características de los tratamientos secundarios, y su contribución a la limpieza del acero.

Las condiciones de trabajo tan exigentes han producido en los últimos años el aumento del consumo de materiales a base de magnesita-grafito ya que estos poseen elevada resistencia al choque térmico. Tradicionalmente empleados en la línea de escoria, su aplicación se ha extendido a paredes y fonde de cuchara. El contenido de carbono tiene gran influencia en la con-

ductividad térmica por lo que los problemas asociados a la pérdida de temperatura del acero por conducción al revestimiento refractarios se incrementan notoriamente (1-2).

Numerosos trabajos se han desarrollado tendientes a entender y cuantificar las pérdidas de calor durante el ciclo de operación de las cucharas de acería con el objetivo de controlar adecuadamente la temperatura del acero durante el proceso (1-11).

En este trabajo se presenta un modelo de simulación, similar a los existentes en la literatura, capaz de contemplar diferentes situaciones operativas: tonelaje de las cucharas, tiempos de operación, tipos de revestimientos, utilización de tapas y escorias aislantes, precalentamiento, agitación con gas inerte, inclusión de ferroaleaciones, etc. Las ecuaciones de balance energético se resuelven por el método de los elementos finitos. Sin abordar la complejidad de un cálculo tridimensional, a diferencia de otros modelos, el simulador evalúa perfiles de temperatura dependientes de la altura de la cuchara durante las distintas etapas del ciclo de operación y la evolución de la temperatura del acero.

Con este modelo, en un trabajo previo se analizó el comportamiento térmico de cucharas con revestimiento dolomítico (12). Se extiende ahora el estudio a los revestimientos de alta alúmina, dolomita y magnesita (96%) y magnesita-carbono (10%). La secuencia de operación será idéntica a la utilizada con anterioridad. Se calculará la evolución de la temperatura en el revestimiento refractario y la caída de temperatura del acero. Se discute la influencia de la utilización de tapas analiza el número de ciclos que son necesarios para que una cuchara entre en un régimen estable en función de las condiciones de precalentamiento.

2. DESARROLLO

Para analizar la respuesta de los distintos revestimientos de cuchara se propuso el siguiente ciclo, representativo de una operación de colada continua:

1. Perfil de precalentamiento prefijado.
2. Espera de 10 minutos para el llenado (Ciclo de enfriamiento, con y sin tapa).
3. Llenado instantáneo de la cuchara con acero a 1.650°C y metalurgia durante 30 minutos.
4. Vaciado de la cuchara 100 minutos (con y sin tapa).
5. Enfriamiento posterior de 25 minutos (Preparación de la cuchara, sin tapa).

En la tabla I se resumen las características geométricas de la cuchara y en la tabla II, las características físicas y disposición del revestimiento refractario (13). Se modificó el revestimiento de trabajo (dolomita, alta alúmina,

TABLA I

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA CUCHARA

Altura	H = 2.671 m	(Ajusta volumen total de la cuchara)
Diámetro	$\bar{D} = 2.735$ m.	
Altura del acero en la cuchara	$\bar{H}_a = 2.189$ m.	(ajusta área lateral de transferencia de calor)

magnesia (96%), magnesia-carbono 10%), manteniéndose el espesor constante así como los revestimientos de respaldo y seguridad.

En las figs. 1 y 2 se muestra la distribución lineal estacionaria de temperatura propuesta para cada caso, analizándose el comportamiento de la cuchara para dos condiciones de precalentamiento: 1.300°C y 700°C en la cara caliente.

En las figs. 3 y 4 se indica la discretización utilizada para el cálculo de los perfiles de temperatura en la cuchara. La fig. 3 corresponde a períodos de enfriamiento. La fig. 4 corresponde a la metalurgia. Durante el vaciado se incrementan el número de anillos por encima del nivel de acero hasta obtener la misma configuración

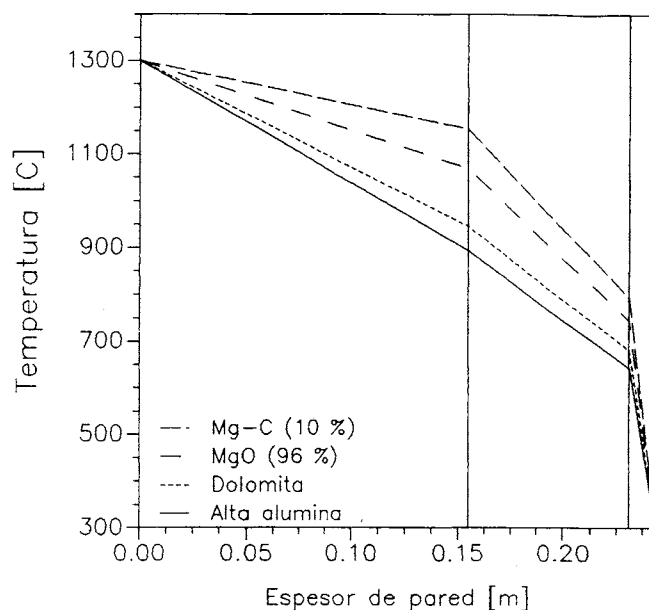


Fig. 1. Perfiles de precalentamiento.

TABLA II

CARACTERISTICAS DEL REVESTIMIENTO REFRACTARIO Y DEL ACERO

P A R E D L A T E R A L		Alta Alumina	Dolomita	Magnesita (96%)	MgO - C (C 10%)
		L = 155 mm $\rho = 2.900 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.045 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 1.75 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 155 mm $\rho = 2.915 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.100 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 2.2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 155 mm $\rho = 2.950 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.212 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 4.0 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 155 mm $\rho = 2.950 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.212 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 7.0 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
	Capa de seguridad	L = 76 mm $\rho = 2.292 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.000 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 1.4 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Capa de Aislamiento	L = 12.7 mm $\rho = 961 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.000 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 0.17 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	

P I S O		Alta Alumina	Dolomita	Magnesita (96%)	MgO - C (C 10%)
		L = 250 mm $\rho = 2.900 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.045 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 1.75 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 250 mm $\rho = 2.915 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.100 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 2.2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 250 mm $\rho = 2.950 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.212 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 4.0 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	L = 250 mm $\rho = 2.950 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.212 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 7.0 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
	Capa de seguridad	L = 76 mm $\rho = 2.292 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.000 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 1.4 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Capa de Aislamiento	L = 12.7 mm $\rho = 961 \text{ Kg/m}^3$ $c = 1.000 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$ $k = 0.17 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	

ACERO LIQUIDO	$\rho = 7.830 \text{ Kg/m}^3$	$c = 450 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$
---------------	-------------------------------	--

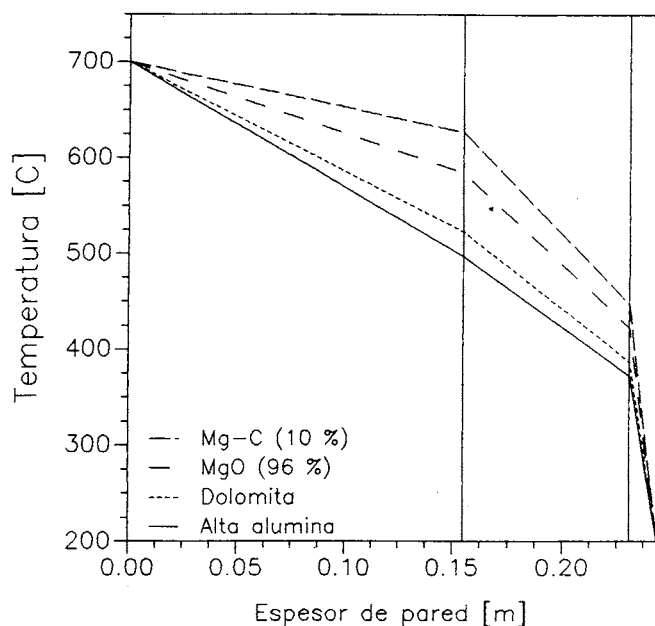


Fig. 2. Perfiles de precalentamiento.

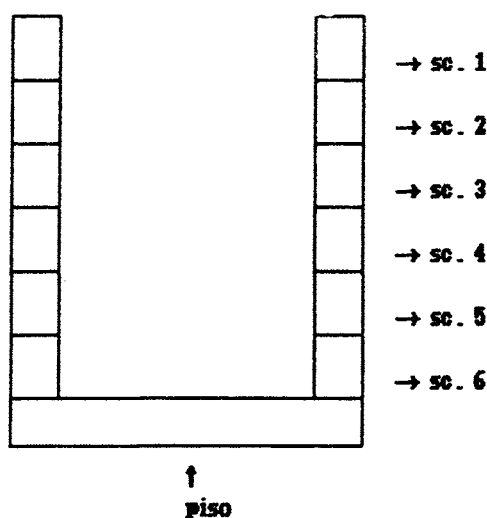


Fig. 3. Discretización de la cuchara para el cálculo de los perfiles durante etapas de enfriamiento.

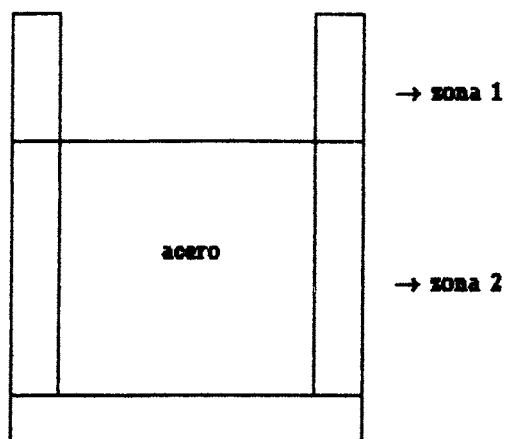


Fig. 4. Discretización de la cuchara para el cálculo de los perfiles durante etapas de metalurgia y vaciado.

de 6 secciones en la pared lateral (fig. 3). El modelo puede utilizar un número de secciones arbitrario, limitado por la disponibilidad de memoria y tiempo de cálculo.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Revestimiento de trabajo

En la fig. 5 se comparan los perfiles de temperatura luego de 10 minutos de espera de la cuchara vacía y sin tapa. Como es sabido, el ciclo térmico al que se encuentra sometido el revestimiento es absorbido por una capa

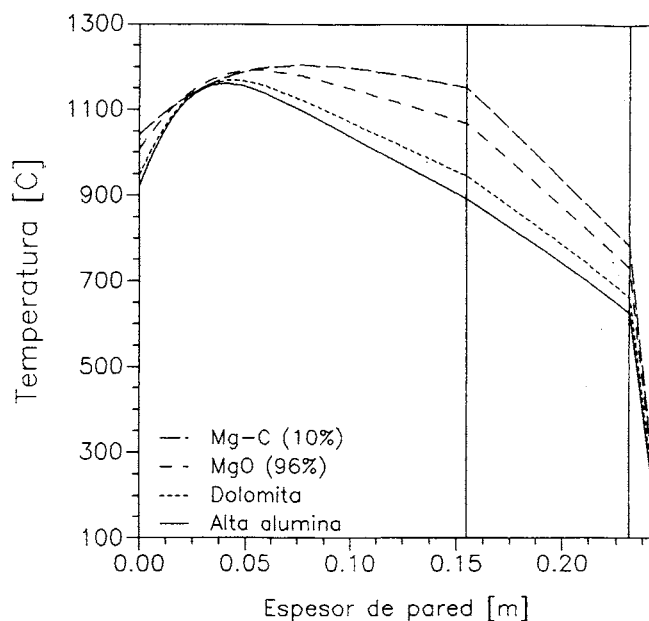


Fig. 5. Perfiles de temperatura después de 10 minutos de enfriamiento sin tapa. Sección 3.

σ de la pared de trabajo. Cuanto menor es la difusividad del ladrillo, menor es el espesor de la capa que absorbe el ciclado y mayores los gradientes térmicos originados, como pueden observarse en la fig. 5, en la que se ha graficado un perfil correspondiente a la zona media lateral de la cuchara. En la tabla III se resumen las difusividades, la capa σ y la máxima diferencia de temperatura en esta capa.

La utilización de una tapa produce una marcada reducción de la caída de temperatura, resultando la dis-

TABLA III

Pared de trabajo	$\alpha \cdot 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s})$	Capa σ (cm)	$\Delta T_{\text{max}} (^\circ\text{C})$
Alta Alúmina	0.05774	4	250
Dolomita	0.06861	4.5	225
Magnesia 96%	0.1138	5.5	175
Magnesia-Carbono 10%	0.1991	10	150

tribución prácticamente uniforme como se muestra en la fig. 6, en la que se grafican los perfiles laterales correspondientes a tres niveles de altura diferentes. Cabe remarcar que durante los ciclos térmicos, las dilataciones térmicas diferenciales generan tensiones internas en el revestimiento y la utilización de tapas resulta muy efectiva en la reducción de estos gradientes térmicos que

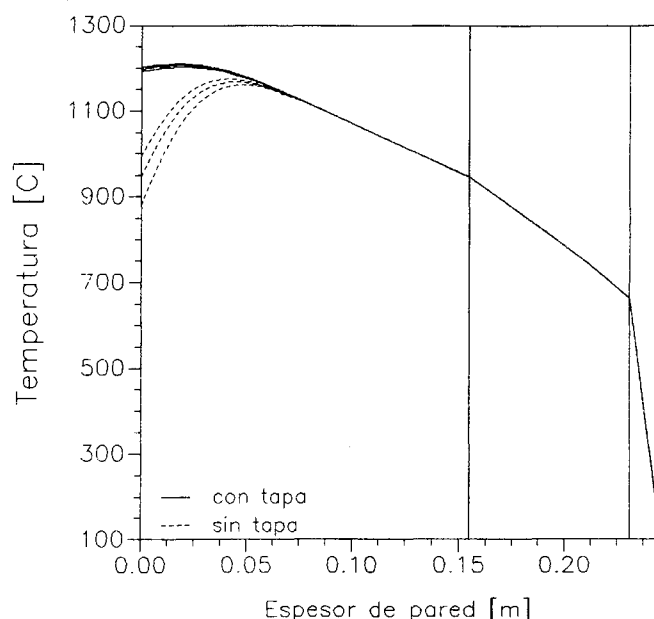


Fig. 6. Cuchara con revestimiento dolomítico. Enfriamiento con y sin tapa. Secciones 1, 3 y 6.

inducen este comportamiento termomecánico. Durante las etapas de enfriamiento, la cara caliente actúa bajo tensión y si las tensiones térmicas son superiores a las de fractura, puede producirse el desprendimiento de capas de revestimiento refractario (spalling) (14).

Los efectos de la difusividad quedan manifiestos en la

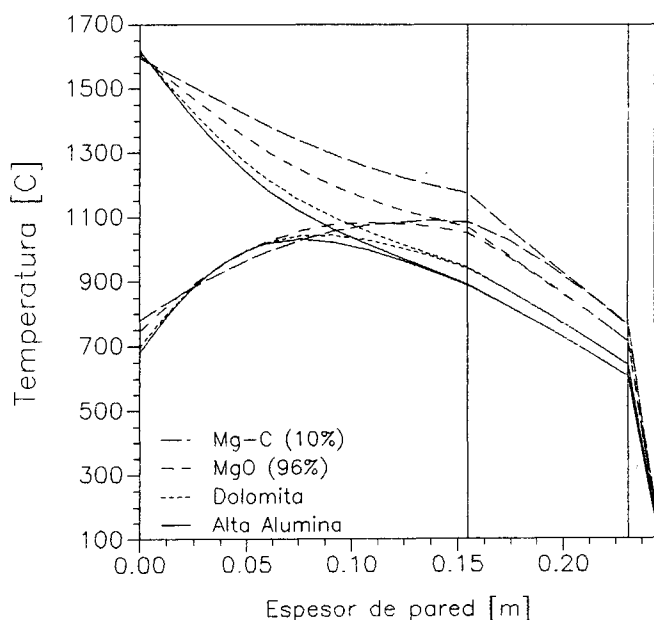


Fig. 7. Comparación de los perfiles de temperatura en las zonas 1 y 2 luego de 30 minutos con acero.

fig. 7. En la misma se exponen superpuestos, los perfiles correspondientes a la pared en contacto con el metal y por encima del nivel de acero en la cuchara. Para los revestimientos más conductores (magnesita y magnesia-carbono) toda la capa de trabajo y parte del revestimiento de seguridad absorbe el ciclado térmico y luego de 30 minutos, las temperaturas en la interfase 1 (capa de trabajo-seguridad) y en la interfase 2 (capa de seguridad-aislamiento) son marcadamente superiores (ver tabla IV). Para la alta alúmina y dolomita parte de la capa de trabajo y en su totalidad las capas siguientes no han modificado sus temperaturas respecto al perfil inicial de precalentamiento.

En cuanto a las pérdidas de temperatura en el acero,

TABLA VI

Z	Pared de trabajo	Interfase 1 (°C)	Interfase 2 (°C)
O N A 1	Alta Alúmina	900	605
	Dolomita	925	640
	Magnesia 96%	1.052	714
	Magnesia-Carbono 10%	1.086	764
Z	Pared de trabajo	Interfase 1 (°C)	Interfase 2 (°C)
O N A 2	Alta Alúmina	900	605
	Dolomita	925	640
	Magnesia 96%	1.069	714
	Magnesia-Carbono 10%	1.176	766

tras la metalurgia se tiene que $\Delta T_{\text{Alum}} = 32^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{Dolom}} = 35^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{Mg96\%}} = 47^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{Mg-C10\%}} = 55^\circ\text{C}$. Estos resultados fueron obtenidos suponiendo una aislamiento perfecta sobre el baño de acero (15), representando estos valores pérdidas por conducción. Al final del vaciado de 100 minutos la posibilidad de formación de fondos de cuchara es elevada para los revestimientos de magnesita y magnesia carbón (fig. 8) (para aceros ordinarios con

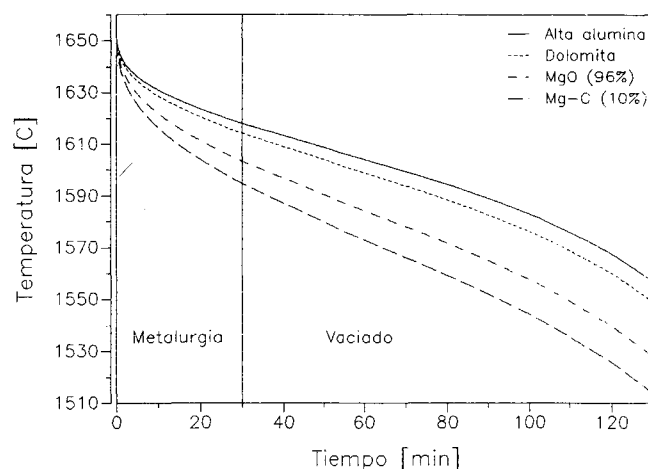


Fig. 8. Temperatura del acero. Metalurgia y vaciado.

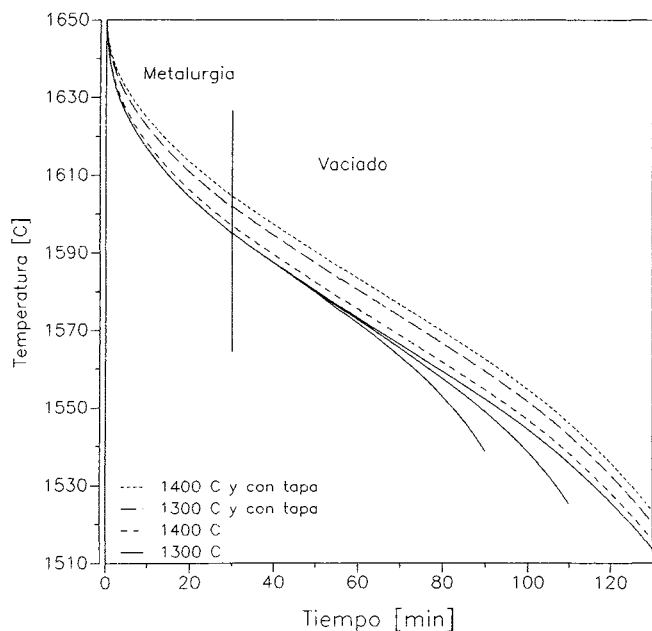


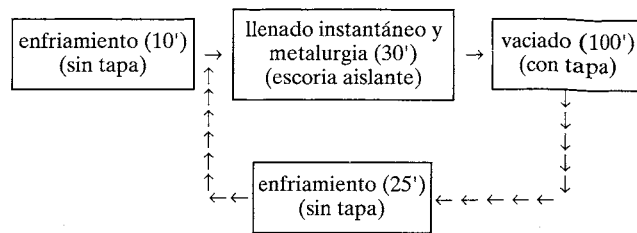
Fig. 9. Temperatura del acero. Revestimiento de Mg-C (10%).

aproximadamente 1% de carbono la temperatura de primera formación de líquidos es del orden de 1.515-1.520°C; para aceros con contenidos de carbono superior al 2%, $T_{liq.}$ es menor que 1.500°C. La caída adicional de temperatura del acero con respecto al revestimiento dolomítico es de $\Delta T_{Mg96\%} = 29^\circ\text{C}$, $\Delta T_{Mg-C10\%} = 43^\circ\text{C}$ al final del vaciado. De estos resultados se concluye que con estos dos últimos revestimientos será necesario modificar el ciclo de operación: acortar tiempos de metalurgia y vaciado, aumentar nivel de precalentamiento o bien recurrir al recalentamiento del acero por medio de un horno de cuchara. Simulando numéricamente estas modificaciones para el caso extremo del revestimiento de magnesita-carbono se tienen los siguientes resultados que se muestran en la fig. 9. La utilización de una tapa durante los primeros 10 minutos de espera de la cuchara y el precalentamiento de 1.300°C origina un incremento de la temperatura del acero de 7°C al final de la metalurgia que se mantiene durante el vaciado. Si el perfil de precalentamiento se modifica linealmente llevando la cara caliente a 1.400°C, manteniendo luego de una capa de 6 cm la distribución inicial, la ganancia al final de la metalurgia es de 2°C y se emplea una tapa durante los 10 primeros minutos de espera, el acero estará 9.5°C más caliente. Si se modifica el tiempo de colado se tienen los siguientes resultados: para 80 min. la ganancia de temperatura es de 11.6°C y para 60 minutos 25°C, considerando un precalentamiento de 1.300°C.

3.2. Ciclado de las Cucharas

Es interesante analizar el número de ciclos necesarios para que una cuchara entre en un régimen térmico estable. Con este objetivo se simuló un ciclado sucesivo de la cuchara, esquematizado la fig. 10.

Para un precalentamiento de 1.300°C de la cara caliente, el ciclado sucesivo de las cucharas, independientemente de la difusividad de la capa de trabajo, indica que a partir del 2.º ciclo, las cucharas están en régimen térmico estable. El mismo puede caracterizarse por la



Precalentamiento inicial: 1.300°C, 1.000°C, 700°C en la cara caliente.

Fig. 10. Ciclado de la cuchara.

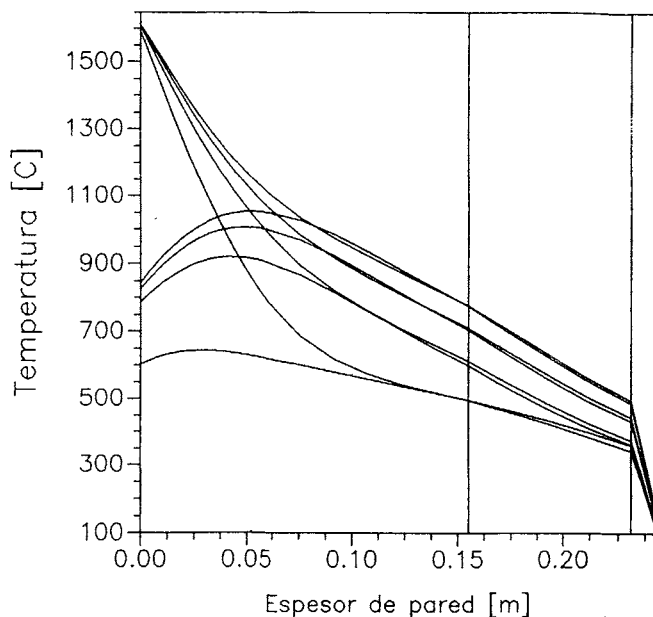


Fig. 11. Ciclado de cucharas en régimen térmico estable. Precalentamiento 1.300°C.

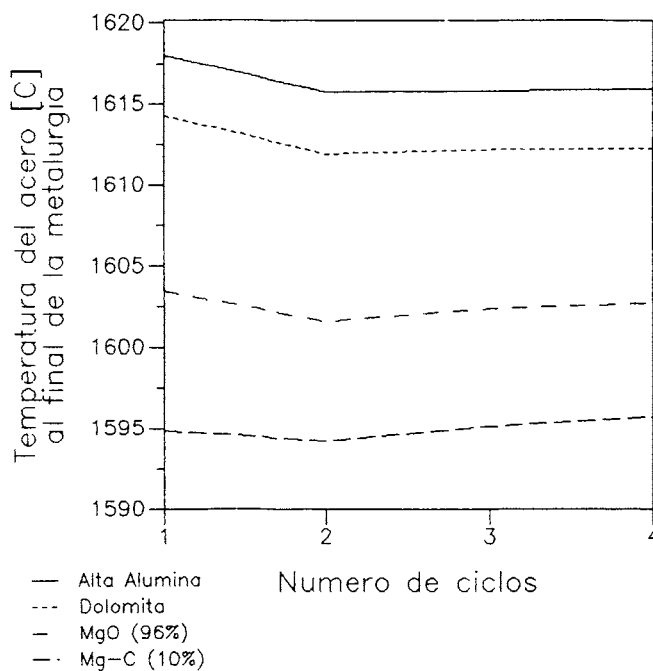


Fig. 12. Ciclado de cucharas en régimen térmico estable. Precalentamiento 1.300°C.

repetitividad de los perfiles de temperatura en el revestimiento al final de cada etapa de ciclos consecutivos y por la de los valores de temperatura del acero al final de la metalurgia (fig. 11) y del vaciado (fig. 12).

Para 700°C, las figs. 13 y 14 indican el número de ciclos necesarios para alcanzar esta condición de estabilidad térmica. De los resultados obtenidos se ve claramente que para los revestimientos de magnesita y magnesia-carbono, las temperaturas al final del vaciado son inferiores a las del rango de solidificación. Si bien el modelo asociado al cálculo de la temperatura del acero pierde validez (ya que no contempla el cambio de fase) indica que niveles de precalentamiento tan bajos son inadmisibles para estos revestimientos. En realidad estos resultados podrían inferirse de la fig. 9. En alguna

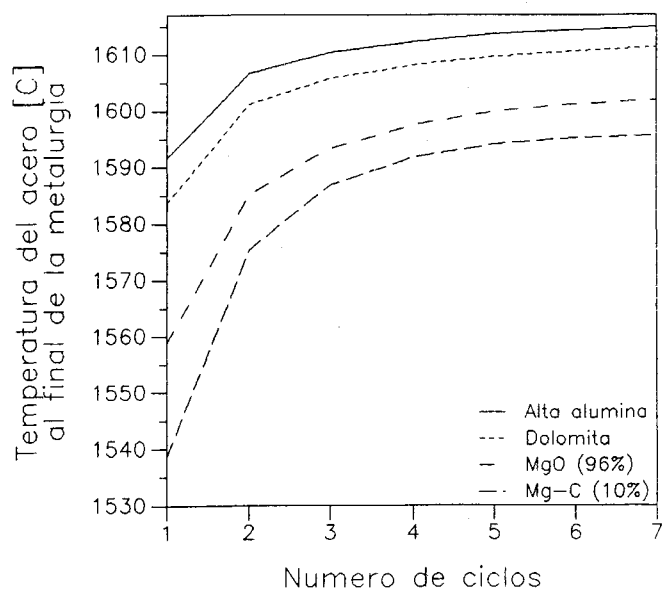


Fig. 13. Ciclado de cucharas con precalentamiento de 700°C.

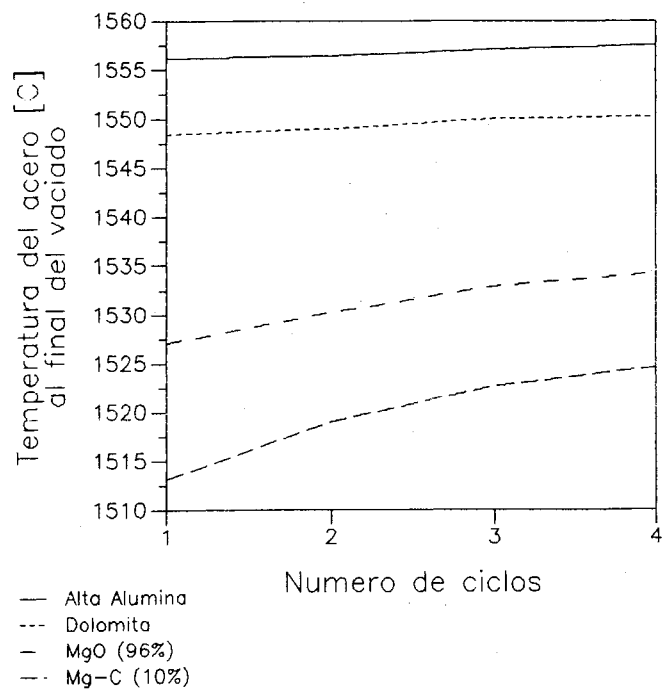


Fig. 14. Ciclado de cucharas con precalentamiento de 700°C.

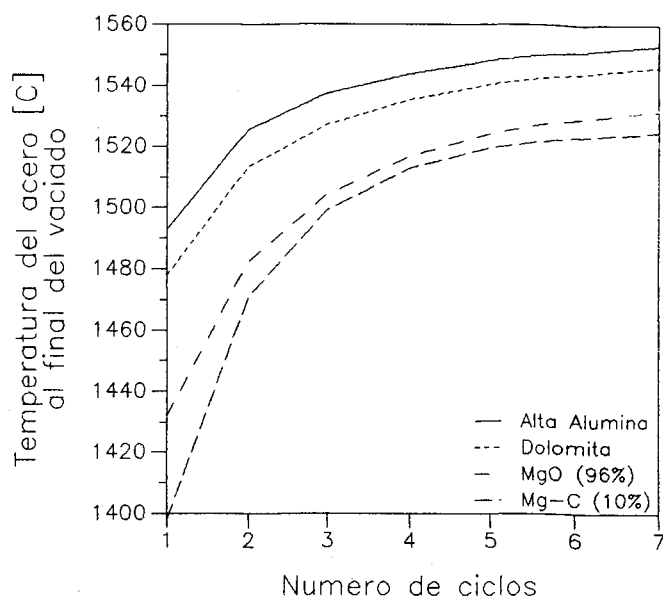


Fig. 15. Comparación de temperaturas de acero en un revestimiento de dolomita, con diferentes perfiles de precalentamiento.

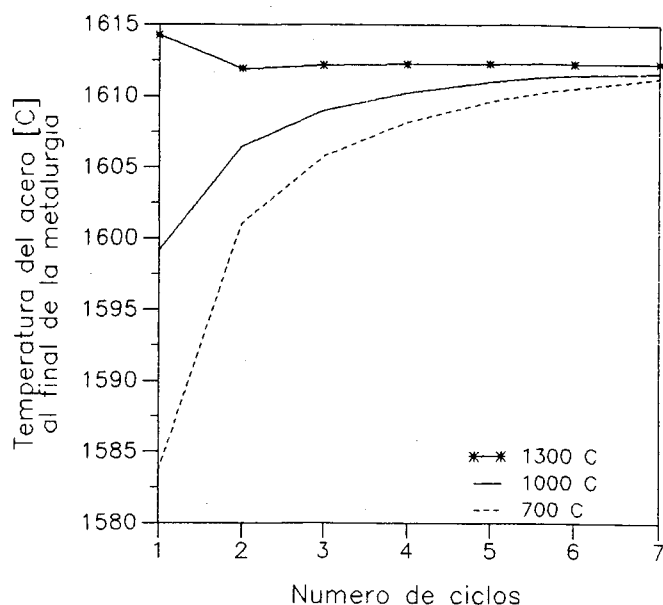


Fig. 16. Comparación de temperaturas de acero en un revestimiento de dolomita, con diferentes perfiles de precalentamiento.

medida indica que con un precalentamiento de 1.300°C representaría una cota inferior en el estado térmico asociado a estos revestimientos (especialmente en el de magnesia-carbono) para lograr una operación libre de inconvenientes, para tiempos de vaciado inferiores a 100 minutos.

En las figs. 15 y 16 se muestra la evolución de la temperatura del acero en función del número de ciclos y del precalentamiento inicial para un revestimiento dolomítico. Nuevamente queda manifiesta la efectividad de un precalentamiento de 1.300°C. La temperatura del acero tiende a un valor asintótico, casi independiente del precalentamiento inicial, siendo la diferencia en las temperaturas finales menor a 1°C al final de la metalurgia. El mismo comportamiento se manifiesta con los revestimientos de alta alúmina, magnesita y magnesia-carbono.

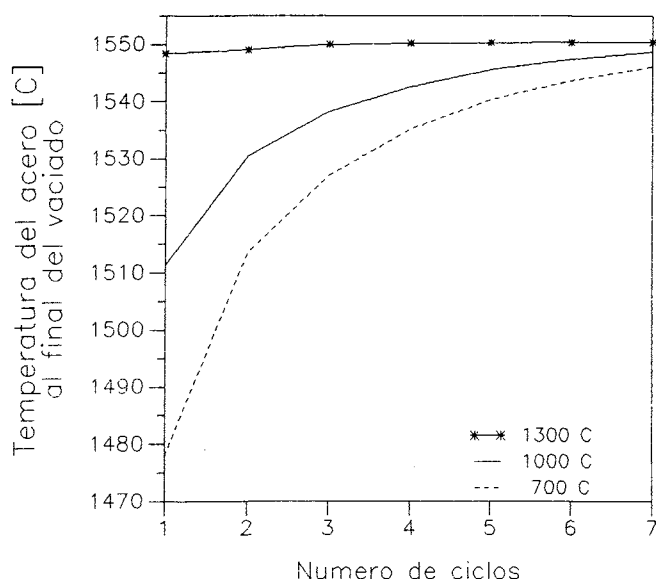


Fig. 17. Perfiles de temperatura en contacto con acero luego de 30 min y al final de cada una de los cuatro primeros ciclos (alta alúmina).

En la fig. 17 se grafican las distribuciones de temperatura en una cuchara con revestimiento de alta alúmina y con un precalentamiento de 700°C en la cara caliente, durante los primeros cuatro ciclos. El perfil con menor temperatura corresponde al enfriamiento inicial de 10 minutos. Los perfiles superiores muestran las temperaturas al final de cada ciclo y en contacto con acero tras 30 minutos. Se puede observar el incremento de temperatura a lo largo de todo el revestimiento a medida que transcurren los ciclos. Esto corresponde a una acumulación de energía que ocurre hasta que la cuchara entra en un régimen térmico estable. El mismo comportamiento se manifiesta para los otros revestimientos de dolomita, magnesita y magnesita-carbono.

4. CONCLUSIONES

La determinación del estado térmico óptimo de una cuchara de acería depende de las numerosas variables que determinan su ciclo de operación. Así mismo estas variables responden a las características propias de cada acería, por lo que la aplicación de reglas de operación que conduzcan a un régimen adecuado de trabajo y un buen control de la temperatura del acero, deben elaborarse para cada planta en particular. Por este motivo, la simulación numérica de un proceso multivariable como es el ciclo de operación de una cuchara constituye un soporte para poder analizar una gran variedad de situaciones operativas que pueden presentarse en la práctica. Si bien es cierto, que difícilmente pueda lograrse en planta la regularidad que supone este proceso de simulación, los resultados numéricos indican tendencias de comportamiento del sistema. Por otro lado, la flexibilidad de cálculo permite también definir ciclos irregulares de operación y analizar, cuál será la respuesta en estos casos.

Cabe destacar que el tiempo de cálculo involucrado en este proceso de simulación es mucho menor que el

tiempo de operación. La disponibilidad en tiempo real de la evolución del sistema cuchara-acero abre la posibilidad de introducir correcciones durante el ciclo. Por ejemplo aumentar la temperatura de vuelco del convertidor o la utilización racional del horno de cuchara.

En ese trabajo se mostró que para los revestimientos de magnesita y magnesita-carbono (10% C), con difusividades 2 a 3 veces mayores que la dolomita y alta alúmina, es fundamental el grado de precalentamiento inicial, la utilización de tapas y el tiempo de duración de la metalurgia y el vaciado para lograr un buen control del proceso, sobre todo en aquellos casos en que no se disponga de un horno de cuchara para recalentar el acero. Así mismo, debido a que las temperaturas de interfase son marcadamente superiores con respecto a los revestimientos tradicionales, es imprescindible la presencia de una capa de aislamiento para evitar temperaturas muy elevadas en la carcasa metálica que puedan afectar los mecanismos de cierre de la cuchara y que de superar los límites, puedan resultar perjudiciales desde el punto de vista estructural.

BIBLIOGRAFIA

1. MONOGRAFIA: Refractarios en Cucharas de Acero. *Bol. Soc. Ceram. Vid.*, 28 (1989), 5.
2. LASQUIBAR, J. I. Y RIBERA, C.: Refractarios de Magnesita-carbono para Cucharas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, 28, (1989), 5, 385-393.
3. PFEIFER, H.; FETT, F.; SCHAFER, H. AND HEINEN, K.: Der Veränderlicher Pfannenbordgeometrien auf den Wärmeverlust der Stahlschmelze. *Stahl und Eisen*, 103 (1983) n.º 25/26, 1.321-1.326.
4. PFEIFER, H.; FETT, F.; SCHAFER, H. AND HEINEN, K.: Model for Thermal Simulation of Steel Casting Ladles. *Stahl und Eisen*, 104 (1984), 1.278-1.287.
5. LAUVRAY, J., SCHITTLY, PH.; ZANNONI, C. AND PETEGNIEF, J.: Etude de Phénomènes Thermiques en Poche en Répartiteur de Coulée Continue. *Revue de Metallurgie - CIT* (1985), 439-448.
6. PETEGNIEF, J.; BIRAT, J. P.; LARRECQ, M.; BOBRIE, M.; LEMIERE, J. AND FAUTRELLE, Y.: Temperature Control of Liquid Steel for Billet and Bloom Casting: The French Experience. *Rapport IRSID* (1988)
7. LINKA, J. W.; CRAMB, A. W. AND BRIGHT, D. H.: A Model for Predicting the Thermal History of a Ladle of Steel. *Bethlehem Steel Corporation Report* (1986).
8. MORROW, G. AND RUSSELL, R.: Thermal Modelling in Melt Shop Applications: Theory and Practice. *Ceramic Bulletin*, Vol. 64 (1985), 1.007-1.012.
9. DAY, J.; MUCCIARDI, F.: Ladle Insulation. An Overview. *UNITECR'89 Proceeding, American Ceramic Society*, Vol. 1 (1989), 453-467.
10. GASTON, A.; LAURA, R. AND MEDINA, M.: A Model and Numerical Analysis for Predicting The steel Temperature and Thermal State of Casting Ladles. *Proc. 6th Symposium on Automation in Minig, Mineral and Metal Processing Industries, Buenos Aires. Pergamon Press*, Vol. 1, (1990), 231-235.
11. GASTON, A.; LAURA, R. AND MEDINA, M.: Thermal Cycle of Continuous Casting Ladles: A Mathematical Model for Predicting the Steel Temperature during the Tapping and the Filling Period. *Latin American*

- Applied Research*. Vol. 23, (1993), n.º 3.
12. GASTON, A. Y MEDINA, M.: Comportamiento Térmico de Cucharas de Acería. Simulación Numérica de Ciclos de Operación. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, (1993) Publicación en prensa.
 13. ZUÑIGA, M. Y LOPEZ DE NOVALES, J.: Evolución de los Refractarios de Dolomía de las Cucharas de las Acerías Españolas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, 28, (1989), 5, 371-378.
 14. BRADLEY, F.; CHAKLADER, A. Y MITCHELL, A.: Thermal Stress Fracture of Refractory Lining Components: Part I. *Thermoelastic Analysis. Metallurgical Transactions B*, Vol. 18B, (1987), 355-363.
 15. SZEKELY, J. AND LEE, R.: The Effect of Slag Thickness on Heat Loss from Ladles Holding Molten Steel. *Trans Metall. Soc. AIME*, Vol. 242 (1968), n.º 6, 961-965.