

ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA FUNDICIÓN EN ANTECRISOL CON INYECCIÓN DE OXÍGENO

Por Arnaldo, Alonso B.* Juan, C. Bossa**, Alberto, Hurtado**

* Profesor Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Universidad Industrial de Santander, Colombia.

** Ingeniero Metalúrgico.

RESUMEN

En total se realizaron cinco (5) ensayos. A una fundición de cubilote, previamente desulfurada con mezclas a base de cal y carbonato de sodio con alta capacidad de sulfuros, se inyectó oxígeno gaseoso bajo condiciones de presión y caudal establecidas, para evaluar la variación de la temperatura y de los contenidos de carbono, silicio, manganeso y azufre. Presiones entre 7 kg/cm² y 10 kg/cm² y caudales de oxígeno entre 3.726 LN/min y 5.930 LN/min con lanzas de 10 mm de diámetro interno, permitieron elevar la temperatura de la fundición a 1.500 °C en seis minutos (6). La oxidación de 0,66%Si en la fundición parece ser suficiente para adecuar térmicamente la fundición. Las pérdidas de carbono durante la inyección son relativamente pocas, y los contenidos de fósforo y azufre no sufren mayores variaciones.

INTRODUCCION

El trabajo desarrollado consta de dos etapas. La primera comprende el análisis de las diferentes variables que intervienen en el proceso de inyección de oxígeno gaseoso a una fundición obtenida en cubilote, previamente desulfurada. La desulfuración causa una sensible disminución de la temperatura y, por lo tanto, la fundición requiere de un acondicionamiento térmico para mejorarle su colabilidad. La segunda parte, que será tratada en un posterior artículo, Dios mediante, trata del acondicionamiento metalúrgico que requiere la fundición altamente oxidada, para analizar su susceptibilidad al tratamiento de esferoidización.

Con excepción del trabajo de Lars Erick y Roland Koos (1), no se conocen investigaciones relacionadas con los efectos que sobre la calidad metalúrgica de la fundición

ejerce la inyección de oxígeno en la cuchara. Lars Erick (1) con una inyección de oxígeno de 213 L/min y una presión de 6 bars, en un tiempo de 6 minutos, obtuvo una disminución de los porcentajes de carbono, silicio y manganeso del 0,05%, 0,66% y 0,25% respectivamente, con un aumento de temperatura de 1.388 °C a 1.500 °C, en una cuchara con capacidad de 100 kg. El objetivo principal del trabajo era variar el CE de la fundición para adaptarlo a las características exigidas a la fundición. Lars Erick (1) no considera las variables de inyección y sus efectos en la eficiencia del proceso. Tan solo se reduce a transcribir la operación.

La metalurgia secundaria o metalurgia en la cuchara, es un proceso que ha experimentado un notable progreso en las acerías, hasta el punto que hoy en día su uso es frecuente en mejorar la calidad del acero producido. Posiblemente, por la menor capacidad del producto que se maneja en las fundiciones, la metalurgia secundaria no ha experimentado el mismo desarrollo, y solo se reduce a realizar desulfuración e inoculación como métodos de mejoramiento de la calidad.

La inyección de oxígeno gaseoso a una fundición líquida se ha venido realizando desde hace mucho tiempo para elaborar acero. Son muy conocidos los métodos para producir aceros Bessemer y Thomas mediante la inyección de aire, hasta llegar al proceso LD y la exitosa variante AOD de gran empleo hoy en día en las siderúrgicas para producir aceros de alta calidad. Sin embargo, inyectar oxígeno a una fundición líquida, sin afectar mayormente su contenido de carbono, con el fin de aumentar la temperatura para acondicionarla térmicamente para la realización de tratamientos para mejorar su calidad, o modificar su carbono equivalente para producir una fundición diferente, o mejor, adaptarla para obtener

fundición con grafito esferoidal, es poca la información que se consigue.

Además de los efectos ampliamente conocidos que la inyección de oxígeno gaseoso produce en las características del metal líquido, merece atención como lo indica Dieter Jerke (2), el efecto positivo que ejerce en la eliminación de ciertos elementos trazas como el Vanadio, Titanio y Niobio, entre otros, que se encuentran en las cargas metálicas del cubilote, como consecuencia del uso de chatarra de acero. Esta contaminación es mayor hoy en día por el uso de la chatarra de aceros al carbono microaleados, que pueden dañar las propiedades de las fundiciones. La remoción de estos elementos trazas se explica por la elevada energía libre negativa de los titanatos de Ca, niobatos o vanadatos formados en el proceso de oxidación, en un medio constituido por escorias formadas por cal, espatofluor y/o carbonato de sodio.

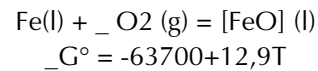
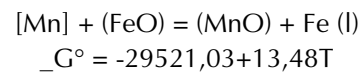
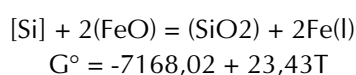
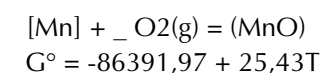
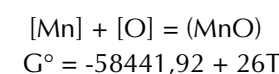
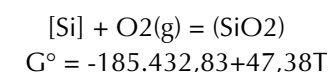
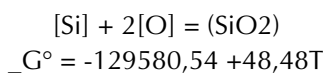
TERMODINAMICA Y CINÉTICA DEL PROCESO

La inyección de oxígeno gaseoso a un baño de fundición es un método válido para compensar el calor que se pierde en el proceso de desulfuración que se hace a la fundición para mejorar su calidad metalúrgica. El aprovechamiento del poder termógeno de las reacciones de oxidación de los elementos comúnmente presentes: Fe, Si, Mn, permiten alcanzar temperaturas elevadas en las fundiciones de cubilote en un tiempo relativamente corto seis (6) minutos, sin afectar mayormente el contenido de carbono en la fundición.

Aunque la liberación del calor de la oxidación de los metaloides no es sencilla, por simplificación de los cálculos, se puede asumir que cada elemento reacciona por separado con el oxígeno inyectado, bajo condiciones de presión y temperatura definidas. El estudio se inicia con el concepto de energía libre de formación de óxidos conocida como ΔG° y que se expresa:

$$\Delta G^\circ = \Delta H + T \Delta S [1]$$

Mediante esta ecuación fundamental se establecen las expresiones referidas a cada óxido formado de un elemento especial. Así, y considerando los elementos que se oxidan se tiene:



En estas ecuaciones se observan cambios negativos de energía libre de formación, cuando ellas se llevan a cabo de izquierda a derecha, es decir, cuando liberan calor (exotérmica). Por su alta concentración (>90%) el hierro es el primero en oxidarse; su oxidación es intensa y su aporte de calor es importante, sin embargo, el FeO es poco estable y antes la presencia de elementos con mayor afinidad por el oxígeno: Si y Mn, es reducido a su estado metálico. La oxidación del hierro se aprecia con el desprendimiento de humos densos de aspecto rojizo.

Las figuras 1, 2 y 3 (3) muestran la modificación de la composición de la fundición y la variación de su temperatura en el proceso Bessemer, Thomas y LD respectivamente.

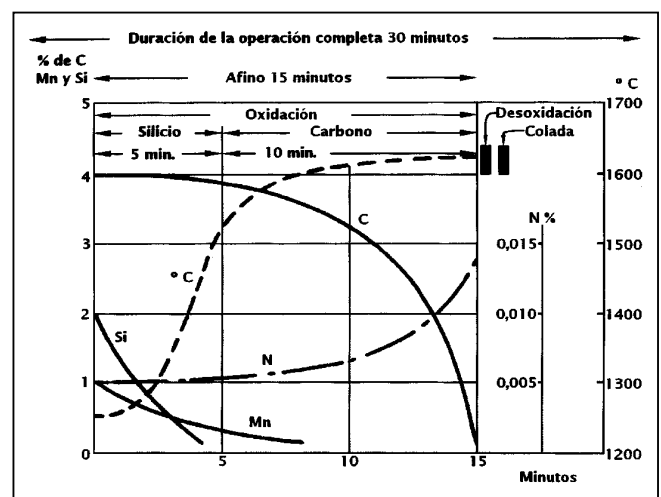


Figura 1. Esquema de la modificación de la composición de la fundición líquida y del incremento de la temperatura en la operación Bessemer.

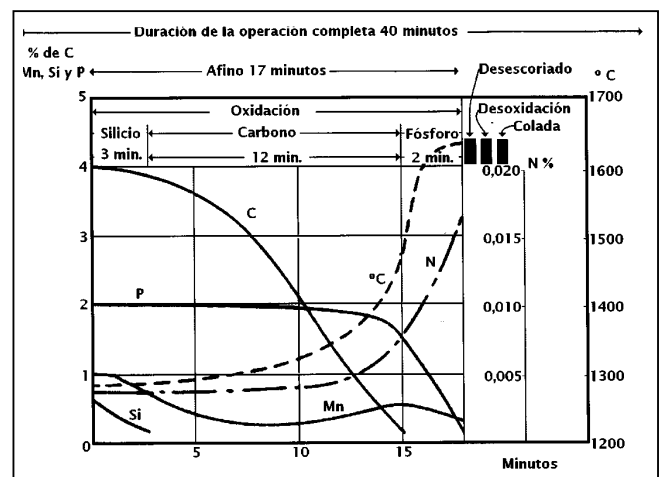


Figura 2. Diagrama de la modificación de la composición química de la fundición líquida y el aumento de la temperatura en la operación Thomas.

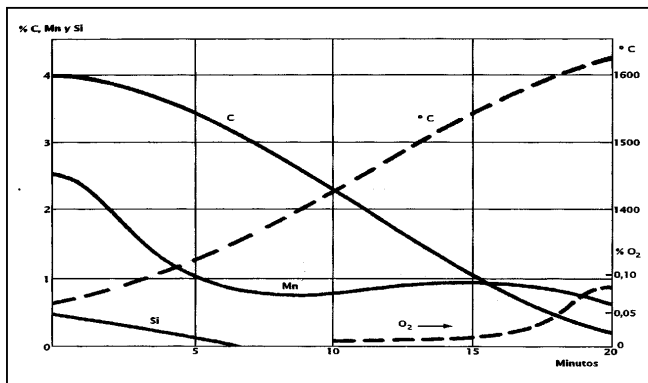


Figura 3. Variaciones que experimenta la composición y la temperatura del baño metálico en la fabricación de acero por el proceso LD.

Como se puede observar en estas figuras, el contenido de silicio del baño desaparece al cabo de los cinco minutos, en especial en el proceso Bessemer, en el cual este elemento es la principal fuente termógena. Obsérvese que para ese tiempo, la temperatura es cercana a los 1.500 °C. Además, el contenido inicial de silicio de las fundiciones en el proceso Bessemer es muy semejante a las obtenidas en cubilote. Diferente es el caso del proceso Thomas en el cual el contenido de silicio de la fundición es bajo para que la sílice formada no ataque el refractario. Aquí las fuentes termógenas son el fósforo y el manganeso. En cambio, en el proceso LD, aunque el revestimiento es básico, en principio, la composición de las fundiciones utilizadas es más variada, aunque se prefiere por la economía de la marcha, utilizar fundiciones con alto manganeso y bajo silicio.

En general, la cinética del proceso es muy rápida. Todos estos elementos, incluido el carbono, se oxidan desde el inicio aunque con diferentes intensidades. Así, se indica que en los inicios del soplado la oxidación del silicio es más rápida que la del carbono y la del manganeso; por esto, la disminución del contenido del carbono es poco significativa, Figura 1. Sin embargo, cuando el valor del porcentaje de silicio es menor que uno, se intensifica su oxidación. (4)

Si la inyección del oxígeno gaseoso a la fundición se realiza a altas velocidades, se produce una intensa agitación que favorece la cinética de las reacciones. El único factor determinante de la velocidad de oxidación es la transferencia de masa del elemento oxidante hacia el frente de oxidación formado, por esta razón, los métodos de inyección de oxígeno dentro del baño son más eficientes. La tabla 1 (4) muestra el rendimiento del oxígeno inyectado con relación al utilizado en la oxidación del Si, Mn y Fe en estos procesos.

CONSUMO DE OXIGENO

Consideremos una fundición líquida a una temperatura de 1.400 °C. A esta temperatura los elementos silicio y manganeso se encuentran en solución en el hierro y el

Elemento	%de Oxígeno que reacciona con relación al % inyectado
Silicio	40%
Manganeso	3,5%
Hierro (escoria)	26%
Hierro (humos)	27,5%
Pérdida de aire	3%
Aumento teórico T	140°C
Aumento real T	90°C
Eficiencia térmica	63%

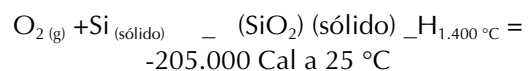
Tabla 1. Eficiencia del oxígeno inyectado en la oxidación del Si, Mn y Fe.

oxígeno se encuentra en estado gaseoso. Si se toma como ejemplo el silicio, su oxidación se expresa:

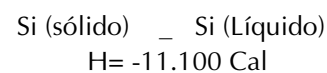


Si se ignoran las reacciones de la sílice con otros constituyentes de la escoria, la reacción anterior se divide en:

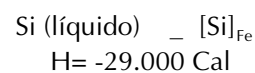
Calor de formación:



Calor latente de fusión:



Calor de disolución en el Fe líquido:



En total, el calor de reacción a 1.400 °C será aproximadamente de 187.000 Cal/mol de silicio. Si se toma para el cálculo una tonelada de fundición, la oxidación de 0,01% Si que equivale 3,56379 moles de silicio, producirá 666,430 KCal. Ahora, como por cada mol de Si se requiere de una mol de O₂, se necesitarán 0,114 Kg de O₂ para oxidar 0,01%Si. A 1.400 °C de temperatura, el calor requerido para elevar la temperatura del oxígeno a la temperatura de reacción (temperatura del baño), se determina:

$$Q_p = m C_p \Delta T \quad [2]$$

En donde:

m = Cantidad de oxígeno inyectado (0,114 Kg).

C_p = Calor específico del oxígeno = 0,225 KCal/Kg/°C para un rango de temperatura entre 20 y 1.400 °C.

$$\Delta T = 1.400\text{ }^\circ\text{C} - 20\text{ }^\circ\text{C}.$$

Se obtiene

$$Q_p = 40,1166 \text{ KCal}.$$

Luego el calor neto de la reacción de oxidación de 0,01%Si por tonelada de fundición será de 626,314 Kcal. Este calor

permite calcular el aumento teórico de la temperatura de la fundición, mediante la expresión:

$$\Delta T = Q_p / m C_p = 3,13^{\circ}\text{C}$$

En donde:

$$Q_p = 626,314 \text{ KCal}$$

$$m = 1.000 \text{ Kg de fundición}$$

$$C_p = 0,2 \text{ KCal / Kg}^{\circ}\text{C}$$

manera se determina el aumento de temperatura por la oxidación del cualquier elemento presente en la fundición. Tabla 2 (4).

Elemento	$^{\circ}\text{C}/0,01\%$ (tonelada de fundición)
Silicio	3,13
Fósforo	2,00
Carbono	1,30
Cromo	1,20
Manganeso	0,80
Azufre	0,80
Hierro	0,50

Tabla 2. Aumento teórico de la temperatura de la fundición a 1.400°C , al oxidar con oxígeno puro $0,01\%$ del elemento considerado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En una primera etapa se programaron cinco ensayos. Los dos primeros se realizaron en una acería en un cubilote con revestimiento ácido, soplo frío, doble hilera de toberas y extracción continua por canal autoescoriador. $D_i = 1.100 \text{ mm}$.

Los tres restantes en un cubilote con doble hilera de toberas, revestimiento ácido, soplo frío, y colada continua por sifones diferentes, situado en los laboratorios de Fundición de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales UIS, $D_i = 600 \text{ mm}$.

Se utilizaron lanzas en acero bajo carbono con diámetros internos de 10 mm y 16 mm sin costura, sin recubrimiento y de 3 metros de longitud. En la acería se trataron en cada ensayo 1.000 kg de fundición líquida en una cuchara con revestimiento neutro. En los ensayos desarrollados en el laboratorio de fundición de la Escuela de Metalúrgica se trataron 300 kg en un antecrisol con revestimiento básico, vertical, no basculante. Figura 4.

Este antecrisol fue diseñado especialmente para la realización de los ensayos. Los principales parámetros de procedimiento establecido fueron:

- Presión de inyección de oxígeno.
- Diámetro de la lanza.
- Peso de la fundición.
- Tiempo de inyección.



Figura 4. Antecrisol.

Variables medidas:

- Composición química de la fundición.
- Consumo de oxígeno.
- Temperatura inicial y final de la fundición.

Parámetros calculados.

- Eficiencia de oxígeno en la oxidación de los elementos.
- Eficiencia térmica.

SECUENCIA DEL PROCESO

La fundición se recibe directamente del cubilote al antecrisol o cuchara y tan pronto se comienza a llenar se introduce el desulfurante, que es una mezcla de cal, espato, Na_2CO_3 y CaCl_2 que se caracteriza por tener un bajo punto de fusión (5). Con una adición entre el $1,0\%$ y el $1,5\%$ con relación al peso de la fundición tratada, la desulfuración se acompaña con agitación a través de un tapón poroso con inyección de nitrógeno (comercial $99,6\%$) durante 6 minutos . Este tiempo es tres minutos menor del que se gasta en llenarse el antecrisol. Junto con el desulfurante se adiciona la cantidad de Fe-Si y Fe-Mn establecida, que serán las fuentes termógenas principales al inyectarse el oxígeno. Este procedimiento evita cargar Fe-Si y Fe-Mn con la carga metálica en el cubilote, lo cual tiene dos efectos positivos: En primer término, aumenta la carburación de la fundición y, en segundo, nos ahorra el 15% Si y el 25% Mn que se pierde por oxidación en las ferroaleaciones. Estos valores son mayores en nuestro caso, debido a que en el país solo se consiguen Fe-Si y Fe-Mn con altos porcentajes (75%). Estas adiciones, importantes en su masa, causan una notable disminución de la temperatura de la fundición. Con la escoria dentro del crisol se mide la temperatura por inmersión* y se toman muestras de fundición para análisis térmico y de temple. En este momento se procede a la inyección de oxígeno a través de un tubo de acero de bajo carbono introduciéndolo aproximadamente 10 cm bajo

* Equipo de Melt-Lab (Leeds & Northup. Co).

la superficie del metal, con una inclinación más o menos de 60° respecto a la horizontal (6).

RESULTADOS

Las siguientes tablas y figuras muestran las variaciones de la composición química y de las temperaturas de la fundición en función del tiempo de inyección para diferentes condiciones de operación.

La figura 6 muestra en conjunto las curvas del incremento

de la temperatura de la fundición en función del tiempo de inyección de oxígeno.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Aspecto térmico

— El aumento de la temperatura de la fundición en los ensayos 3, 4 y 5 desarrollados en el laboratorio de fundición de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, es mayor que los obtenidos en la acería 1 y 2. Posible-

Ensayo No. 1						
Tiempo de inyección (min)	Temperatura (°C)	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	1164	3,06	1,99	0,545	0,07	0,157
2	1219	3,12	1,89	0,505	0,147	0,147
4	1223	3,165	1,81	0,485	0,084	0,136
6	1255	3,19	1,76	0,47	0,058	0,1185
Variación	91	-0,13	-0,23	-0,075	-0,012	-0,039

Ensayo No. 2						
Tiempo de inyección (min)	Temperatura (°C)	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	1170	3,16	1,9	0,60	0,172	0,095
2	1202	3,15	1,73	0,58	0,180	0,100
4	1225	3,10	1,68	0,54	0,204	0,104
6	1265	3,06	1,62	0,504	0,194	0,105
Variación	95	-0,10	-0,28	-0,096	+0,02	+0,01

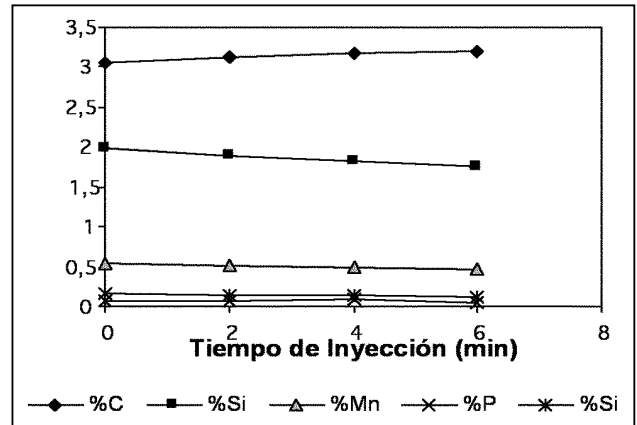
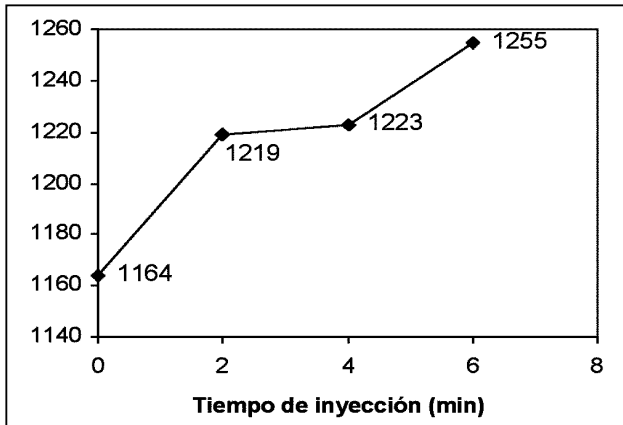
Ensayo No. 3						
Tiempo de inyección (min)	Temperatura (°C)	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	1376	3,20	2,03	0,45	0,117	0,042
2	1391	3,16	1,91	0,37	0,110	0,051
3,15	1410	3,18	1,75	0,34	0,110	0,046
4,5	1454	3,20	1,72	0,33	0,097	0,067
Variación	78	0	-0,31	-0,12	-0,02	+0,025

Ensayo No. 4						
Tiempo de inyección (min)	Temperatura (°C)	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	1391	3,39	2,36	0,58	0,094	0,01
2	1431	3,26	2,18	0,51	0,133	0,01
4	1469	3,25	2,04	0,49	0,142	0,01
6	1500	3,27	2,00	0,44	0,135	0,02
Variación	109	-0,12	-0,36	-0,14	+0,041	+0,01

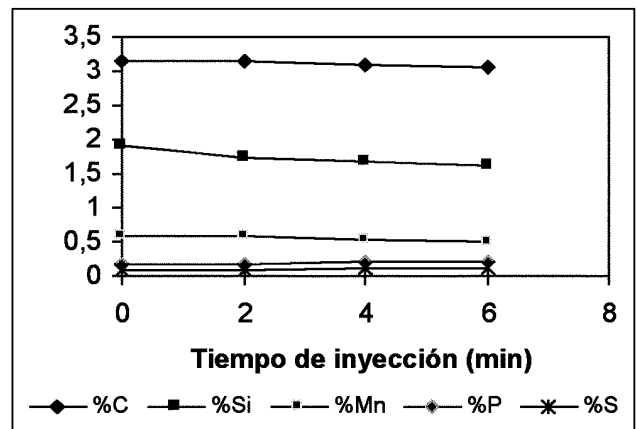
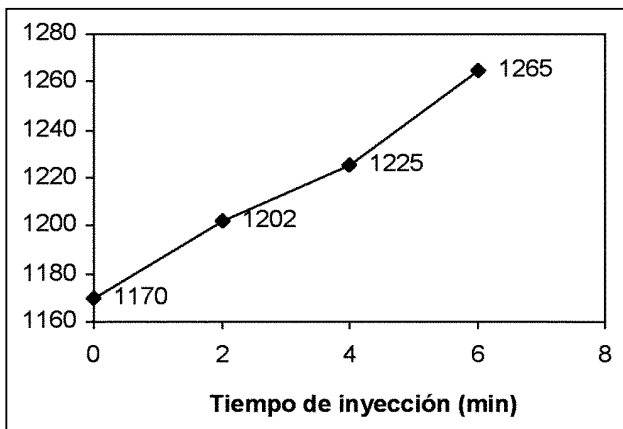
Ensayo No. 5						
Tiempo de inyección (min)	Temperatura (°C)	%C	%Si	%Mn	%P	%S
0	1287	3,34	2,06	0,52	0,117	0,038
2	1342	3,29	1,9	0,38	0,122	0,036
4	1396	3,27	1,65	0,36	0,116	0,047
6	1519	3,19	1,35	0,32	0,137	0,058
Variación	232	-0,15	-0,71	-0,20	+0,02	+0,02

Tabla 3. Variación de la Temperatura y la Composición Química de la Fundición durante la Inyección de Oxígeno.

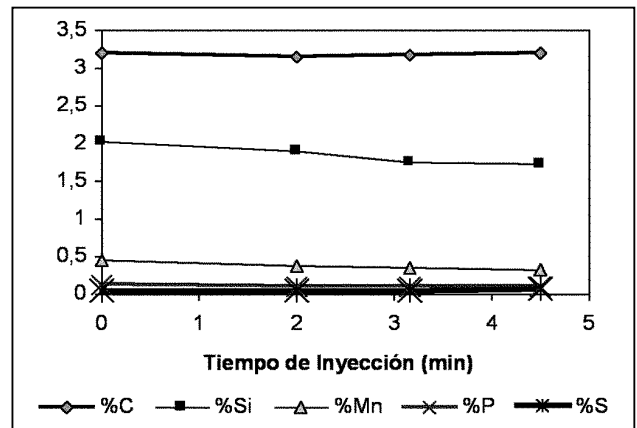
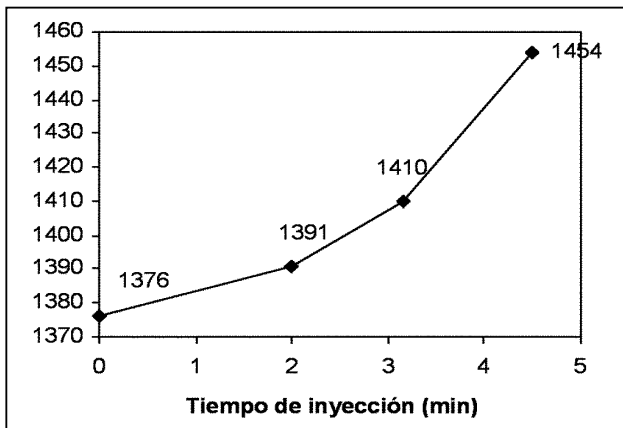
Ensayo No. 1



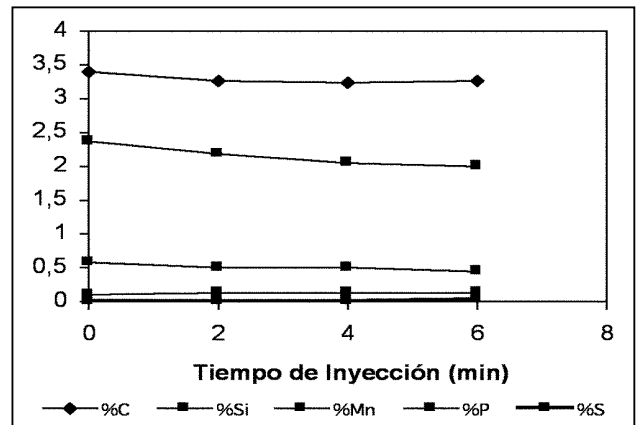
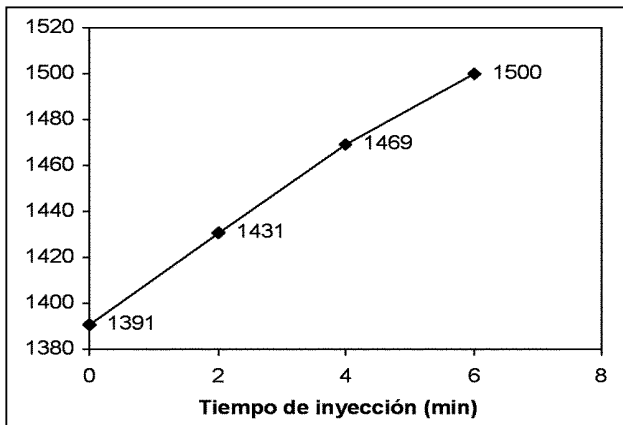
Ensayo No. 2



Ensayo No. 3



Ensayo No. 4



Ensayo No. 5

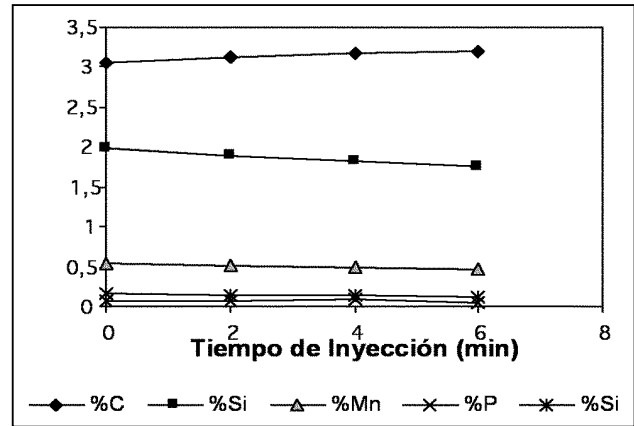
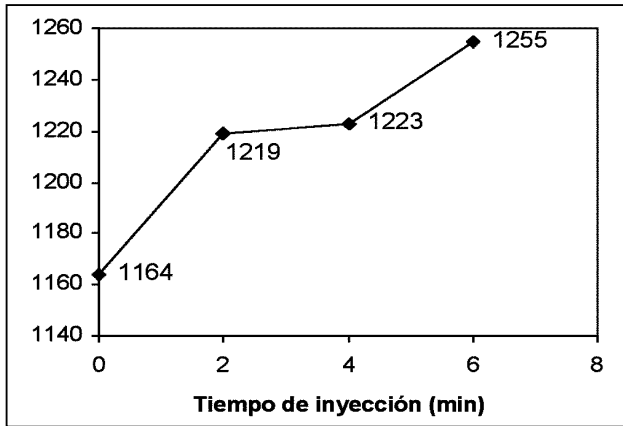


Figura 5. Variación de la temperatura y la Composición Química de la Fundición durante la inyección de oxígeno.

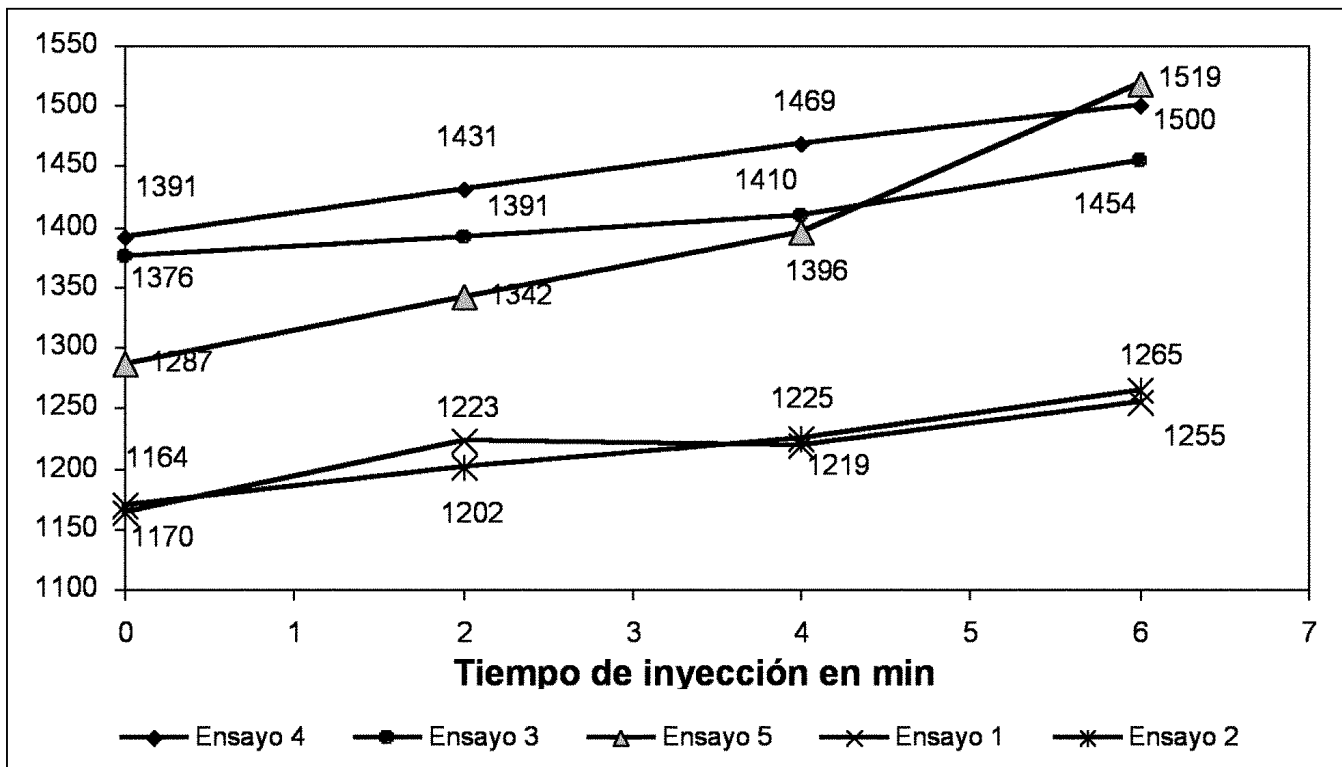


Figura 6. Aumento de temperatura de la fundición para varias condiciones de inyección de oxígeno.

mente originado por el mejor control de las variables de operación. Las condiciones mas favorables para lograr mayores aumentos de temperatura, según la figura 6 son:

- Baja temperatura inicial de la fundición.
- Alta presión de inyección y alto consumo.

La figura 7 representa la influencia del gasto de oxígeno y de la presión de inyección en el aumento de la temperatura de la fundición. Se puede indicar:

— Para igual diámetro de lanza, al aumentar la presión, y por consiguiente, el consumo de oxígeno, se incrementa el gradiente térmico. Esto se explica por la teoría de las colisiones que indica la forma como ocu-

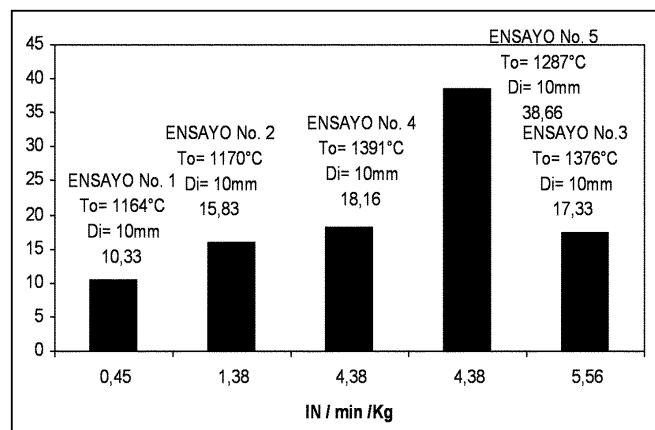


Figura 7. Influencia del gasto específico de oxígeno y la presión de inyección sobre el aumento de temperatura de la fundición.

ren las reacciones entre el oxígeno y los elementos de aleación, en condiciones de alta velocidad de inyección y con elevado gasto, lo cual ocasiona una gran agitación en el baño, que lleva a incrementar la cinética de las reacciones. Según (7), el efecto de la velocidad de inyección del oxígeno gaseoso (m/min), sobre la velocidad de oxidación del silicio, se incrementa al emplear velocidades de inyección superiores a 7.500 m/min. Figura 7, ensayo 5. El aumento de temperatura obtenido en el ensayo 5 es de 252°K, es decir, menos de 20°K del que se obtendría según la termodinámica.

- La pendiente de la curva de aumento de temperatura es mayor si la temperatura inicial de la fundición es baja, ensayos 4 y 5. Esto está de acuerdo con la teoría termodinámica de oxidación de los elementos (Diagrama de energía libre de formación de óxidos).
- La eficiencia del oxígeno en la oxidación de los elementos de aleación disminuye a medida que aumenta el gasto específico de oxígeno. Figura 8, ensayos 1,2,3 y ,4...
- Al relacionar la eficiencia de la oxidación con la eficiencia térmica se construye la figura 9.

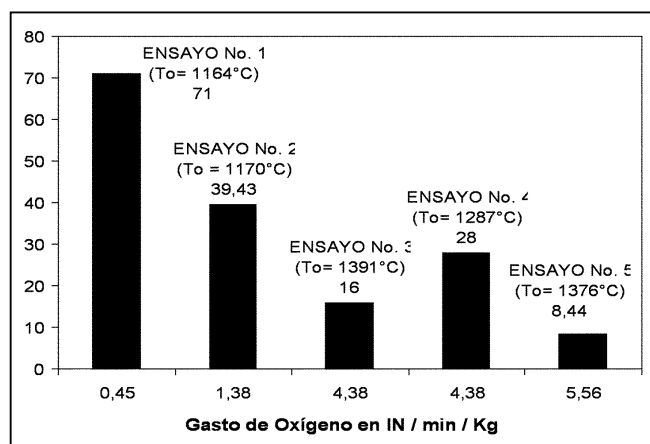


Figura 8. Eficiencia del oxígeno en la oxidación de los elementos de aleación de la fundición en función de su gasto específico.

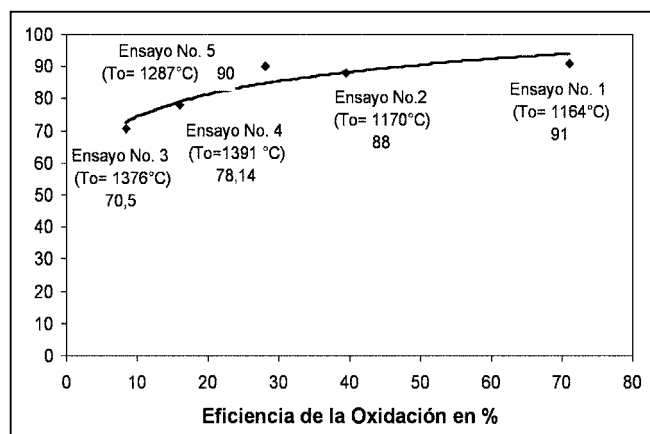


Figura 9. Correlación entre la eficiencia térmica y la eficiencia de la oxidación de los elementos de aleación.

— Si por eficiencia térmica se entiende el aumento real de temperatura con relación al aumento teórico calculado de los porcentajes de elementos oxidados según análisis químico y los valores termodinámicos. Tabla 1, se puede indicar:

- A mayor eficiencia de oxidación, mayor eficiencia térmica del proceso.

Las mayores eficiencias térmicas y de oxidación se lograron con baja presión de inyección, bajo gasto específico de oxígeno y con relativa baja temperatura del baño. Sin embargo, la cinética del proceso, en este caso es pobre. Teoría de las colisiones.

Si por eficiencia térmica se entiende el aumento real de temperatura con relación al aumento teórico calculado de los porcentajes de elementos oxidados según análisis químico y los valores termodinámicos. Tabla 1, se puede indicar:

A mayor eficiencia de oxidación, mayor eficiencia térmica del proceso.

Las mayores eficiencias térmicas y de oxidación se lograron con baja presión de inyección, bajo gasto específico de oxígeno y con relativa baja temperatura del baño. Sin embargo, la cinética del proceso, en este caso es pobre. Teoría de las colisiones.

ASPECTOS METALÚRGICOS

La composición promedia buscada de la fundición después de la desulfuración:

- %C: 3,20% - 3,50%
- %Si: ≤ 1,0%
- %Mn: ≤ 0,4%
- %P: ≤ 0,07%
- %S: ≤ 0,05%

• La decarburación del carbono durante la inyección de oxígeno operado en los ensayos puede considerarse como moderada. En los ensayos 4 y 5 en donde se obtuvo temperaturas del orden de los 1.500°C la decarburación fue de 0,12% y 0,15% respectivamente.

• Se observa una pobre desulfuración en los ensayos 1 y 2. Estos ensayos fueron realizados en la acería y se utilizó carbonato de sodio como desulfurante. En los ensayos hechos en el laboratorio la desulfuración fue eficiente.

• El contenido de azufre de la fundición durante la inyección de oxígeno no sufrió mayores variaciones. Sin embargo, los ligeros aumentos observados en los ensayos 3, 4 y 5 podrían deberse a errores en la toma de muestras o en los análisis.

• Inyecciones de oxígeno a presiones mayores de 7Kg/cm² originó gran turbulencia y altas proyecciones de metal. Figura 10.

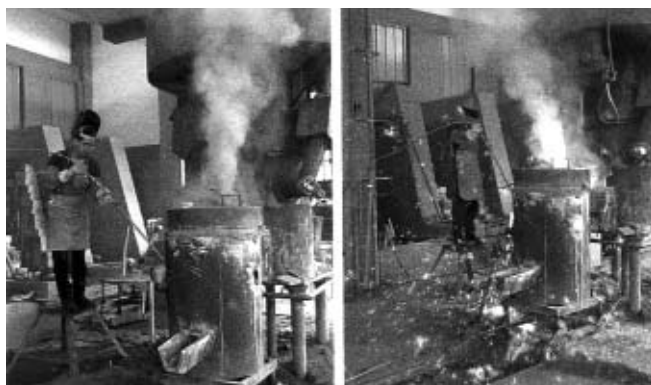


Figura 10. Oxidación del Fe y del Si.

- En todos los ensayos el contenido de fósforo permaneció prácticamente invariable después de la oxidación. Las pequeñas variaciones que se aprecian en los ensayos se deben posiblemente a errores en la toma de las muestras.

La composición química de la escoria formada durante la oxidación se presenta en la tabla 8.

Se toma la siguiente expresión para determinar el índice de basicidad:

$$Ib = \%CaO + \%MgO/\%SiO_2$$

La elevada acidez de la escoria formada en la inyección de oxígeno, puede ser la causa de la reversión del azufre en la fundición.

La figura 11 muestra la metalografía de la fundición oxidada. Se aprecia el grafito tipo A con un tamaño menor

Sustancia (%)	Ensayo 3	Ensayo 4
CaO	16,90	14,00
SiO ₂	36,60	40,73
Al ₂ O ₃	7,00	8,98
FeO	16,00	28,10
MgO	5,80	3,07
MnO	4,89	5,42
S	0,3	-
IB	0,46	034

Tabla 8. Composición química de dos escorias después de la inyección de oxígeno.

en las muestras oxidadas, la estructura es perlítica y no se aprecia cementita libre.

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- La inyección de oxígeno gaseoso a una fundición líquida es un método eficaz para adaptarla térmicamente para posteriores tratamientos que mejoran su calidad.
- Temperaturas iniciales de fundiciones con algunos grados por encima de la temperatura eutéctica, no presentan inconvenientes en calentarlas por este procedimiento.
- Aunque bajas presiones y/o bajos gastos específicos de oxígeno aumentan la eficiencia de la oxidación, no se consideran condiciones viables de operación, porque la cinética de las reacciones es baja. Ensayos 1 y 2.
- Presiones entre 7Kg/cm² y 10 Kg/cm², y gastos de oxí-



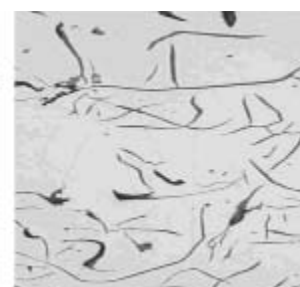
a. Probeta SCH1 – B
Sin ataque. Grafito laminar tipo A. Tamaño 2,3. 100X.



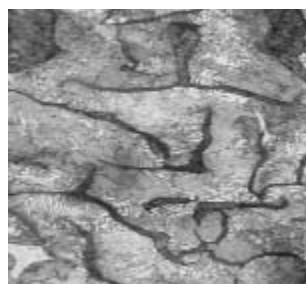
b. Probeta MB1 – B
Sin ataque. Grafito laminar tipo A. Tamaño 3,4. 100X.



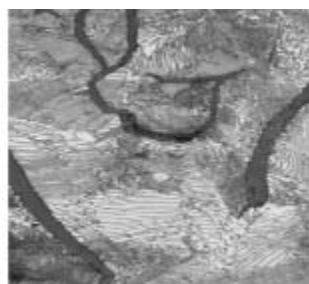
c. Probeta SCH2 – C
Sin ataque. Grafito laminar tipo A. Tamaño 3,4. 100X.



d. Probeta MB2 – C
Sin ataque. Grafito laminar tipo A. Tamaño 4,5. 100X.



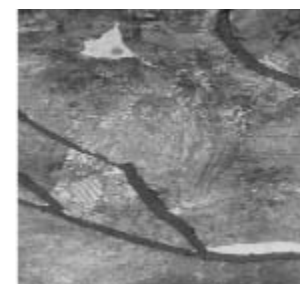
e. Probeta SCH1 – B
Ataque Picral. Matriz perlítica. 500X.



f. Probeta SCH2 – C
Ataque Picral. Matriz perlítica. 500X.



g. Probeta MB1 – B
Ataque Picral. Matriz perlítica. 500X.



h. Probeta MB2 – C
Ataque Picral. Matriz perlítica. 500X.

Figura 11. Metalografías de la Fundición oxidada.

PROBETA	Elementos de la composición química														
	%C _{EQUI}	%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Cu	%Ni	%Cr	%V	%Ti	%Mo	%Al r	%Sn r	%Mg r
SCH1 - B	4,1	3,46	1,91	0,34	0,033	0,17	0,35	0,18	0,2	0,02	0,02	0,055	0,011	0,038	0,005
SCH2 - C	4,1	3,36	2,26	0,39	0,04	0,17	0,33	0,23	0,23	0,02	0,02	0,051	0,019	0,025	0,005
MB1 - B	4,16	3,43	2,17	0,63	0,031	0,18	0,35	0,28	0,26	0,02	0,02	0,057	>0,048	0,031	0,006
MB2 - C	4,1	3,32	2,35	0,69	0,033	0,16	0,31	0,24	0,21	0,02	0,02	0,058	>0,048	0,023	0,006

Tabla 9. Composición química de las fundiciones obtenidas.

geno entre 3.726 IN/min y 5.930 IN/min, con lanza de 10 mm de diámetro interno o menor, son condiciones sugeridas para obtener temperaturas iguales o superiores de 1.500°C en un tiempo de 6 min.

- La oxidación de 0,66%Si en la fundición, bajo las condiciones de inyecciones indicadas parecen ser suficientes para adecuar térmicamente la fundición para someterla a tratamientos que mejoren su calidad metalúrgica.
- Con sorpresa se observa en el examen metalográfico de la probeta de la fundición oxidada, la ausencia de inclusiones de óxidos.

BIBLIOGRAFIA

1. Lars Erik Björngren Roland Koss: Production de Qualités Diferentes de Fontesgrises à partir de Fonte de Base Unique. Hommes et Fonderie. Enero-febrero 199? p 41-44.
2. Dieter Janke, Fundamental Studies on the Removal of Si, P, S and other Trace Elements from Hot Metal. Pretreatment of Blast Molten Iron. Iron & Steel Society. AIME. USA, 1992. p 133,134.
3. Apraiz Barrero J, Fabricación de Hierro, Aceros y Fundiciones Tomo II, Ed 1 Bilbao, 1978 p 384-404.
4. Charles. J.A, Oxygen in Iron and Steel Making. Interscience Publisher, Mc New York, 1956 p 27.
5. Alonso A, Mejia E, y Castillo J, Desulfurantes no Convencionales en Fundiciones de Cubilote. Moldeo y Fundición, México, V 1 p49-54, 2000.
6. Bossa J, Hurtado A y Alonso A. Inyección Controlada de Oxígeno a un Baño de Fundición Desulfurado para Adaptarlo Térmicamente al Proceso de Esferoidización. Trabajo de grado, UIS, Bucaramanga, 2001.
7. Núñez C, Vásquez C, Alonso A, Estudio Cinético de las Reacciones de Silicio y Manganeso Durante el Proceso de Inyección de Oxígeno a una Fundición Líquida. Revista Fundidores, España, V 112 p20-24, 2004.

Servicio Lector 00 ■