

OPTIMIZACIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBÓN PARA EL PROCESO DE PRE-DESOXIDACIÓN EN EL ACERO

R. Duarte Sánchez

Instituto Tecnológico Superior de Monclova
rduarte7@gmail.com

H. Aguilera Mancilla

Instituto Tecnológico Superior de Monclova
aguilera_mancilla@hotmail.com

D. Martínez Almendariz

Instituto Tecnológico Superior de Monclova
duvatec@hotmail.com

J. Sánchez Montemayor

Instituto Tecnológico Superior de Monclova
jesus_sanchezm@hotmail.com

Resumen

Este trabajo está enfocado al desarrollo de una práctica de vaciado para obtener un contenido de carbón a partir de los diferentes grados de acero que existen lo cual no se aplica en las prácticas de desoxidación actual.

La desoxidación del acero es la operación metalúrgica que se lleva a cabo principalmente durante el vaciado del mismo a la olla, con el propósito de disminuir el contenido de oxígeno disuelto en el acero líquido al nivel requerido, según el grado y la acción deseada. Para fabricar acero bajo carbón, partiendo de un contenido de carbón mayor al especificado, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: temperatura, ppm y el % de carbón residual, % C final en la olla, así como del carbón perdido en olla llena y a $\frac{3}{4}$.

Las ecuaciones encontradas sobre la pérdida de carbón durante el vaciado, se incorporaron como punto de partida en una tabla de base relacionando el contenido de carbón residual del acero con respecto al del carbón esperado en el acero.

Las prácticas de pre desoxidación actuales involucran una gran cantidad de variables, las cuales son difíciles de evaluar debido a la interacción que tienen con el oxígeno disuelto en el baño del convertidor y la absorción durante el vaciado del acero del convertidor a la olla.

Aprovechando la práctica de pre desoxidación con alto carbón residual, se garantiza la obtención de bajos niveles de O₂ disuelto en el acero líquido, incremento en la vida del revestimiento del convertidor, así como durabilidad en la vida del agujero de vaciado.

Palabras clave: Gestión del diseño, propiedad intelectual, innovación.

Abstract

This work is focused to the development of a casting practice to obtain a coal content from the different steel degrees that exist which actually is no applied in the practices of desoxidation.

Steel deoxidation is the metallurgical operation is carried out mainly during the casting to the pot, in order to reduce the content of dissolved oxygen in the liquid steel at the required level, depending on the degree and the desired action. Steelmaking low carbon, from a content higher than the specified coal, were taken into account the following parameters: temperature, ppm and % carbon residual, % final C in the pot and coal lost in pot full and $\frac{3}{4}$.

The equations found on the carbon loss during casting, joined as a starting point based on a table relating the residual carbon content of steel with respect to the expected carbon content in the steel.

The pre-oxidation current practices involve a lot of variables, which are difficult to assess due to the interaction with the oxygen dissolved in the bathroom of the converter and absorption during casting of steel converter to pot.

Taking advantage of pre deoxidation practice with high residual carbon, is guaranteed to obtain low levels of dissolved O₂ in the liquid steel, the increase in the converter lining life and durability life drain hole.

Keywords: Design management, intellectual property, innovation

1. Introducción

La primer etapa del proceso de producción de acero, consiste en la fusión de una carga metálica constituida principalmente de hierro (Fe), cuyo punto de fusión es superior a 1500 °C, por lo que se requieren reactores metalúrgicos especiales que suministren la cantidad de calor necesario para alcanzar ciertas temperaturas. En esta primera etapa, se genera un sistema termodinámica constituido por una fase líquida (baño metálico), una fase pastosa (la escoria), una fase gaseosa (la atmósfera) y una fase sólida (el refractario). Bajo condiciones determinadas, este sistema puede reducirse a dos fases y se le conoce como sistema metal-escoria. El metal está constituido por el metal en proceso de fabricación y la escoria está representada en función de diversos óxidos. Debido a la menor densidad de los óxidos con respecto al acero, la escoria queda en la parte superior, protegiendo parcialmente al acero de la oxidación provocada por la atmósfera.

El tipo de fusión depende del equipo, o por lo que debido a la necesidad de reducir esta etapa, se utilizan diferentes formas para acelerar la fusión, tales como la inyección de argón y/o oxígeno por la parte superior e inferior del reactor metalúrgico (convertidor). Esto permite obtener una carga metálica sobresaturada de oxígeno, lo cual ocasiona un alto desprendimiento de CO que incrementa las reacciones químicas del proceso.

El oxígeno es uno de los elementos fundamentales en la producción del acero, y aunque generalmente su presencia en el producto final, es indeseable, es vital durante el proceso. En la fabricación de acero mediante el proceso BOF, el oxígeno se utiliza para generar calor mediante reacciones exotérmicas. Dependiendo del tipo de producto final, se requiere mediante técnicas de desoxidación de su eliminación.

2. Justificación

La necesidad de optimizar las tablas de desoxidación, nació a raíz de que estas prácticas de desoxidación actuales llevadas a cabo en los grados de acero bajo carbón y bajo manganeso (<0.13% y <0.50%, respectivamente), no consideran la cantidad de carbono que se añade al acero por la adición del ferromanganeso

(FeMn). En una operación normal con adición de FeMn, el aumento en la cantidad de carbono en el convertidor se incrementa considerablemente, ya que el FeMn puede llegar a aportar desde 8 hasta 40 kg de C por cada 565 g de FeMn. Esta cantidad depende del tipo de FeMn, medio o estándar.

La práctica anterior, en la cual se agrupan todos los grados de acero con bajo carbono ($<0.06\%$), restringe el contenido de carbón máximo permitido para vaciar, por lo que es necesario resoplar para poder cumplir con la especificación. Este paso provoca un incremento en el contenido de oxígeno disuelto en el acero, y en consecuencia el aumento en el consumo de desoxidantes.

En aquellos casos donde no se aplica el resoplo, puede ocasionarse el desvío de grado de estas coladas por resultar alto carbono en la olla de acero.

3.- Desarrollo teórico

Objetivo

El objetivo consiste en la optimización del carbono para pre desoxidar el acero considerándose diferentes alternativas, desde la utilización de la práctica de pre desoxidación normal en donde se utiliza el carbón para eliminar la mitad del oxígeno disuelto, hasta la de utilizar los altos contenidos de carbón residual del baño para la eliminación parcial del mismo oxígeno disuelto en el acero.

Descripción del problema

La necesidad de la optimización de las tablas de desoxidación nace a raíz de que existe un rango en la especificación de los grados bajo carbón $< 0.13\% \text{ C y Mn } < 0.50\%$ en donde se pueden agrupar dichos grados de acero en virtud de que la especificación de manganeso se da prácticamente en 2 rangos ó sea cantidades estándar de adición de FeMn lo que representa también cantidades de carbón constantes que aporta el FeMn.

La práctica anterior agrupaba todos los grados bajo carbono $< 0.06\%$ y restringía el contenido de carbón máximo para vaciar teniéndose que resoplar por carbón para cumplir con la especificación del grado de acero, lo anterior incrementaba el contenido de oxígeno disuelto en el acero y en consecuencia el consumo de

desoxidantes.

En otros casos se intentaba el vaciado de estos grados bajo carbón con altos contenidos de carbón residual sin tenerse una práctica que indicara el contenido de carbono máximo permitido para vaciar y que se cumpliera con la especificación de carbón del grado ya en la olla de acero, el resultado de estos intentos en ocasiones era de coladas desviadas de grado por resultar alto carbón en la olla de acero.

Área de oportunidad en las prácticas de desoxidación actuales

En la figura 1 se muestra el área de oportunidad de la práctica de desoxidación para los grados de acero bajo carbón menor de 0.06% de carbón con respecto al contenido de oxígeno disuelto, en la figura 2, con respecto al contenido de carbón residual.

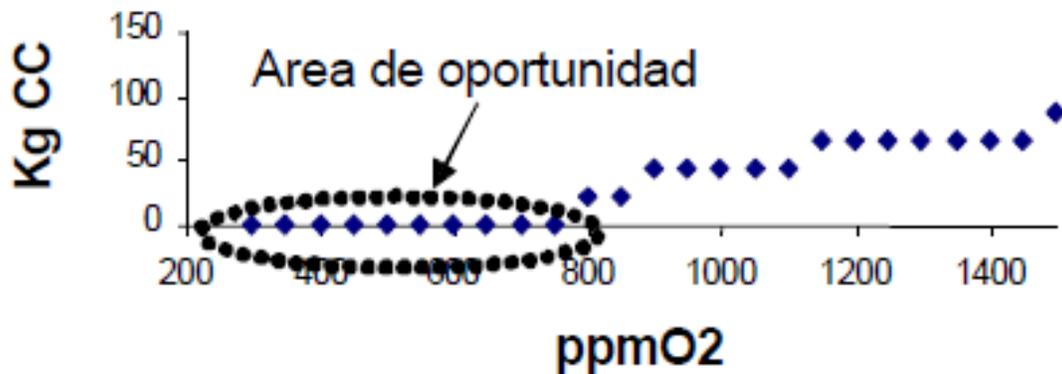


Figura 1 Práctica de pre desoxidación CC vs O₂.

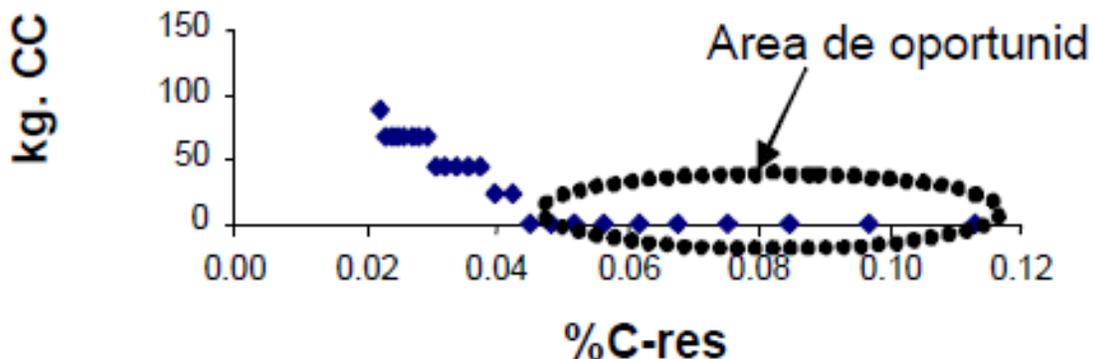


Figura 2 Práctica de predesoxidación CC vs C.

4. Desarrollo experimental

El desarrollo experimental de este trabajo de investigación consistió en dar seguimiento a las prácticas de pre desoxidación realizadas en la olla de acero durante el vaciado. Es importante mencionar, que las adiciones de pre desoxidante se realizaron a $\frac{3}{4}$ de llenado de la olla. Esta modificación de la práctica convencional, tuvo como objetivo incrementar la cantidad de carbón empleado como desoxidante y disminuir la cantidad de adición de aluminio durante el vaciado del convertidor a la olla de acero. La información estadística de estas prácticas de coladas de grados de acero bajo carbón, se recopiló para realizar los cálculos de las diferentes variables que intervienen en el proceso. También se recopiló los datos resultantes de las prácticas donde se agregó más cantidad de carbón y menos aluminio.

La selección de los tiempos de medición de las variables de composición química de la escoria y del acero, de la temperatura y de las ppm de O₂, se realizó basándose en los tiempos estándar comunes manejados durante el proceso de refinación. Estos tiempos fueron, a los 10 minutos de iniciado el soplo de O₂, lo que comúnmente se conoce como paro intermedio y a los 16 minutos cuando finaliza el tiempo de soplo. Además, se tomaron los tiempos de vaciado de acero del convertidor a la olla, tiempos de adición de carbón, ferroaleaciones y escoria sintética, con la finalidad de determinar su influencia sobre la práctica de pre desoxidación.

Finalmente, se tomaron muestras de escoria y acero, así como muestras de escoria antes y después de la adición del aluminio en alambre, para el caso de coladas sin aluminio, con la finalidad de conocer el contenido de C residual y Al en el acero.

Además, se realizaron coladas con menos escoria sintética en la práctica de vaciado sin aluminio y se tomaron muestras de escoria y acero, esto con el fin de determinar si existía desperdicio de escoria sintética y conocer los contenidos de Al₂O₃ de dichas coladas.

Metodología para la adecuación de las prácticas

Para la optimización del carbón empleado para pre desoxidar, es importante

determinar la cantidad de carbono perdido durante el vaciado del convertidor a la olla de acero. Para lo anterior, se consideraron diferentes contenidos de C residual en el acero con la finalidad de evitar los resoplos de O₂ por alto C residual. Posteriormente, se estudió la posibilidad de manejar esta pre-desoxidación con carbón a niveles de $\frac{3}{4}$ de olla en la olla, y por último en caso de niveles altos de oxígeno, agregar carbón-coque externo. La figura 3 muestra los diferentes niveles que se manejan en la olla de acero, así como las prácticas empleadas para la desoxidación del acero.

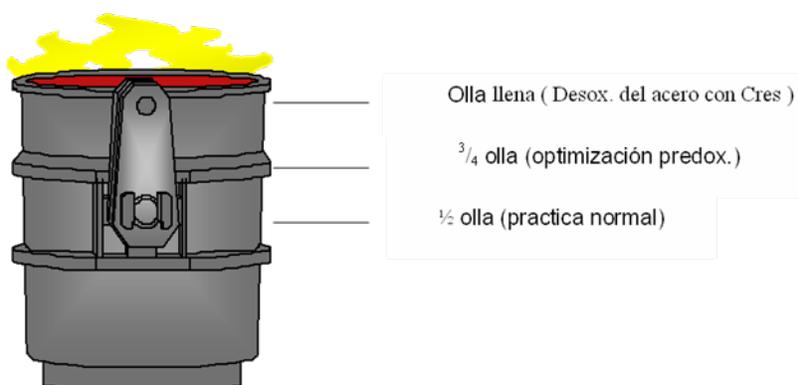


Figura 3 Niveles y tipos de pruebas para optimizar el de carbón para desoxidar el acero.

Práctica normal de pre-desoxidación en el acero

Esta práctica solamente es aplicable cuando los niveles de oxígeno disuelto en el baño de acero son superiores a las 750 ppm. El objetivo de la práctica de pre desoxidación consiste en eliminar con carbón-coque la mitad del oxígeno disuelto y el resto mediante la adición de aluminio. La figura 4 muestra la secuencia de adiciones al utilizar la práctica normal de pre desoxidación con carbón-coque, la cual consiste en:

- 1) Permitir la formación de un pequeño colchón de acero e inmediatamente agregar el carboncoque requerido para la pre desoxidación de acuerdo al contenido de oxígeno del acero
- 2) Cuando el nivel del acero ha llegado a la $\frac{1}{2}$ olla se agrega el total de aluminio requerido para la desoxidación completa del acero
- 3) Inmediatamente después del aluminio se agregan las ferroaleaciones y,

4) Finalmente, se adiciona la escoria sintética.

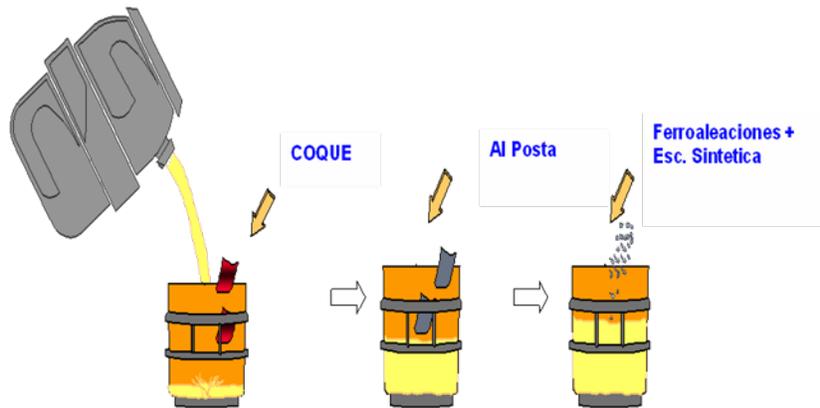


Figura 4 Uso de carbón-coque en la pre desoxidación.

Práctica del contenido de carbón residual para la desoxidación del acero

El objetivo de esta práctica consiste en aprovechar el C residual contenido en el mismo acero líquido para eliminar al máximo el contenido de oxígeno disuelto. La importancia de esta práctica consiste en terminar el soplo con contenidos altos de carbono para que la reacción de desoxidación tenga lugar dentro del mismo sistema sin requerir el aporte externo de carbón, y considerando solamente el carbón que aporta el Ferromanganeso.

Para la determinación del contenido máximo de carbono permisible para vaciar de acuerdo a la especificación del grado de acero, es indispensable considerar además del C residual, el aporte de carbón del ferromanganeso. Esta determinación es importante para conocer el carbón que puede ser eliminado mediante el oxígeno disuelto, y en consecuencia, el contenido de carbono esperado en la olla de acero. Para la determinación de la cantidad de carbono perdido durante el vaciado del convertidor a la olla de acero, se realizaron pruebas utilizando la práctica de vaciado sin agregar aluminio, permitiendo que ocurriera la reacción de desoxidación entre el carbón y el oxígeno disueltos dentro del mismo baño del acero líquido. La figura 5 muestra el efecto del carbón perdido con respecto a la cantidad de C residual contenido en el baño líquido de acero.

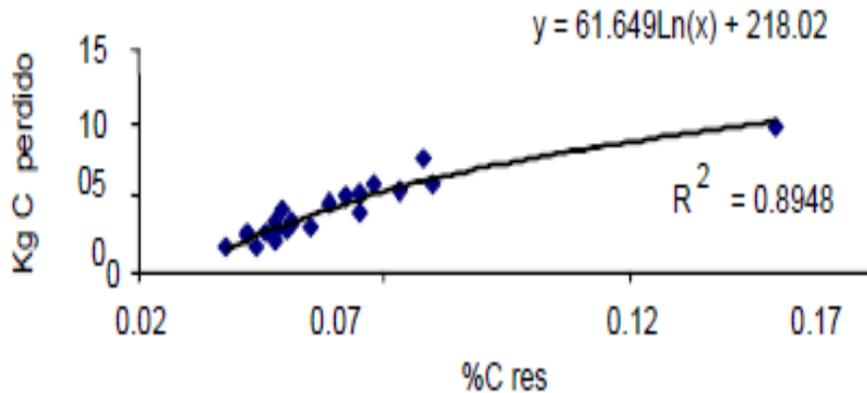


Figura 5 Carbón perdido durante el vaciado vs contenido de carbón residual.

El resultado de estas pruebas fue la obtención de una ecuación que describe el comportamiento del carbón perdido a diferentes concentraciones de C residual, encontrándose una mayor pérdida cuando se tienen mayores contenidos de C residual tal como se indica en la figura 6.

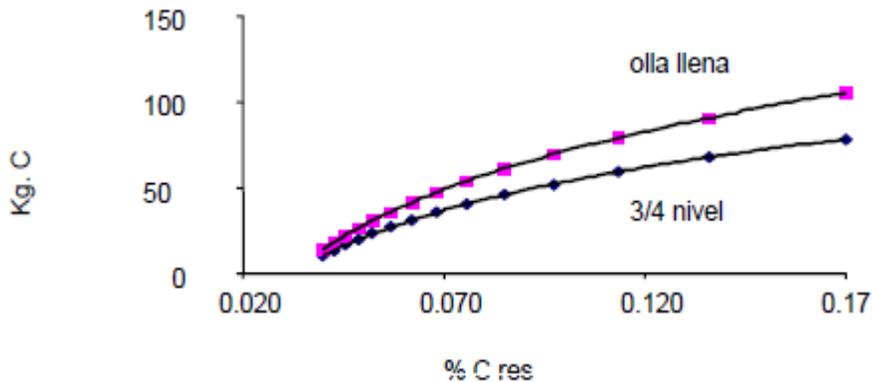


Figura 6 Carbón residual olla llena y extrapolando la ecuación a ¾ de olla.

Lo anterior es benéfico ya que altos contenidos de carbón indican:

- a) Un menor contenido de oxígeno disuelto.
- b) Una menor oxidación del baño metálico (menor contenido de FeO).
- c) Un menor consumo de aluminio para la desoxidación completa del acero.
- d) Una mayor durabilidad del refractario al trabajar con escorias menos oxidadas.
- e) Una mayor durabilidad de la vida del agujero de vaciado, entre otras ventajas.

La práctica de vaciado sin aluminio donde se utiliza C residual para la eliminación parcial del oxígeno disuelto, se representa en la figura 7.

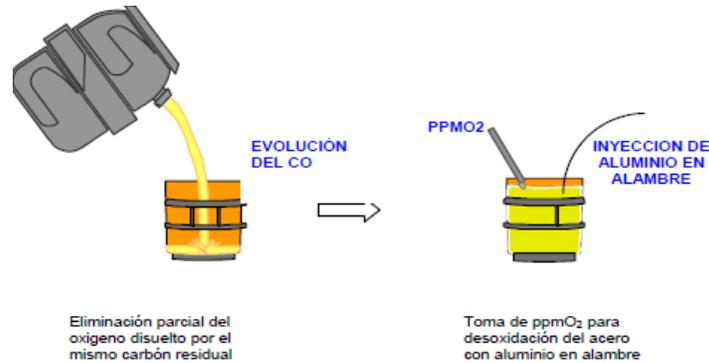


Figura 7 Práctica de utilizar el C residual para la eliminación parcial del oxígeno disuelto.

5. Resultados

Optimización para los grados de acero con $C < 0.045\%$ y $Mn < 0.25\%$

La tabla 1 muestra la especificación química para cada grado de acero dentro del rango establecido, así como las observaciones consideradas de vaciado.

Tabla 1 Especificaciones químicas de los grados de acero para prácticas de desoxidación.

% C-max Especificado	% C-res. Max. para vaciar	Observaciones
< 0.030	0.035	Utilizar la práctica de vaciado sin Al, sin agregar Carbón durante el vaciado y ajustando el Al en la olla de acero.
≤ 0.045	0.045	No utilizar Coque para predesoxidar y agregar el Al y las ferroaleaciones a 3/4 de nivel de acero en la olla

Optimización grados de acero con $C > 0.045 < 0.065\%$ y $Mn < 0.25\%$

En la tabla 2 se muestra la diferencia que existe entre la práctica anterior y actual, con respecto al uso de C-coque a partir de las 650 ppm y al ahorro de Al a partir de las 850 ppm.

En la tabla 3 se muestra la especificación de las condiciones de vaciado para cada grado de acero dentro del rango de estudio.

Tabla 2 Consideraciones de vaciado de carbón coque y aluminio.

PPMO ₂	% C res.	kg CC Práctica Anterior	kg CC Práctica Actual	kg Aluminio Practica Anterior	kg Aluminio Práctica Actual
500	0.068	Rango que se Optimizó		Rango donde no se usaba CC y/o vaciaba sin Al.	Rango se Vacía sin
550	0.062				219
600	0.057				224
650	0.052		22		255
700	0.049		44		232
750	0.045	44	44	299	241
800	0.043	22	44	308	250
850	0.04	22	44	282	270
900	0.038	44	44	291	278
950	0.036	44	44	300	287
1000	0.034	44	44		296

Tabla 3 Consideraciones de vaciado con respecto al uso de carboncoque y aluminio.

ppm	% C res	Sacos C	kg Al posta	% C olla	Observaciones
300	0.113	0			resoplar por C
350	0.097	0		0.075	Vaciar sin Al
400	0.085	0		0.070	Vaciar sin Al
450	0.076	0	250	0.080	Al y FeMn arriba de 1/2 olla
500	0.068	0	259	0.075	Al y FeMn a 1/2 olla
550	0.062	0	268	0.070	Al y FeMn a 1/2 olla
600	0.057	1	246	0.075	Al y FeMn a 1/2 olla
650	0.052	2	223	0.080	Al y FeMn a 1/2 olla
700	0.049	2	232	0.080	Al y FeMn a 1/2 olla
750	0.045	2	241	según adición C	Al y FeMn a 1/2 olla
800	0.043	2	250	"	Al y FeMn a 1/2 olla
850	0.04	2	270	"	Al y FeMn a 1/2 olla
900	0.038	2	278	"	Al y FeMn a 1/2 olla
950	0.036	2	287	"	Al y FeMn a 1/2 olla
1000	0.034	2	296	"	Al y FeMn a 1/2 olla
1050	0.032	3	274	"	Al y FeMn a 1/2 olla

6. Conclusiones

- En los grados de acero con 0.08 a 0.010 % C, se puede sustituir el uso de FeMn ½ C, ya que este contiene alto contenido de carbono (C < 0.10 %) por

FeMn estándar que contiene menor cantidad de C, y además, es más barato.

- En este trabajo se pudo observar que una mayor optimización del uso de carbono residual empleado para pre desoxidar el acero, conlleva una disminución en el consumo de aluminio durante el vaciado a la olla.
- Se pudo observar que la vida del refractario del convertidor, así como la duración del agujero de vaciado se ven beneficiados al tener menores niveles de FeO en la escoria del convertidor.
- Para lograr los mayores beneficios de la optimización del carbono para la pre desoxidación del acero, es recomendable tratar de vaciar con los contenidos de carbono residual máximos permitidos de acuerdo al grado de acero a procesar. Lo anterior implica la optimización del modelo de cálculo de carga, sistemas de pesaje y un proceso de refinación estable.
- Por último, cabe mencionar que las tablas que se obtuvieron con la optimización de la práctica, está siendo utilizadas con gran éxito en el proceso BOF 2 y CC.

7. Bibliografía

- [1] Nephtalí Calvillo Evaluación de la entrada de oxígeno y pérdida de carbono durante el vaciado del convertidor BOF a la olla de acero. Tesis de Maestría, UA de C, junio 2003.
- [2] F.D. Richardson y J.B.E. Jefes. Deoxidation of the steel with aluminium. Steelmaking shop. No.6 pp 187-281.
- [3] Conejo Nava. Curso Nacional de la Tecnología de la desoxidación del acero. Junio 21 y 22 1991.
- [4] Samarin, A.M. Application of the Deoxidation Hungary. Steelmaking shop. 1970, pp 17/23.
- [5] Plockinger, E. Clean Steel, the iron and steel institute, 1963, pp 51/56.
- [6] Ferguson, J. Control of soluble aluminium by oxygen activity. Steelmaking shop. 1983, pp 373/378.
- [7] Sigworth, G. The thermodynamics of liquid dilute iron. ASTM 1974, pp 298/310.
- [8] Fruehan, R. AISI. 1968, pp 279/301.

- [9] Turkdogan, E, T. Deoxidation of steel. ASTM Vol.210, January 1982, pp 153/170.
- [10] Kusakawa, T. Deoxidation effects of iron. AIME, vol. 61, 1978, pp 537/543.
- [11] Grethen, E- Philippe, L. Kinetics of deoxidation reactions. pp 29/33, ref. (2).
- [12] Forster, E. Kinetics of deoxidation reactions. pp 24/28. ref (2).
- [13] Chipman, J. Problem of steel deoxidation. Metal progress, August 1949, pp 211/221.
- [14] Maldonado, J. Aspectos termodinámicos de la desoxidación. UNAM.
- [15] Castro, S. Estudio e la desoxidación con altas cantidades de aluminio. Tesis de Maestria, IPN 1970.
- [16] Turkdogan, T. Deoxidation, desulphurization and inclusions in steel. January 1983, pp 54.
- [17] Landeros, V. Oxígeno en el acero. Reporte técnico IMIS a TAMSA, mayo 1977.
- [18] Vargas, G. Fundamentos de operación del soplo combinado. 1990.