

RESULTADO DE LA TECNOLOGÍA COJET® (SISTEMA DE INYECCIÓN DE GASES Y FINOS DE CARBÓN) EN ACINDAR S.A., CON CARGA CONTINUA DE HIERRO ESPONJA (DRI)¹

Francisco Torre²
Mario Suligoy²
José Luis Micheletti²
Paulo Hopperdize³
Waldemar Siniscalco³

Resumen

Este trabajo esta basado en la instalación de dos sistemas CoJet con inyección de carbón, en los hornos 4 y 6 de la empresa ACINDAR durante el año 2004 e inicio de 2005. El trabajo trata sobre los beneficios alcanzados sobre diferentes parámetros de funcionamiento de los hornos tales como: Power On, Tap to Tap, Consumo de Energía, Consumo de Electrodo, Consumo de Refractarios, Productividad, etc. y la descripción del Sistema de Inyección de Gases, los inyectores y las máquinas de inyección de finos de carbón. Adicionalmente se mencionan beneficios operativos y de seguridad otorgados por la instalación de los equipos, que le permitieron al operador automatizar la inyección de gas y carbón durante el proceso de fusión y afino. Este trabajo esta realizado de modo cronológico y abarca todas las etapas del proyecto, la instalación y puesta en marcha. El uso de Oxígeno ha sido uno de los factores más importantes en los últimos años para mejorar el Proceso de Fusión en el Horno Eléctrico, permitiendo a los operadores aumentar la eficiencia en el uso de energía química, mejorar la calidad de escoria espumosa, disminuir el consumo de Energía Eléctrica, y por consiguiente, producir un significativo aumento de la productividad. Este trabajo describe los nuevos equipos PRAXAIR CoJet instalados en ACINDAR S.A y el cambio en la Operación de Inyección de Oxígeno y Carbón. Además describe el cambio de criterio en el insuflado de Carbón y la nueva práctica de escoria espumosa. Al final se analizan los resultados obtenidos con la nueva tecnología y práctica de fusión adoptada.

¹ *Contribución técnica presentada en el XXXVII Seminário de Aciaria, , 22 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS, Brasil*

² *Ing., Jefes de Turno y Operarios de Hornos Eléctricos, Acindar*

³ *Ing, Praxair Metals Technologies / White Martins*

INTRODUCCION

Planta 2 de Acindar S.A. ubicada en Villa Constitución – Santa Fe, a orillas del Río Paraná, tiene una capacidad de 1.500.000 TON y es una planta integrada de producción de acero , que consiste en MIDREX Direct Reduction, Electric Arc Furnaces, Ladle Furnaces, Continuous Casting and Rolling Mill Plants. Produce una amplia variedad de tipos de aceros, de bajo – medio – alto carbono, de corte libre, de construcción, calmados al aluminio y de baja aleación. Esto hace que sea reconocida por su flexibilidad y experiencia, para realizar los cambios continuos de programación y proceso, necesarios para fabricar esa importante cantidad de tipos de acero, y a la vez, lograr alta productividad.

La Acería opera con 2 Hornos Eléctricos de C A de 110 Ton de Acero Líquido con transformadores de 120 MVA y reactor en serie, usando alto porcentaje de Hierro Esponja en la carga metálica.

La Tabla I muestra las especificaciones de los principales equipos y de la carga metálica.

Table 1. Equipment and Metallic Charge characteristics		
Item	Specifications	
E A F		
EAF Type	AC Tagliaferri	
Nominal charge capacity	140	Ton
Standard charge	116	Ton
Tap Liquid Steel	106	Ton
Shell diameter	6700	mm
Transformer	Toshiba - 120	MVA
Electrodes	610	mm
Movements regulator	Tagliaferri "TDR"	
Direct and Building Extraction	1,000,000	Nm ³ /hr
Oxygen injection	Praxair's CoJet	3
Carbon injection	CLYDE	2
Scrap charge	1 or 2 Buckets	
Scrap yield	89	%
DRI ANALYSIS		
Metallization	95.0	%
Total Iron	92.8	%
Carbon content	2.10 - 2.25	%
Gangue	4.5	%
DRI CHARGE		
Feed Rate	1,800 - 2,000	Kg/min
Feed Rate	25 - 27	Kg/min-Mw
Feed Start Time	8	min
Feed Duration	38	min

CoJet - TECNOLOGIA PRAXAIR PARA INYECCION DE OXIGENO

La tecnología de inyección de gas CoJet[®] de Praxair es un sistema patentado de inyección de Oxígeno con la finalidad de reducir costos y mejorar la productividad de horno eléctrico (EAFs) a través de la utilización de Energía Química.

La clave de la tecnología CoJet[®] es el diseño de un proceso y un inyector que permiten inyectar oxígeno de modo coherente a velocidad supersónica dentro del baño metálico. Los específicos inyectores montados en la pared del horno mantienen el haz de oxígeno con su velocidad y diámetro originales a través de largas distancias para entregar cantidades precisas de Oxígeno al baño metálico sin formación de cavitación y splash comparado con manipuladores tradicionales.

El sistema consta de múltiples inyectores (usualmente 1 a 4) que son fijados en las paredes del horno, alrededor de su circunferencia. El sistema montado en ACINDAR consiste en 3 inyectores que además tienen inyección de carbón en 2 de ellos (Posiciones 1 y 2).

Este inyector multipropósito funciona como un quemador, una lanza de Oxígeno y un inyector de Oxígeno para poscombustion. Este dispositivo es capaz de entregar todas las formas de Energía Química que requiere un horno eléctrico (EAF). El sistema es seguro, automático y fácilmente operable.

La Figura 1 muestra una comparación entre una lanza fija CoJet[®] versus una lanza supersónica tradicional que necesita ser manipulada.

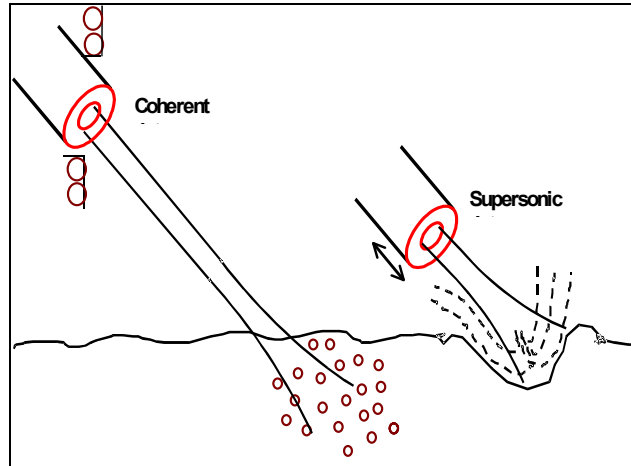


Figura 1. Coherent Jet vs. Conventional Supersonic Jet.

Lanceo:

Las características distintivas de la lanza CoJet[®] son:

- ❑ El CoJet[®] mantiene su velocidad y diámetro original así como también la concentración de gas Oxígeno y la fuerza a lo largo de una distancia equivalente a 70 veces el diámetro del vocal (entre 1 y 2 metros), distancia esta significativamente superior a la de cualquier inyector convencional (Figura 2).
- ❑ La tasa de pérdida de coherencia y caída de velocidad del jet es extremadamente baja.
- ❑ La profundidad de penetración dentro de baño líquido es aproximadamente 80 % superior a la de un jet convencional.
- ❑ El tiempo de mezclado es similar al de insuflado a través de tapones porosos.
- ❑ El Splashing se reduce considerablemente

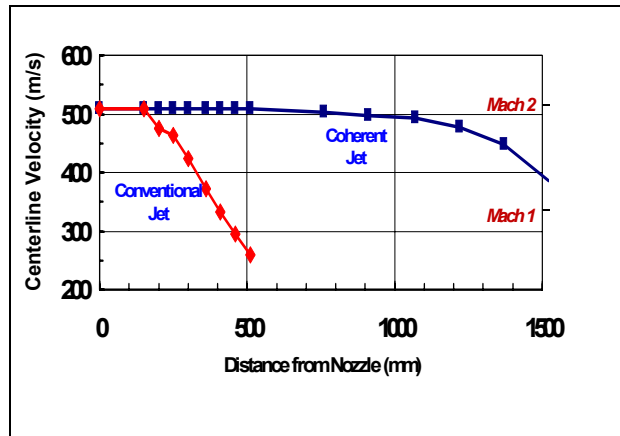


Figura 2. Comparación de velocidades entre un jet convencional y CoJet[®], ambos operando en aire con el mismo diámetro de boquilla (20.6 mm), misma presión de entrada al inyector (7 bar), misma velocidad de salida del boquilla (Mach 2.0), y mismo caudal (1050 Nm³/hr). Las mediciones fueron hechas con tubo Pitot.

Modo Quemador:

Este modo arranca automáticamente cuando la Chatarra es cargada en el horno. En este caso los inyectores operarán como quemadores calentando y fundiendo la chatarra. Con diferentes potencias de quemador predeterminadas, el modo quemador puede operar con diferentes formas de llama, yendo desde una llama ancha inicialmente para calentar la chatarra hasta una llama penetrante sobre el final de la fusión de la misma. Luego que la chatarra es fundida, los inyectores automáticamente cambian al modo lanza y decarburación siguiendo una receta operativa

Modo Post-Combustion:

Los bocales de Post-Combustion son ensamblados en el sistema CoJet® en un dispositivo separado del bloque principal. Estos bocales inyectan Oxígeno de Post-Combustion por encima del baño metálico próximo del CoJet® que inyecta Oxígeno para lanceo y decarburación.

Esta operación conforme la patente de Praxair sobre el Método de Post-Combustion, permite una alta eficiencia de post-combustion durante la fusión de la chatarra así como también durante el periodo de baño plano con formación de escoria espumosa.

BENEFICIOS TIPICOS DE LA TECNOLOGIA CoJet

- ❑ El manipulador manual de puerta es eliminado, todo el lanceo se realiza desde inyectores montados en la pared del horno.
- ❑ Energía química en todas sus formas (quemador + lanceo + post combustión) es distribuida uniformemente alrededor del horno a través de los inyectores, y no solo concentrada cerca de la puerta de escoria.
- ❑ Mas de 40 Nm³/tn de Oxígeno pueden ser inyectados con seguridad dentro del horno. Sin efectos negativos sobre la solera, delta, refractarios, electrodos, etc.
- ❑ Ahorro energético superior a 4 kwh/Nm³ O₂ (mas de 50 kwh/ton)
- ❑ Mejora la productividad – superior al 12 %.
- ❑ Menor splashing y daños en el horno debido a que el caudal por inyector es menor al utilizado en una lanza tradicional por puerta.
- ❑ Mas rápida decarburación debido a la mayor efectividad y eficiencia en el uso de Oxígeno dentro del horno.
- ❑ Mejoramiento en la formación de escoria espumosa con un significativo menor consumo de carbón.
- ❑ La puerta de escoria puede ser cerrada. Reducción de entrada de aire falso.
- ❑ Los resultados son consistentes colada tras colada.

OBJETIVO DE LA INSTALACION DE INYECTORES DE OXIGENO – CARBON

Uno de los mayores desafíos actuales para Acindar, fue aumentar la Producción de acero, de 1,350,000 Ton/año hasta 1,500,000 Ton/año. En este contexto, se tomaron medidas para aumentar rápidamente la Productividad con bajo costo de transformación y optimizando el nivel de seguridad de la Planta. En Hornos Eléctricos, luego de evaluar las características y performance de varias tecnologías de Inyección disponibles, se decidió instalar un sistema de Inyectores de oxígeno – carbón PRAXAIR'S CoJet. La primera experiencia se realizaría en HORNO 6, en Septiembre de 2004 y luego, si se obtenían los resultados esperados, se instalaría un sistema idéntico en HORNO 4, para dejar una capacidad de inyección de 40 m³/Ton Ac Líq y alcanzar una Productividad de 100 Ton/hr de Palanquillas antes de 2006.

PROCESO ANTERIOR

Debido a la gran variedad de aceros fabricados, el MIX de carga metálica va de 27 a 50 % de chatarra, 10 a 20 % de Hierro Esponja – Briquetas cargados por cesta, y el resto completado con Hierro Esponja en forma continua por cinta. Esta variación, requiere una adaptación de la Fusión para cada caso, siempre teniendo como objetivo, alta Productividad con una operación repetitiva, con una altura de escoria espumosa que permita optimizar la eficiencia térmica, disminuir agresión al refractario y evitar pérdidas de energía por paneles y bóveda refrigerados.

Considerando la necesidad de AUMENTAR la Productividad, se comenzó a trabajar en varios proyectos simultáneos.

Fuera del Horno:

- 1- Mayor procesamiento de chatarra, disminuyendo las dimensiones de retornos internos y paquetes, para fusión más uniforme y menor POWER ON.
- 2- Aumento de peso en cestas pasando de 42 Ton hasta 52 Ton, para disminuir tiempo de baño plano. Esto requirió el revamping de las 2 grúas de carga, para aumentar la capacidad hasta 90 Ton cada una.
- 3- Aumento de peso de Hierro Esponja – Briquetas cargado en cestas pasando de 10 a 20 %, para aumentar densidad de la carga por cestas.
- 4- Reducción de Demoras Operativas y de Mantenimiento, con Proyectos que aplican Metodología 6 Sigma, para disminuir POWER OFF.
- 5- Actualización y confección de nuevos Procedimientos de Operación – Proceso de todos los Sectores de la Acería, con nuevo formato, priorizando el agregado de contenidos “visuales” y diagramas de flujo, para mejorar la efectividad en la capacitación y entrenamiento de los Operadores.

Dentro del Horno:

- 1- Carga de Hierro Esponja de Alta Metalización, para disminuir POWER ON a través de menor requerimiento de Energía Eléctrica y aumento del rendimiento metálico.
- 2- Carga de Hierro Esponja de Alto Carbono, para disminuir consumo de carbón cargado en cestas (coque 20/80 mm) e insuflado para formar escoria espumosa (coque molido 0/6 mm), y poder aumentar la cantidad de energía química suministrada.
- 3- Aumento de energía química, a través de la reacción exotérmica $C + O$, por mayor utilización de Oxígeno y Carbón, para disminuir POWER ON y consumo de Energía Eléctrica.
- 4- Mejora en la fusión, con mayor eficiencia térmica por mejor calidad de escoria espumosa, intentando maximizar altura – duración de escoria espumosa durante los distintos períodos de fusión.
- 5- Reemplazo de los tubos consumibles por puerta de escoria por Inyectores Multifunción de Oxígeno – Carbón, para apurar la fusión de chatarra, mejorar la eficiencia en las reacciones exotérmicas permitiendo oxidar sin demoras hasta el final de la colada el carbón aportado en forma continua por la carga de Hierro Esponja, disminuir POWER OFF - POWER ON y fundamentalmente, disminuir la carga de trabajo de los operadores frente al horno.
- 6- Reemplazo del insuflado de carbón por bóveda a Puntos Calientes, por insuflado con Inyectores montados en pared, para aumentar rendimiento y mejorar índice de escoria espumosa, sin afectar el consumo de refractarios.
- 7- Uso del Modo CoJet/Quemador de alta eficiencia durante la fusión de la chatarra disminuyendo así el tiempo de fusión de las cestas con consecuente reducción de POWER ON y Energía Eléctrica

Si bien Acindar desde hace años decidió utilizar Hierro Esponja de Alta Metalización y Carbono, se había llegado al máximo permitido, ya que las 2 lanzas de caños consumibles eran capaces de inyectar en total, solamente 1900-2000 m³/hr, con poca eficiencia durante la fusión de chatarra, y con limitada capacidad para hacer frente a desviaciones de Carbón durante la carga continua de Hierro Esponja, produciendo demoras en el período de baño plano o sobre el final de la colada.

PROCESO ACTUAL

Debido a que la instalación de los Inyectores Multifunción de Oxígeno, produjeron un “ quiebre ”, ANTES y DESPUES en la Operación - Proceso de los Hornos de Acindar, este trabajo considerará en detalle las acciones tomadas “Dentro del Horno”, que fueron posibles justamente por la disponibilidad de la nueva tecnología.

CARGA DE HIERRO ESPONJA DE ALTA METALIZACION

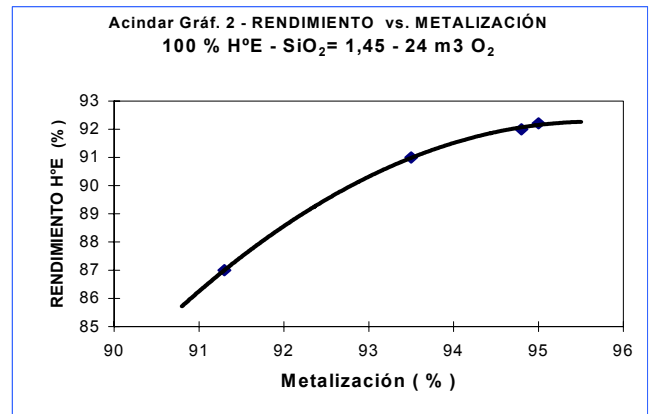
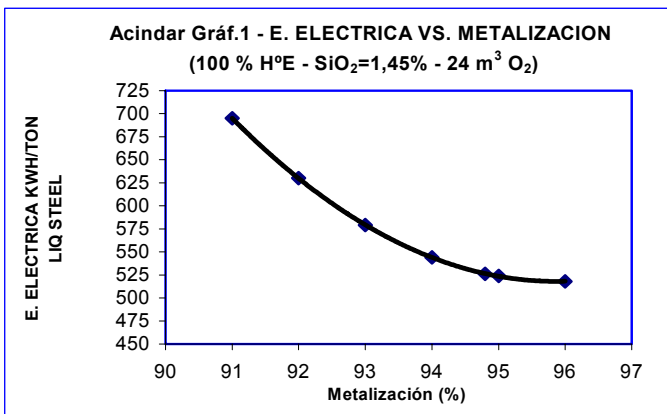
Varios métodos son utilizados para producir acero en todo el mundo, con mayor o menor éxito. La forma más conocida de dividir los distintos tipos de proceso es “desde mineras a acero” y “desde chatarra a acero”. Es un hecho probado que la ruta “desde chatarra a acero” tiene ventajas respecto del consumo de energía, ya que solo se necesita energía para fusión. Pero en el caso de Acindar, la necesidad de utilizar alto porcentaje de Hierro Esponja en su carga metálica, llevó por un lado, a optimizar las prácticas operativas de fusión, y por otro, a mejorar la logística de stock, conservación y movimientos del material reducido, consiguiendo mejorar la eficiencia térmica en la fusión, rendimiento metálico, productividad, costos operativos y seguridad en la operación. Los principales parámetros que influyen en el consumo de Energía Eléctrica en un Horno Eléctrico, son:

composición y proporciones de la carga metálica (% de chatarra, % de Hierro Esponja, uso de arrabio, análisis químico, metalización, % C, % P)

práctica operativa (potencia utilizada, foamy slag, operación con bajas demoras)

diseño del horno (pie líquido, oxígeno insuflado, cantidad de cargas por colada, velocidad de carga continua) ⁽¹⁾

Sin perder de vista la importancia de todos los factores mencionados, Acindar S.A., siempre ha priorizado la utilización de Hierro Esponja de ALTA METALIZACION, realizando luego el mix más adecuado, con la chatarra disponible en el mercado, teniendo en cuenta la necesidad de producir aceros de alta calidad, con bajos residuales y bajo contenido de Nitrógeno.



En Gráf. 1 y Gráf. 2 se muestran datos experimentales, de varios períodos bien definidos de trabajo, con distintos grados de metalización. Dichos valores se usan actualmente para analizar y evaluar distintos escenarios de operación.

El objetivo es lograr ALTA METALIZACION, sin olvidar que una cierta cantidad de óxido de hierro (FeO), es necesaria para promover una rápida (“temprana”) formación de escoria espumosa. Por esto, se considera, que un grado óptimo de metalización está entre 95 y 95,3 %, para optimizar la operación del Horno Eléctrico, sin afectar la productividad y los costos de la Planta de Reducción Directa.

La Tabla 2, muestra los beneficios de ALTA METALIZACION con importante cantidad de energía química suministrada. Se observa que en esas condiciones, es posible obtener bajos consumos de Energía Eléctrica con baja cantidad de chatarra en la carga.

Acindar TABLA 2 - Valores experimentales PROMEDIO de referencia con ALTA METALIZACION				
METALIZACION %	CHATARRA %	H°E %	Oxígeno m3/TAL	CONSUMO EE KWH/TonAcLiq
95	27	73	24	507
95,3	27	73	30	484
95	37	63	24	503
95,3	37	63	30	481

CARGA DE HIERRO ESPONJA DE ALTO CARBONO

Para estudiar los beneficios de aumentar el Carbono en el Hierro Esponja y decidir el objetivo de nuestra Planta de Reducción Directa, se realizaron experiencias basadas en las conclusiones teórico-prácticas del MIDREX – Tuscaloosa Steel, Seminar on EAF – DRI/HBI Steelmaking MAY 2000.⁽²⁾

Definiciones:

- a- Carbón TOTAL (C_T %) es la porción analizada de carbón contenido en el Hierro Esponja
- b- EXCESO de Carbón (C_E %) es la fracción del neto del requerimiento estequimétrico para reducir la porción remanente de oxido de hierro en el Hierro Esponja. (Es la mínima cantidad de carbón necesaria en el Hierro Esponja para no tener un efecto “oxidante” durante la fusión) $C_E = C_T - C_f [O_f(FeO_{DRI})]$
- c- Carbón COMBUSTIBLE (C_C %) as la porción del Carbón TOTAL disponible para combustionar con el Oxígeno inyectado. (Es el carbón “disponible” en el baño para oxidar con O_2).

$$C_C = C_T - C_f [O_f(FeO_{DRI}; FeO_{SLAG})]$$

(f = function of)

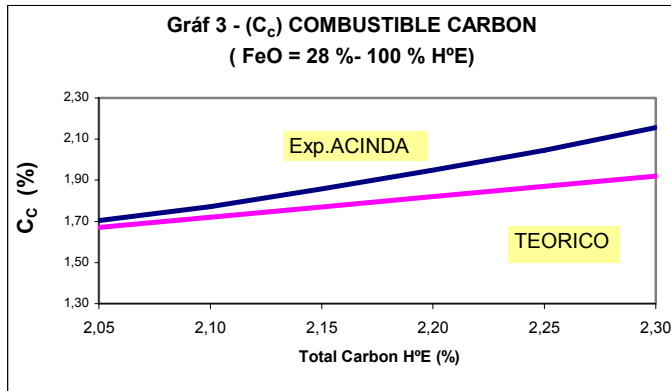
Dependiendo del oxígeno disponible y de la carga de Hierro Esponja TOTAL, alto carbón en Hierro Esponja puede ser bueno o malo (Friend or Foe)⁽²⁾. Considerando que las lanzas consumibles por puerta tienen baja eficiencia, baja tasa de inyección y que además se requiere carbón adicional para la formación de escoria espumosa, con alto carbón en el Hierro Esponja ocurrirán varios problemas, tales como atrasos por “refinamiento” o reacción violenta de escoria espumosa con salida peligrosa por la puerta de escoria.

Pero teniendo alta capacidad de oxidación, a partir de la instalación de nuestros inyectores de inyección supersónica, el carbón del Hierro Esponja es una fuente barata que provee energía por combustión hasta el fin de carga, antes del sangrado. Entre las ventajas operativas observadas, con alto carbón de Hierro Esponja, se pueden enumerar:

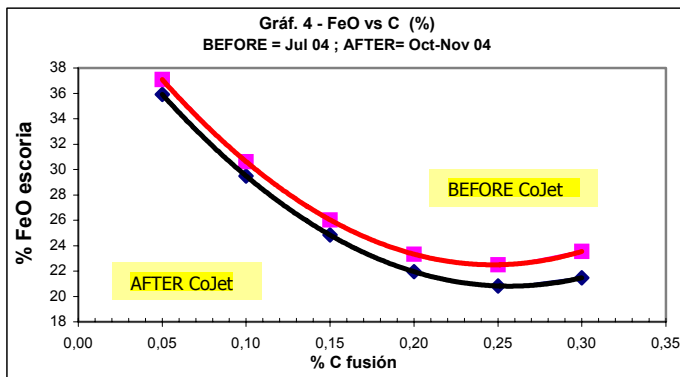
- # Menor costo de transformación por remplazo de coque en cestas y coque molido para escoria espumosa
- # Mayor rendimiento de carbón para oxidación
- # Permite oxidación continua y constante, aportando energía química en todo el volumen de líquido, mejorando la transmisión de dicha energía.
- # Cambia el equilibrio entre C – FeO, *disminuyendo el estado de oxidación en la escoria*. En nuestra Planta, esta situación es fácilmente identificable durante la operación, y se conoce entre los operarios como Hierro Esponja “duro”.
- # Con menor cantidad de FeO, disminuye la agresividad de la escoria a los refractarios
- # Con menor cantidad de FeO, aumenta el rendimiento de Acero Líquido
- # Disminuye demoras al cargar el Horno, por menor cantidad de coque en cestas y la consiguiente disminución de llamas y reacciones, que se producen cuando el coque cae sobre el fondo húmedo.
- # La disminución de llamas en la carga, alarga la vida útil de los cables de acero en las grúas de carga

Gráf. 3 muestra una curva experimental de ACINDAR, de Combustible Carbon vs Total Carbon y su relación con el cálculo teórico. En el, puede observarse que, cuando aumenta el Carbón en el

Hierro Esponja, la cantidad de Combustible Carbon (C_C %) se acerca al valor de TOTAL Carbon (C_T %), debido a un cambio en el equilibrio FeO - C (O_f (menor FeO TOTAL)).



Gráf. 4 muestra la relación promedio entre contenidos de hierro y carbón en la escoria y acero fundido respectivamente, de coladas hechas en ACINDAR, empleando diferente tasas de carga DRI / Chatarras y metalización del DRI, ANTES y DESPUES del CoJet de Praxair.



AUMENTO DE ENERGIA QUIMICA

Las **principales** reacciones EXOTERMICAS que se producen durante la fusión, con una carga que utiliza masivamente Hierro Esponja (alto carbón, bajos contenido de elementos residuales, sin arrabio). y el calor que liberan, son las siguientes :

- 1- $C (s) + \frac{1}{2} O (g) = CO (g) + 1,46 \text{ KWH} / \text{Nm}^3 O_2$
- 2- $CO (g) + \frac{1}{2} O (g) = CO_2 (g) + 5,80 \text{ KWH} / \text{Nm}^3 O_2$

Con la instalación de los Inyectores de Oxígeno, se aumentó hasta ahora, de 18 a 30 Nm^3 el Oxígeno insuflado, de 2,05 a 2,20 % el Carbono de Hierro Esponja cargado y de 15 a 20 Kg / Ton Ac Líq el carbón cargado por cestas y por Inyectores, generando en mayor grado la reacción $C + O$, disminuyendo Power On y consumo de Energía Eléctrica, con el consiguiente AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD.

Está en desarrollo la operación con Post-Combustion. La operación es conveniente en operaciones que envuelven grandes cantidades de carga de carbón o arrabio, realizada en el comienzo de la fusión, donde todavía hay chatarra sin fundir alrededor del horno, y esta es capaz de absorber el calor generado por la oxidación del CO que se encuentra en el "espacio libre" del Horno, con Oxígeno puro, disminuyendo de esta manera el consumo de Energía Eléctrica.

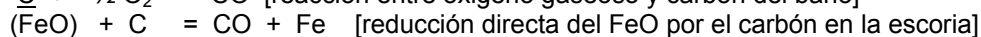
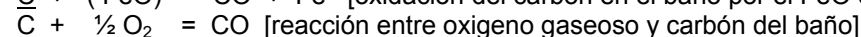
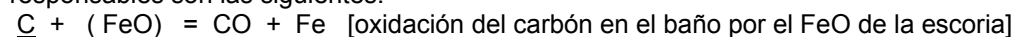
Algunos autores, que operan EAF's con carga masiva de Hierro Esponja, no reportan valores experimentales "medidos", pero podría pensarse, que en prácticas operativas con fusión uniforme (baño plano con buena homogeneidad), baja temperatura, alto carbono de Hierro Esponja, efectiva inyección de carbón para foamy slag, $20 < \%FeO < 28$ y óptima escoria espumosa, se logra CO " disponible " para producir Post-Combustion, con resultados que deben evaluarse en cada Planta, de acuerdo a " *cuanto se pueda aplicar* " al baño, de la energía liberada. De todas maneras, Post-Combustion puede ser necesario para disminuir la posibilidad de generar reacciones de alta temperatura en la salida de los gases de horno, causando alta temperatura y daños en el sistema de extracción de gases.

Acindar, está comenzando las pruebas para analizar los resultados con Post-Combustion, en las condiciones de operación – proceso actuales , y observar si se pueden obtener beneficios medibles.

MEJORA EN LA FUSION POR MEJOR ESCORIA ESPUMOSA

a practica de escoria espumosa es usada por todas las plantas modernas de acero con hornos EAF y han reducido cada vez mas el consumo de Energía Eléctrica y de electrodos. Algunos autores han estudiado la técnica de escoria espumosa y cada uno de ellos ha aportado conceptos y conclusiones muy importantes. En este trabajo presentaremos datos de la industria mundial y de laboratorio considerados y aplicados por ACINDAR.

De acuerdo con R.D. Morales y otros ⁽³⁾, "la fuerza que gobierna la escoria espumosa es una energía neumática proveniente del CO generado durante la fusión/refino en el EAF. Las reacciones responsables son las siguientes:



Según E. Burström y G. Ye ⁽⁴⁾, se puede conseguir escoria espumosa con estabilidad "infinita" por optimización de los siguiente parámetros:

viscosidad de la escoria: alta viscosidad es buena para la escoria espumosa. Esta depende de la composición y de la temperatura.

cantidad y calidad del carbón injertado: coque de petróleo tiene un buen efecto para la espumación.

temperatura de la escoria: baja temperatura es necesaria para una alta viscosidad.

FeO contenido en la escoria: es mejor para valores superiores a 10 %

tasa de inyección de oxígeno: la relación entre la altura de la escoria y la producción de gas (dC / dt), puede ser expresada como $h = h_0 + K dC / dt$, donde

h altura de la espuma

h₀ altura inicial de la espuma

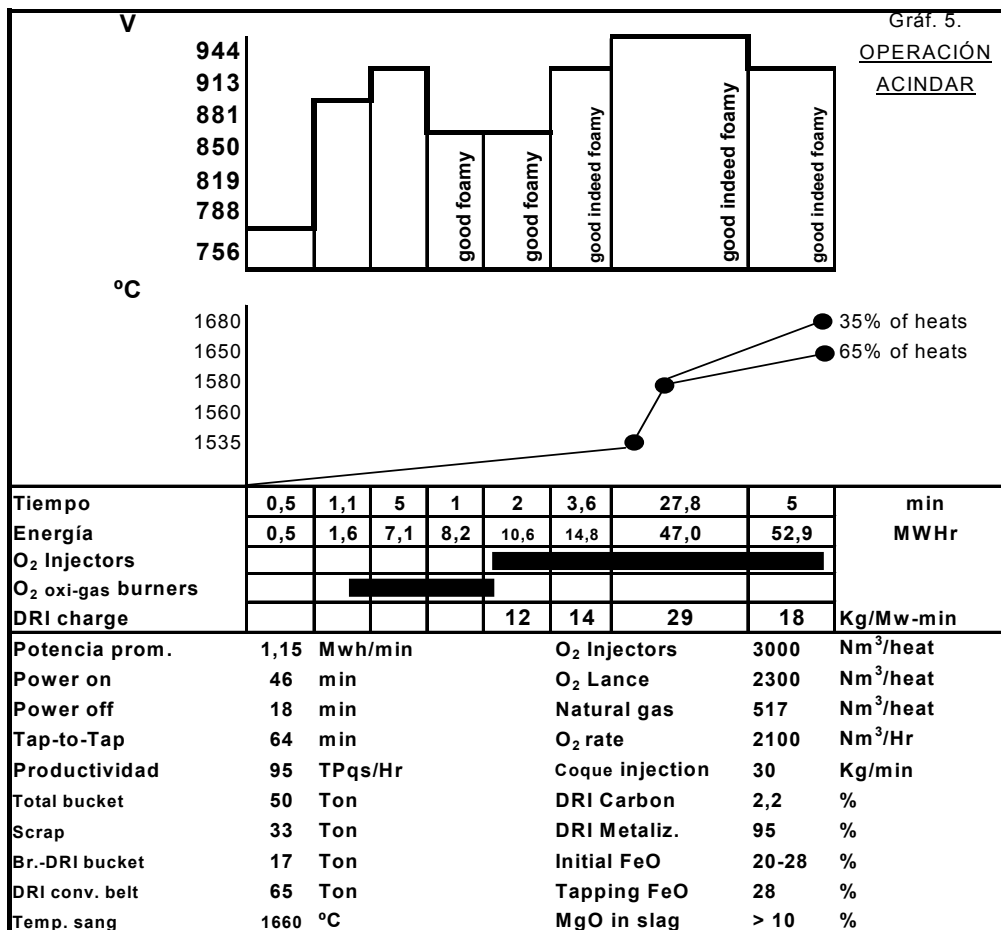
dC / dt producción de gas en términos de tasa de cambio de carbón removida

K contante de estabilidad de la espuma (tiempo de vida de la espuma de la escoria)

Un factor importante es el efecto de la temperatura en la etapa de relaciones y, consecuentemente, la viscosidad efectiva de la escoria. Bajo condiciones de producción de acero, la temperatura del horno gradualmente aumenta hacia el final de la colada. Este incremento de la temperatura podría afectar "dramáticamente" las propiedades de la escoria espumosa. El incremento de la fluides con el incremento de la temperatura implica una caída de la cantidad en la segunda etapa de partículas de la escoria. El incremento de la fluidez solo permite disminuir la reacción de reducción del carbón injertado, resultando en un aumento del FeO contenido en la escoria. ⁽⁵⁾

Cuando comparamos alto porcentaje de DRI respecto de una operación básica 100 % chatarra, la capacidad de escoria espumosa es una ventaja para los usuarios de DRI. La buena practica de escoria espumosa incrementa la eficiencia eléctrica porque mejora y aumenta la transferencia de calor del arco. Usando pequeñas cantidades de escoria en la carga, en el comienzo de la fusión, rápidamente se pierde la protección del arco por chatarra, y debido a que aun la inestabilidad del arco es alta, se tiene baja eficiencia térmica. Pero terminado este corto tiempo de fusión inestable, comienza la carga continua de Hierro Esponja, generándose una " etapa de transición " de la fusión donde se puede aumentar la potencia utilizada, se estabiliza el arco en una fusión uniforme ("sin

ruído”), hasta llegar a un baño plano que permite aplicar la máxima potencia disponible, con alto factor de potencia, con inyección de oxígeno a máxima capacidad, sin daños a paneles refrigerados, sin desgastes localizados de refractarios y con alta eficiencia térmica. Así el calor transferido al baño es aumentado rápidamente, disminuyendo el consumo de Energía Eléctrica, disminuyendo Power On y por consiguiente, aumentando la Productividad. En Gráf. 5 se muestra un resumen de la operación de Acindar.



OPERATIONAL RESULTS

La instalación de Inyectores, como ya fue dicho, se realizó en Horno 6 durante Septiembre 2004. Debido al desconocimiento de la tecnología y por las características operativas de nuestra Planta, se decidió realizar la implementación en 3 etapas: 1) aumentar de 18 a 25 Nm³/ Ton Ac Líq. 2) una vez terminada la capacitación de los Operarios y Jefes de Turno, pasar a 30 Nm³ / Ton Ac Líq y por último 3) llegar a 40 Nm³ / Ton Ac Líq .La evaluación de la primera etapa con inyectores CoJet, se muestra en la siguiente tabla:

Acindar TABLE 3.- Results Horno 6 with CoJet vs Horno 4 without injectors

Item	Unit	EAF # 6	EAF # 4	Dif.(%)
		Oct/Nov/Dic-04		
Active Power	Mw	74	72	2,8
Power On	min	46,1	49,2	-6,3
Tap to Tap	min	64,1	68,0	-5,7
Productividad	Ton billets/Hr	95,0	89,6	6,1
Oxígeno	Nm ³ /heat	2420	1746	38,6
E. Eléctrica	KWH/Ton AcLiq	503,5	533,2	-5,6
Electrodos	Kg/Ton AcLiq	1,67	1,67	0,0
Total injected C		1900	1500	26,7
Bottom mat.	Kg/ Ton billets	0,51	0,89	-42,7
Furnace cycle	heats	700	600	16,7

		Δconsumo
OXIGENO	Nm ³ /Ton AcLiq	6,4
E. ELECTRICA	KWH/Ton AcLiq	29,7

RENDIMIENTO	KWH/Nm³	4,63
--------------------	---------------------------	-------------

BENEFICIOS

- EL manipulador de oxígeno y de carbón por puerta son eliminados.
- Posibilidad de programar automáticamente la cantidad de oxígeno por colada, con diferentes recetas según cantidad de chatarra usada y metalización del Hierro Esponja
- Menor uso de Carbón en la carga. El carbón puede ser introducido por inyectores. Menor cantidad de carbón son liberadas durante la preparación de la cesta provocando menos daño cables de grúas de carga y atmósfera de la acería.
- La energía química es suministrada de modo uniforme alrededor del horno a través de los inyectores, y no concentrado cerca de la puerta de escoria.
- Eliminación de desgaste de refractario detrás de la puerta de (bank area), anteriormente producida por las lanzas de puerta.
- Rápida, predecible, constante y fácil decarburación debido a la mayor eficacia y eficiencia de penetración dentro del baño de la lanzas de oxígeno
- Eliminación de violentas reacciones de C – O, con salida de escoria por la puerta de escoria sobre el piso de operación.
- Mejoramiento continuo y “más temprana” escoria espumosa.
- Mayor rendimiento metálico por mejoramiento del control de FeO durante la fusión
- Disminución de consumo de Energía Eléctrica
- Disminución de Power On
- Disminución de Power Off (no mas retrasos por alto carbón o baja actividad de antes de colar)
- Aumento de Productividad
- Reducción de los requerimiento de mantenimiento y eliminación de manipulación de elementos pesados (tubos consumibles y portalanzas)
- Mayor seguridad de la operación por eliminación de tareas en frente de la puerta de escoria.

- Mayor cantidad de coladas.

Disminución de consumo de masa de reparación de solera por eliminación de agujeros en el fondo.

PROBLEMAS

- ✓ Algunos rebotes de llama en el modo “QUEMADOR” produjeron desgaste del block refrigerado de los inyectores, con alguna pérdida de agua que determinó el cambio. Se solucionó el problema con la corrección de las recetas de insuflado, demorando el arranque de los quemadores hasta 2 minutos después del inicio de fusión.
- ✓ Splashing / daños en la bóveda por causa del jet de oxígeno, penetraba parcialmente en el baño y salpicaba electrodos y centro de bóveda (“delta”). Las incrustaciones actuaban de conductores eléctricos, produciéndose arcos sobre las partes refrigeradas de la bóveda. Se solucionó el problema modificando el caudal de la lanza, ángulo de lanceo y momento de inicio de lanceo, esto controla la magnitud del splash. Además, se disminuyó la cantidad de carbón insuflado durante la fusión de chatarra.
- ✓ Mayor - off gas e incremento buildup in the new drop out chamber. Para solucionar este problema, ya se comenzaron las tareas de instalación de inyectores de postcombustión. Mientras tanto se automatizó una entrada de aire después of the elbow para disminuir la temperatura de la cámara. (se alcanzan picos de 1200°C)

REFERENCES

- 1 Educated use DRI/HBI improves EAF energy efficiency and yield and downstream operating results – Dr Sara H. Anderson
- 2 Carbon in DRI: FRIEND or FOE – Louis Giguère ISPAT SIDBEC INC
- 3 The Slag Foaming Practice in EAF and its influence on the Steelmaking Shop Productivity – R.D Morales y otros - Department of Metallurgy, Instituto Politécnico Nacional – ESIQIE, México D.F
- 4 Influence of different parameters on stability of foaming slag – E. Burström and Guozhu Ye – MEFOS - Sweden
- 5 Foamy Slag Fundamentals and their practical application to Electric Arc Furnace Steelmaking – E.B. Pretorius and R.C Carlisle