

## TRANSFORMANDO SUBPRODUCTOS EN NUEVAS MATERIAS PRIMAS - AVANCES EN ARGENTINA RESPECTO DE LA REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS SIDERÚRGICOS<sup>1</sup>

Silvina Ramos<sup>2</sup>  
Soledad Oreggion<sup>2</sup>  
Oscar Baglivo<sup>2</sup>  
Martin Domínguez<sup>2</sup>  
Daniel Costoya<sup>2</sup>

### Resumen

Son bien conocidos los aspectos relacionados a la alta generación de subproductos en el proceso siderúrgico. En el mundo se producen aproximadamente 800 millones de toneladas de acero y al mismo tiempo son generados alrededor de 300 millones de toneladas de subproductos sólidos, lo que significa que por cada tonelada de acero producido se generan 400 kg de subproductos. El porcentaje más grande de generación de dichos subproductos corresponde a las escorias, entre 70-80%. El porcentaje restante corresponde a polvos y barros. La tendencia de tratar a estos materiales como “residuos” ha cambiado y actualmente los mismos son considerados “subproductos o materias primas” que compiten con las materias primas naturales debido a su contenido de elementos de valor tales como, hierro, fundentes, carbón, etc. El desarrollo de procesos innovadores para el reciclado de los subproductos, tales como la aglomeración en frío, ha permitido disminuir costos de disposición final de estos subproductos y la recuperación de elementos de valor. En este trabajo se presentan diferentes métodos de aglomeración en frío utilizados para la elaboración de nuevas materias primas (pellets y briquetas) y el estudio que permite predecir si podrían ser incorporadas reemplazando un pequeño porcentaje de las materias primas tradicionales en el alto horno, convertidor BOF y horno eléctrico (EAF). Dicho estudio incluye ensayos de caracterización física, química y metalúrgica con el objetivo de evaluar su comportamiento según las especificaciones de cada uso particular.

**Palabras clave:** Reutilización; Reciclado; Subproductos; Aglomeración en frío; Ensayos de caracterización.

### CONVERTING BYPRODUCTS AT NEW RAW MATERIALS - PROGRESS IN ARGENTINE ABOUT REUSE OF BYPRODUCTS OF IRON AND STEEL INDUSTRIES

#### Abstract

As well known the aspect related to high generation of byproduct in iron and steel process. The world steel industry produces around 800 million tons of crude steel and at the same time approximately 300 million tons of solid byproducts, that means for each produced ton of steel almost 400 kg of solid byproducts are generated. The biggest percentage of generation corresponds to slags (70% to 80%). The rest corresponds to dust and sludge. In an integrated steel plant the percentages of byproducts generation are highest than in an EAF based minimill. The tendency to call these byproducts as wastes has changed and actually these materials are considered as byproducts or raw materials which compete with natural raw materials due to high content of valuable elements such as iron, fluxes and carbon. The development of innovative process to recycling of byproducts such as cold bond agglomeration has allowed the reduction of disposal and transport costs and the recovery valuable elements. This work present the different methods of cold bond agglomeration using to manufacture new raw materials (pellets and briquettes) and the study to predict if they could be introduced in BOF, blast furnace and EAF process. This study include physical, chemical and metallurgical characterization tests to evaluate their behavior based in particular specifications of use.

**Key words:** Reuse; Recycling; Byproducts; Cold bond agglomeration; Characterization tests.

<sup>1</sup> Contribución técnica al 41º Seminário de Reducción de Mineral de Hierro y Matérias Primas y 12º Seminário Brasileiro de Mineral de Hierro, 12 al 16 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Área Asistencia a Procesos, Laboratorio de Materias primas y Reducción, Instituto Argentino de Siderurgia, Av. Central y 19 Oeste, 2900 San Nicolás, Bs. As., Argentina.

## 1 INTRODUCCION

En Argentina existen plantas siderúrgicas que cuentan con proceso de obtención de acero vía alto horno-convertidor LD y vía reducción directa-horno eléctrico. A su vez cada una de estas plantas reciclan gran parte de los subproductos obtenidos en diferentes etapas mediante proceso de sinterización y briqueteado en frío, elaborando sinter como materia prima para alto horno y una briqueta apta para uso en horno eléctrico. Otra parte de los subproductos es vendida para otras aplicaciones en otro tipo de industrias y finalmente una última parte es almacenada en grandes pilas sin ninguna aplicación debido a sus desfavorables características.

Con énfasis en reciclar estos subproductos almacenados, las empresas iniciaron proyectos con el IAS sobre estudios de viabilidad para su reutilización. Así surgieron líneas de trabajo sobre el briqueteado de barro de acería LD y más tarde otros estudios relacionados a la aglomeración de polvos conteniendo alto porcentaje de óxido de hierro.

Sin embargo el punto de mayor auge se da con la firma del convenio JICA-IAS que contempló una capacitación durante dos meses en Japón donde se conocieron varias técnicas y tecnologías que son empleadas para el tratamiento y reutilización de polvos, barros y escorias. A partir de aquí comienza una etapa de trabajo en conjunto IAS-empresa para reciclar y reutilizar aquellos subproductos almacenados. En este trabajo se resumen los estudios llevados a cabo a escala laboratorio en los cuales fue posible encontrar usos particulares para los subproductos y aumentar el reciclado interno en la empresa.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

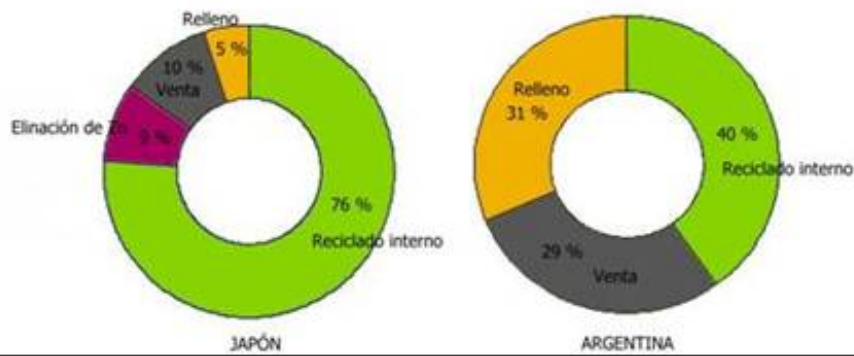
Los conceptos e información adquirida durante el desarrollo del curso permitió establecer para cada problemática una posible vía de resolución. Si bien no es posible a corto plazo incorporar tecnologías nuevas de costo elevado, sí resulta beneficioso realizar el desarrollo de métodos de ensayo basándonos en las experiencias ya realizadas que puedan brindar resultados satisfactorios.

La definición de *Producción Limpia* según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es:

*“La producción limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios para aumentar la eficiencia ecológica y reducir los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente”.*<sup>(1)</sup>

### 2.1 Situación en Argentina Respecto de la Reutilización de Subproductos

Las gráficas muestran en qué punto nos encontramos situados respecto de Japón dando cuenta de lo que aún se podría avanzar y mejorar.<sup>(2)</sup>



**Figura 1.** Reutilización de subproductos en Argentina respecto de Japón.

## 2.2 Dificultades que se Presentan para el Reciclado de Polvos y Barros

Cada uno de los subproductos presenta características particulares lo que hace más fácil o difícil su reutilización.<sup>(2)</sup>

- restricciones en el uso debidas a su composición química, presencia de elementos incompatibles o perjudiciales para los procesos (ejemplo, cinc, álcalis, etc.);
- restricciones en el uso en altas proporciones por causar efectos negativos sobre las instalaciones y calidad del producto obtenido en el proceso;
- problemas relacionados con la granulometría, polvos demasiados finos son difíciles de manipular y mezclar.

Se sugieren entonces los principios básicos para el reciclado de polvos y barros.

- minimizar la generación;
- maximizar el reciclado interno;
- incentivar la reutilización en conjunto con otras empresas.

## 2.3 Reprocesamiento de Polvo y Barro Conteniendo Zn

Fue uno de los problemas planteados durante el curso, ya que entre los subproductos poco utilizables se encuentran los barros finos de LD que no son reutilizados en alto horno por su contenido en Zn, un polvo del proceso de decapado por su contenido en Cl y el polvo de EAF con alto contenido en Zn.

Para este tratamiento se emplean dos procesos para el reciclado de polvos y barros conteniendo alto porcentaje de Zn.

Estos son el horno RHF, que permite por un lado la obtención de un producto reducido y por otro la recuperación del Zn, y el horno Waeltz, también rotatorio.



**Figura 2.** Proceso con RHF (izquierda) y proceso Waeltz (derecha).

El proceso TNT, es un método que recupera el polvo de horno eléctrico y lo transforma en pellet mezclado con carbón que puede empujarse como carga del horno eléctrico, también en forma de briqueta. La característica destacable es que no se adiciona aglomerante y puede disminuir la cantidad de pellets enviados al RHF.



**Figura 3.** Proceso TNT.

## 2.4 Tratamiento de Escorias de Acería

Las escorias de acería son tratadas por dos métodos, las de horno eléctrico mediante trituración y zarandeo para la recuperación de metálico.<sup>(3)</sup> Otro uso de las escorias de acería es como componente del material usado como base y sub base para caminos. Debido a que la escoria posee altos porcentajes de óxidos de calcio y magnesio, para evitar el aumento de volumen debido a la reacción de hidratación, se realiza un tratamiento de envejecimiento con vapor en pilas cubiertas con plástico resistente.



**Figura 4.** Processo de envelhecimento de escoria de acería com vapor.

### 3 DESARROLLO

En los siguientes puntos se resumen los estudios realizados a escala laboratorio en IAS, basándonos en las experiencias vistas en Japón, pero sin perder de vista nuestra realidad y las características de los subproductos generados.

#### 3.1 Briquetas para Alto Horno

Estas briquetas fueron diseñadas empleando varios subproductos conteniendo principalmente hierro y carbón. El aglomerante empleado es cemento al cual se le incorporó acelerador de fragüe para lograr una alta resistencia inicial.

**Tabla 1.** Subproductos involucrados en la composición de las briquetas

<b><i>Subproductos empleados</i></b>
Barro de AH
Polvo trampa AH
Barros gruesos BOF
Barros finos BOF
Finos de coque torre de apagado
Laminilla ACE
Cemento Pórtland común
Cemento Pórtland común + Sika 3

Para simular el proceso de briquetado se empleó, en primer instancia, una prensa vertical de 10 toneladas y un molde cilíndrico tipo punzón-matriz.



**Figura 5.** Ubicación en prensa vertical (izquierda) y briquetas obtenidas (derecha).

Para determinar la aptitud de las briquetas se llevaron a cabo ensayos de caracterización teniendo en cuenta las especificaciones establecidas.

**Tabla 2.** Especificaciones de calidad

<b>Análisis químico</b>				
% Fe total: Balance económico				
% Álcalis: Balance de ingreso total en el AH < 2 kg/tn arrabio				
% ZnO: Balance de ingreso total en el AH < 120 kg/tn arrabio				
<b>Ensayos físicos y metalúrgicos</b>				
<b>Compresión</b>	<b>Tambor</b>	<b>RDI</b>	<b>Crepitación</b>	<b>Hinchamiento</b>
230-250 kg por briqueta	+80 % finos > 6,3 mm	-22 % finos < 2,83 mm	-5 % finos < 6,3 mm	-20 % finos < mm

**Tabla 3.** Resultados de la caracterización química

<b>Composición</b>	<b>Briqueta 1</b>	<b>Briqueta 2</b>	<b>Briqueta 3</b>	<b>Briqueta 4</b>
% Fe total	31,1	30,8	29,2	30,2
% Na <sub>2</sub> O	0,06	0,06	0,08	0,1
% K <sub>2</sub> O	0,02	0,1	0,02	0,2
% ZnO	0,4	0,3	0,8	1,1

**Tabla 4.** Resultados de la caracterización física y metalúrgica

<b>Ensayo</b>	<b>Briqueta 1</b>	<b>Briqueta 2</b>	<b>Briqueta 3</b>	<b>Briqueta 4</b>
Compresión (21 días curado), kg/briqueta	53	171	126	205
Microtambor (% > 6,3 mm)	59,7	81,6	80,6	80,8
RDI (% < 2,53 mm)	54,1	24,0	28,2	46,1
Crepitación (% < 6,3 mm)	0	0	0	0
Hinchamiento (%)	15,6	19,0	13,1	19,1

Se definió luego la elaboración de briquetas hexagonales a escala laboratorio con la mezcla que cumple la mayoría de los valores de especificación. El objetivo es que las dimensiones alto x ancho de las briquetas sean similares.



**Figura 6.** Molde hexagonal (izquierda) y briquetas obtenidas (derecha).

El ensayo de compresión realizado sobre una briqueta a los sete días de curado arrojó como resultado 980 kg/briqueta (183 kg/briqueta para la forma cilíndrica). Luego de 14 días de curado de las briquetas el resultado en el ensayo de compresión fue 1.473 kg/briqueta.

### 3.2 Pelets Aglomerados en Frío para Uso en Convertidor

Reciclado de polvo de decapado en forma de aglomerados en frío para empleo como sustituto de mineral de hierro en acería LD.

La elaboración de los pelets se realiza empleando un dispositivo rotatorio en laboratorio del IAS, que simula el proceso de peletización. La adición de agua se efectúa en forma de *spray*.



**Figura 7.** Dispositivo rotatorio (izquierda) y pelets obtenidos (derecha).

Se usó como aditivo barro fino de LD y cemento como aglomerante.

Para la caracterización se evaluó el tiempo de curado en función de ensayos de compresión diarios hasta completar 20 días.

Transcurrido este lapso se determinó la resistencia en frío mediante ensayo de microtambor.

Se estima la elaboración a escala industrial en plato peletizador empleando variables determinadas en pruebas a escala laboratorio.

### 3.3 Briquetas para EAF Empleando Polvo de EAF

Se diseñaron varias pruebas hasta lograr una relación polvo de EAF + aglomerante + presión adecuada y compatible con las especificaciones de uso. Las briquetas fueron elaboradas en una prensa vertical de 80 toneladas empleando molde cilíndrico.



**Figura 8.** Prensa vertical (izquierda) y briquetas obtenidas (derecha).

La resistencia de las briquetas fue evaluada mediante ensayos de caída. Se evaluó también el efecto de la adición de material carbonoso a la formulación.

### 3.4 Envejecimiento de Escorias de Acería para Uso en Pavimentos

Este método fue simulado a escala laboratorio en IAS. El método consiste en tratar la escoria con vapor de agua con el objetivo de hidratar el CaO libre presente en la misma.



**Figura 9.** Tratamiento con vapor de la escoria en laboratorio IAS (izquierda) y aspecto de las piedras de escoria durante el tratamiento (derecha)

El tratamiento consiste en tratar con vapor una muestra de escoria durante al menos 5 días. Para evaluar el estado de envejecimiento logrado en la escoria se realiza un ensayo que determina el índice granulométrico de envejecimiento. Consiste en tratar nuevamente la muestra de escoria envejecida seleccionando la fracción



granulométrica comprendida entre 5 mm y 10 mm, con vapor a presión (2 atm. Aproximadamente) durante 4 horas. Luego se calcula el índice mediante la fórmula:

$$IGE = [ \% \text{ pasa tamiz de } 2 \text{ mm}] - [ \% \text{ pasa tamiz de } 80 \mu\text{m}]$$

Este proceso de hidratación es similar al que se produciría en la misma muestra durante un año y medio a la intemperie, siendo recomendable un índice granulométrico de envejecimiento máximo de 1%.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos para escoria de acería LD

<b>% CaO antes del tratamiento con vapor</b>	<b>IGE antes del tratamiento con vapor</b>	<b>IGE después del tratamiento con vapor</b>
4,11	1,44	0,41

**Tabla 6.** Resultados obtenidos para escoria de EAF

<b>% CaO en la escoria</b>	<b>Índice granulométrico de envejecimiento</b>
0,17	0,35

#### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el caso del briqueteado de subproductos para alto horno, las briquetas obtenidas presentan propiedades variables dependiendo de la mezcla de subproductos que se emplee.

Cuando se adiciona barro fino de BOF, por ejemplo, el porcentaje de Zn aumenta, lo que es una restricción para el uso de briquetas que lo contengan en su formulación. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas y metalúrgicas, el comportamiento de las briquetas es variable, siendo la briqueta 3 la que mejores resultados obtiene, muy cercanos a los especificados.

En base a estos resultados se definió repetir a escala laboratorio la elaboración de la briqueta 3 pero empleando un molde hexagonal.

Por cuestiones técnicas sólo fue posible medir la resistencia a la compresión, arrojando valores muy superiores a los obtenidos con la forma cilíndrica.

El pellet obtenido a escala laboratorio conteniendo polvo de decapado y otros subproductos tales como barro fino de LD y laminilla presenta una resistencia que podría ser evaluada con otra materia prima utilizada en las mismas condiciones, por ejemplo, cal dolomítica. Si bien sería un dato estimativo ya que hay que tener en cuenta la procedencia de cada tipo de material, por un lado la cal es obtenida mediante un tratamiento a alta temperatura en tanto que el pellet es un aglomerado en frío.

Para las briquetas elaboradas como posible carga del horno eléctrico se observó que según el porcentaje de subproducto empleado, ya no es posible trabajar en las mismas condiciones de la planta industrial.

El agregado de material más fino, implica un aumento significativo de la cantidad de aglomerante empleado en la formulación, y una disminución de la presión de trabajo para lograr aglomerados con buen comportamiento mecánico.

Respecto del tratamiento de escoria de acería, se tomó como referencia un ensayo que determina el grado de envejecimiento de la escoria.

De los varios caminos de envejecimiento con agua de la escoria el más rápido, tal como se utiliza en plantas japonesas, es empleando vapor.

El método de determinación de CaO libre fue realizado empleando varios métodos, debido a resultados ilógicos en algunas determinaciones. Esto también fue visto en trabajos realizados por otros autores<sup>(4,5)</sup> donde se ha demostrado que ensayando tres escorias mediante tres métodos diferentes se pueden obtener resultados muy dispares.

## 5 CONCLUSION

Los estudios realizados a escala laboratorio colaboran en establecer las condiciones y parámetros que definen cada método de aglomeración.

Esta etapa, si bien involucra un determinado tiempo, es fundamental cuando se requiere conocer la viabilidad de reutilización de un subproducto y las particularidades que determina su aglomeración o uso directo.

Con estos estudios fue posible, en algunos casos, realizar pruebas a escala industrial con buenos resultados ya que otros necesariamente requieren la incorporación de un tratamiento previo de alto costo, ejemplo, RHF.

## REFERENCIAS

- 1 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. Curso Cleaner production in steel industry. Kitakyushu, 2009. [Apostila].
- 2 Susumu Kubo, Instructor de KITA, "Introducción al tratamiento de polvos en la industria del acero", apuntes empleados en curso de entrenamiento, Japón, Junio-Julio 2009.
- 3 M. Kosugi, Instructor de KITA, "Fabricación de acero en horno de arco eléctrico", apuntes empleados en curso de entrenamiento, Japón, Junio-Julio 2009.
- 4 L.M.Juckes, "The volume stability of modern steelmaking slags", Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Vol. 112, Diciembre de 2003.
- 5 V.S.Ramachandran, P.J. Serad y R.F. Feldman, "Mechanism of hydration of calcium hydroxide", Nature, 201, 1964.