

AJUSTE EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACERO PARA DISMINUIR EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL ASOCIADO A LA GENERACIÓN DE ESCORIA

Sara Andrés Vizán

Valeriano Álvarez Cabal

Joaquín Villanueva Balsera

Fernando Rodríguez Pérez

Área de Proyectos de Ingeniería – Universidad de Oviedo

Abstract

Integrated steel mills receive pig iron from the Blast Furnace with the objective to remove all the impurities found in this material and thus obtaining high-quality-composition steel. In this process, large quantities of BOF slag are generated, which has been traditionally stored in non-hazardous landfill. BOF slag valorization is very complicated due to its abrasive and expansibility characteristics.

In view of the growing concerns on reducing environmental impacts, it is necessary to consider a paradigm change so that the slag could be considered a by-product of such process. The process will be adapted in order to obtain steel with the desired composition as main objective, incorporating at the same time a secondary objective to obtain slag with more adequate characteristics for its valorization.

The study have been focused as a modeling process based on historical data from operating steel shops the analysis is being done in two different stages. In the first one, the slag will be classified into clusters according to their physic-chemical characteristics, allowing the orientation of the slag in different more adequate potential application alternatives in each case. The second step is being focused on the searching on the process variables subject to change, to increase the production of the some slag types without modification of the steel quality.

Keywords: *Data Mining; steel industry; clustering, slag*

Resumen

Las acerías integrales reciben el arrabio procedente del Horno Alto con el objeto de eliminar las impurezas que el mismo presenta y obtener un acero con una composición adecuada. En el proceso se producen grandes cantidades de escoria que ha sido tratada tradicionalmente como un residuo que se almacenaba en vertederos controlados. La valorización de la escoria de acería es muy complicada por su abrasividad y por su expansibilidad.

Ante la importancia creciente de la disminución de los impactos ambientales, se hace necesario un cambio de paradigma, debiendo pasarse a considerar la escoria como un subproducto de dicho proceso. De esta forma el proceso se adecuará para obtener el acero con la composición deseada como objetivo principal, pero se incorpora como objetivo secundario el ajustarlo para obtener escoria con características más adecuadas para su valorización.

Se planteó como un problema de modelización basado en datos históricos procedentes de acerías en funcionamiento, realizando el esfuerzo en dos etapas. En la

primera se clasifican la escoria en grupos en funciones de sus características físico-químicas, lo que permitirá orientarlas hacia las alternativas de valorización más adecuadas. En la segunda etapa se busca sobre que variables de proceso se puede actuar y así sin modificar la calidad del acero, aumentar la producción de determinados tipos de escoria.

Palabras clave: Minería de datos, acero, clasificación, escoria

1 Introducción

La industria del acero es una gran generadora de residuos. Es inherente a la producción del acero el que se originen diversos tipos de residuos/subproductos. Así, una buena gestión de los mismos colaborará en la reducción de los impactos ambientales asociados a la producción del acero (Dar et al, 2007). En los últimos años los intereses de las grandes empresas por adquirir un compromiso con el medioambiente han llevado a plantearse incorporar distintas prácticas medioambientalmente correctas con el entorno. La siderurgia es un sector clave en el que se hace imprescindible un esfuerzo importante en la minimización de la generación de residuos y en la valorización de los mismos.

La legislación actual se va haciendo cada vez más severa en cuanto a los daños originados al medioambiente. Se puede tener un proceso productivo muy bueno y no poderse implantar debido a los daños que origina son elevados y la normativa lo impida.

En este marco, se encuentran los residuos industriales asociados a la fabricación de cualquier producto, los cuales ya no se busca enviarlos a un vertedero si no que se pretende que puedan ser un producto secundario con el fin de conseguir un mayor respeto con el medio ambiente (co-productos). Así, se pretende eliminar por un lado los daños que causaría al suelo donde serían depositados y por otro disminuir el consumo de bienes naturales, a los cuales sustituirían estos residuos, susceptibles de agotarse en un futuro.

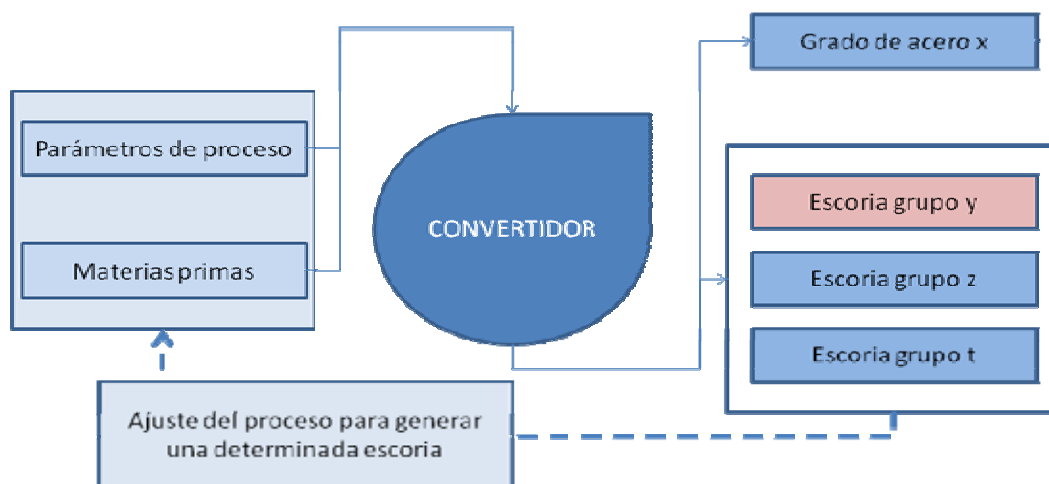
Dentro de todos los residuos que se producen en una siderúrgica, destacan por su elevado volumen de generación, las escorias. Estos residuos se generan, sobre todo, en la producción del arrabio en el horno alto y en la producción del acero. Concretamente, de escoria de aceria LD, sólo en Asturias, la empresa ArcelorMittal produce cerca de 585.000 toneladas anuales.

Al pensar en la escoria LD como un co-producto asociado a la fabricación de acero cabe pensar que de la misma manera también se puedan obtener distintos tipos de escoria, siendo cada uno de ellos más adecuado para una u otra aplicación potencial. Esta clasificación de escoria LD basada en la composición química de la escoria fue explicada en una comunicación anterior. (Andrés et al, 2010)

Teniendo en cuenta que dependiendo de donde se localice la planta, de las posibilidades de tratamiento que haya posteriores y de los impactos medioambientales que cada una de las valorizaciones vaya a generar será más interesante elaborar uno u otro grupo de escoria. Con este fin, se pretende localizar que cambios podrían llevarse a cabo en el proceso que permitan generar una escoria de un grupo determinado sin alterar la calidad del acero objeto de estudio.

En la Figura 1 se presenta un resumen de los objetivos.

Figura 1. Ajustes en el proceso de producción del acero planteados como objeto de estudio

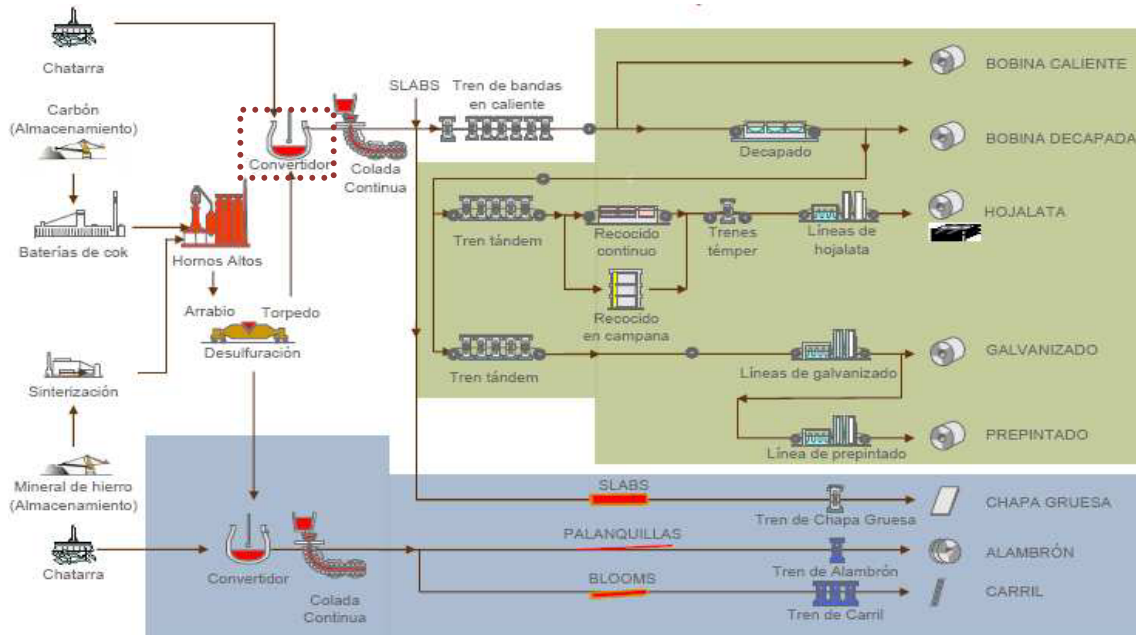


2 Escoria LD

Debido a los grandes volúmenes de escoria que se generan se hace necesario un tratamiento posterior para reducir su impacto medioambiental y hacer compatible su fabricación con el desarrollo sostenible. Este tipo de tratamientos de residuos, referenciados comúnmente mediante términos como recogida, recuperación, reutilización o valorización, responden a diversas actividades que han de llevarse a cabo sobre los diferentes flujos de residuos para aprovechar parcial o totalmente el material, ya sea para el mismo uso o para otra aplicación (Castells, 2000).

La Figura 2 muestra la amplitud de la cadena de producción del acero. El presente estudio se va a centrar en la parte correspondiente al convertidor, que es donde se produce la escoria.

Figura 2. Proceso siderúrgico integral



Dentro del elevado volumen de residuos siderúrgicos que se generan a lo largo de la cadena de producción, las escorias (residuo sólido mineral) son uno de los más importantes por ser un residuo mayoritario en el proceso integral y por su alto potencial en términos de revalorización, por ello es un recurso destacable debido a las múltiples

aplicaciones actuales, estando muchas de ellas todavía en fase de investigación (Srinivasa, Pradhan, Sanjay, 2006).

En la siderurgia, se generan tres tipos principales de escoria: una es la escoria de horno alto, otra es la generada en la acería LD, en la que se utiliza el denominado convertidor de oxígeno, y por último, la generada en la alternativa al convertidor para la producción de acero que es el horno de arco eléctrico. Esta clasificación se observa en la Figura 3.

Figura 3. Clasificación de las escorias siderúrgicas según su origen (Amaral, 1999)



La producción total de escorias de Acería LD durante el año 2005 en Asturias se estimó en 585.000 t, de las cuales 485.000t correspondían a la Acería LD de Avilés y 100.000t a la de Gijón (Cedex, 2007).

Aunque los esfuerzos más severos por conocer las posibles aplicaciones de la escoria LD se hayan realizado en los últimos años, el material en sí es tan antiguo como el propio proceso de producción. La escoria empezó a utilizarse en la construcción de carreteras en la época del imperio Romano, hace unos 2000 años utilizadas en la construcción de la base de la misma (National, 1918). Las carreteras a partir de escoria se construyeron por primera vez en Inglaterra en 1813, y sólo 17 años después se llevó a cabo el primer camino realizado a partir de este residuo. Debido a las restricciones legales en el momento actual es más complicado valorizar la escoria en esta dirección y de ahí los importantes esfuerzos en investigación.

La función de la escoria en el proceso de conversión tiene como misión fundamental atrapar las impurezas, principalmente Fósforo y Azufre. Por cada carga de convertidor se añade entre 75-80kg de cal y dolomía y se retiran de 120 a 130kg de escoria.

La composición química que presenta la muestra se encuentra representada en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Composición química de la escoria BOF (Cedex, 2007)

Composición	% presente Escoria BOF
CaO	48.00
SiO ₂	16.00
Al ₂ O ₃	1.20
MgO	5.20

Fe total	16.04
MnO	5.90
K ₂ O	0.20
P ₂ O ₅	0.50
Cu	0.03
Mo	0.08
As	<1ppm
Cd	<0.5ppm
B	0.17

Los esfuerzos por crear un valor añadido a este residuo que hasta este momento se gestiona todo de una forma conjunta (mediante envío a vertedero) sin analizar ninguna de sus características, llevaron a plantearse realizar una clasificación del mismo, así como generar una serie de normas que permitan dirigir el proceso hacia la generación de uno u otro tipo de escoria sin alterar la calidad del acero.

3 Técnicas empleadas (Minería de Datos)

Los estudios realizados en cuanto al ajuste del proceso de producción y clasificación de escoria han sido realizados mediante técnicas de Minería de Datos. Así, se puede definir Data Mining como el conjunto de técnicas y herramientas aplicadas al proceso no trivial de extraer y presentar conocimiento implícito, previamente desconocido, potencialmente útil y humanamente comprensible, a partir de grandes conjuntos de datos, con objeto de predecir, de forma automatizada, tendencias y comportamientos ó descubrir modelos previamente desconocidos (Piatetski, 1991).

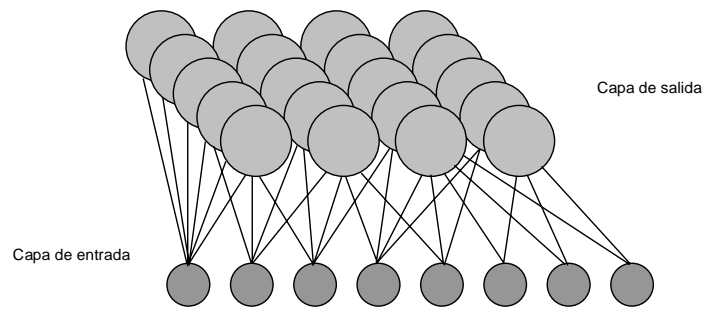
La toma de decisiones y solución de problemas dependen en gran medida del acceso a la información que se pueda llegar a adquirir sobre el problema a resolver. A menudo esta información se presenta en forma de observaciones que requieren interpretación antes de efectuar los análisis correspondientes (Ortega, 1996). La determinación de una descripción del sistema a partir de los datos observados se denomina Identificación del sistema, mientras que la descripción resultante es el Modelo.

Para la realización de los distintos modelos son diversas las herramientas de Minería de Datos que podrían utilizarse. En este caso se han usado las que se describen a continuación.

3.1 Mapas auto-organizados (SOM)

Esta técnica está basada en las conocidas redes neuronales que son una estructura compuesta por muchas unidades, muy simples, de procesamiento o neuronas, cada una con memoria local, habitualmente pequeña (Rodríguez, 2003). Las neuronas se conectan mediante canales de comunicación denominados conexiones, que manejan datos numéricos. Operan sólo con los datos locales, por lo que tienen un gran potencial para el procesamiento paralelo, dado que los cálculos de los componentes en cada neurona son independientes (Kohonen, 1982). El esquema de un mapa auto-organizado SOM se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Esquema de un mapa auto-organizado (SOM)



Las principales ventajas del uso de redes neuronales son las siguientes (Matich, 2001):

1. *Aprendizaje de la experiencia.* Las redes neuronales tienen una aplicación típica en aquellos sistemas en los que resulta complejo tanto especificarlos como encontrar una solución organizativa de los mismos, pero que tienen la particularidad de que generan gran cantidad y variedad de datos, de los que se puede inferir una respuesta de la que el sistema aprenderá.
2. *Generalización a partir de ejemplos.* Una propiedad de cualquier sistema de auto-aprendizaje es la habilidad de interpolar a partir de casos previos. Con un diseño cuidadoso, una red neuronal puede proporcionar altos niveles de generalización y dar la respuesta correcta a datos que nunca se habían presentado.
3. *Extracción de información de datos con ruido.* Puesto que en esencia son sistemas estadísticos, las redes pueden reconocer patrones subyacentes del ruido del proceso, una propiedad que es frecuentemente explotada en aplicaciones como la monitorización del proceso de las máquinas.
4. *Desarrollo de soluciones más rápido y con menos dependencia de expertos.* Las redes neuronales aprenden de los ejemplos de modo que, siempre que existan ejemplos suficientes y se adopte un diseño apropiado, se pueden construir soluciones efectivas mucho más rápidamente que con los procedimientos tradicionales.
5. *Adaptabilidad.* La naturaleza de las redes neuronales les permiten adaptarse a cualquier tipo de situación operativa. Por ejemplo, en una aplicación industrial pueden evitar variaciones debidas a desgaste, etc.
6. *Eficiencia computacional.* El entrenamiento de las redes neuronales demanda una gran potencia de computación pero los requisitos en el modo de operación son muy modestos.
7. *No-linealidad.* Muchas otras técnicas están basadas en asumir cierta linealidad, lo que limita su aplicación a problemas del mundo real. Por su forma de construcción, las redes neuronales son grandes procesadores no lineales que pueden ser entrenados para su uso en un amplio rango de situaciones complejas.

Por todas las ventajas asociadas y porque el problema presentado se adapta al modelado mediante esta técnica se decidió usar SOM para llevar a cabo la agrupación de la escoria LD.(Kohonen, 1982)

3.2 Árboles de decisión

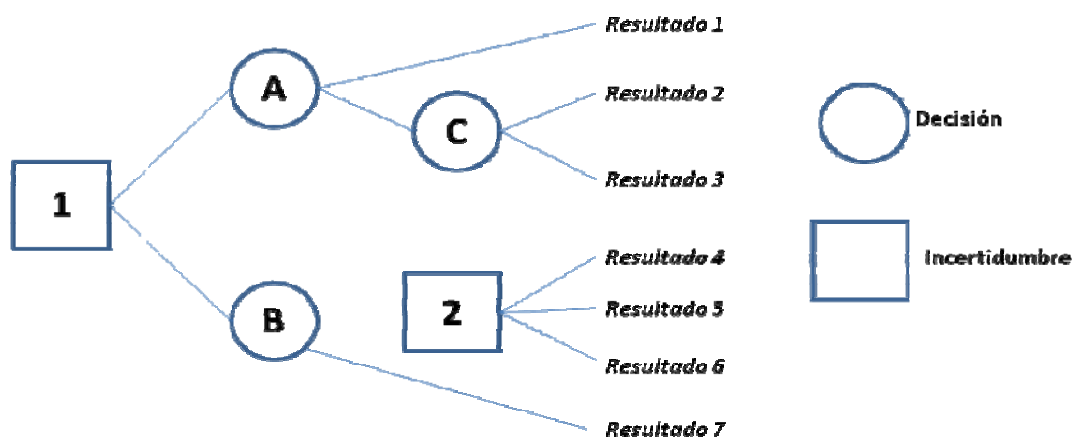
Los árboles de decisión son una de las herramientas más sistemáticas de la teoría y práctica de toma de decisiones. Estos árboles son particularmente útiles en situaciones complejas de múltiples etapas de decisión (Time, 2005). Son esencialmente un diagrama que representa un camino de decisiones organizadas.

Esta técnica es un método conveniente para presentar y analizar una serie de decisiones que se deben tomar en diferentes puntos de tiempo. Los árboles de decisión son muy útiles para el planteamiento de problemas secuenciales.

En un árbol de decisión hay nodos y ramas. Las ramas son extensiones de los nodos que indican las alternativas que se pueden tomar en el caso de nodos de decisión, o los diferentes resultados de un evento en el caso de los nodos de azar (Velez, 2003).

En la Figura 5 se representa el esquema asociado a un árbol de decisión.

Figura 5. Esquema de un árbol de decisión (Time, 2005)



Las ventajas de esta técnica se enumeran a continuación:

- Resume los ejemplos de partida, permitiendo la clasificación de nuevos casos siempre y cuando no existan modificaciones sustanciales en las condiciones bajo las cuales se generaron los ejemplos que sirvieron de construcción.
- Facilita la interpretación de la decisión adoptada.
- Proporciona un alto grado de compresión del conocimiento utilizado en la toma de decisiones.
- Explica el comportamiento respecto a una determinada tarea de decisión.
- Reduce el número de variables independientes.

Para este estudio se han usado árboles tipo *Quest* que son estadísticos rápidos, insesgados y eficientes. Es un método rápido que evita el sesgo que presentan otros métodos al favorecer los predictores de muchas categorías (SPSS, 2007).

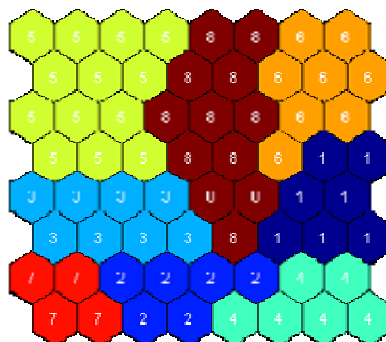
4 Análisis de la influencia del proceso en la obtención de un grupo de escoria

4.1 Clasificación de la escoria LD

Debido a las distintas restricciones químicas que llevan asociados las diferentes aplicaciones potenciales objeto de estudio en las últimas décadas para la escoria LD, se planteó realizar una clasificación de dicho subproducto a la salida del convertidor (Andrés et al, 2010).

Partiendo de los datos de composiciones químicas de las coladas (a partir de los análisis realizados por el dpto. de medio ambiente durante una campaña de un año de duración de seguimiento de este residuo) se hace una clasificación usando mapas auto-organizados SOM (donde se introduce la composición química de la escoria). Se obtienen 8 grupos que se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Clasificación de la composición química de la escoria en 8 grupos



Son el mínimo número de grupos que generan el menor error en la clasificación. Estos 8 grupos de escoria obtenidos tienen la distribución en cuanto a composición química que se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Características de cada uno de los grupos

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8
SiO ₂	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO
MnO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO	BAJO	MEDIO
P ₂ O ₅	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	BAJO
FeO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	MEDIO
CaO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO
MgO	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
Al ₂ O ₃	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	BAJO	BAJO

4.2 Ajustes realizados en el proceso de producción

Sería interesante relacionar los tipos de escoria con la forma de producción del acero. Hay más de 150 grados de acero diferentes (cada uno de los cuales se corresponde con una composición química y una forma de producción específica en la acería). Al ser tan numerosos los grupos, se vio conveniente realizar una agrupación de los mismos para facilitar el relacionarlos con los grupos de escoria.

Teniendo en cuenta que el análisis de datos se está haciendo sobre un periodo de tiempo de un año y que en un año no se elaboran todos los grados de acero, el comienzo del estudio parte de 86 grados distintos de acero y al final se obtienen 18 agrupamientos. Una vez realizada la agrupación de la escoria se tiene que cada grupo de escoria generado no está directamente vinculado con un grado de acero específico tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de los grados de acero en los 8 grupos de escoria definidos

	Grupos de escoria								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Grados de acero	1	16%	8%	45%		7%	25%		
	2	15%	12%	48%		7%	19%		
	3	27%	10%	38%			25%		
	4	4%	10%	51%			35%		
	5				39%			31%	30%
	6	3%	5%	67%			25%		
	7	37%	10%	26%		9%	18%		
	8	10%	9%	52%		5%	24%		
	9	20%	6%	49%		10%	15%		
	10	6%	7%	56%			31%		
	11	11%	13%	61%			15%		
	12	11%	10%	54%			24%		
	13	11%	9%	53%		10%	18%		
	14	10%	7%	63%			20%		
	15	65%	27%	7%					
	16		10%	27%		8%	54%		
	17					100%			
	18				60%				40%

Desde el punto de vista medioambiental y a partir del análisis del ciclo de vida realizado (Andrés et al, 2010) se tiene que puede ser más interesante generar uno u otro tipo de escoria.

Por todo ello, se decide analizar como variar determinadas variables del proceso de producción del acero, atendiendo a que se mantengan las características propias de calidad del acero, para obtener un determinado grupo de escoria.

Con el objeto de encontrar las reglas que permitan generar uno u otro tipo de escoria sin variar la calidad del acero objetivo en el proceso, se elabora un árbol de decisión por cada uno de los grados de acero.

A continuación, a modo de ejemplo se cogerá el caso de grado de acero 3 que servirá para explicar la metodología empleada

4.2.1 Estudio de reglas asociadas al agrupamiento de tipos de acero 3

La Tabla 4 presenta la distribución de las coladas de acero del agrupamiento de tipos grado 3 en los distintos grupos de escoria.

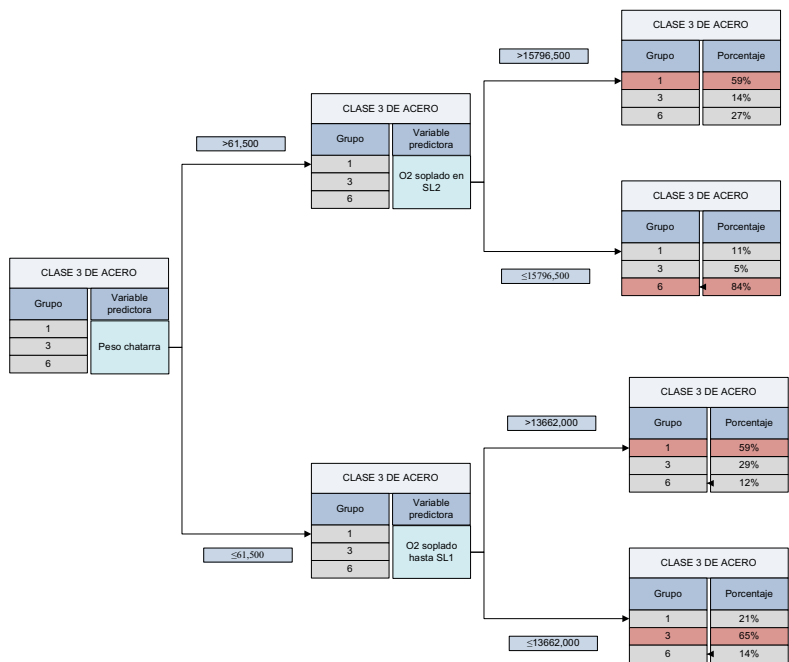
Tabla 4. Distribución de las coladas producidas de grado de acero 3 en los distintos grupos de escoria definidos

1	2	3	4	5	6	7	8
27%	9%	38%	1%	3%	22%		

El grupo de escoria que más se genera es el número 3, pero sin embargo no se puede asegurar que cada vez que se produce un acero de grado 3 se esté generando una escoria de grupo 3. Los porcentajes asociados a los grupos 1 y 6 no se pueden considerar despreciables por lo que es necesario conocer en base a que reglas se generan los grupos 1, 3 y 6 de escoria cuando se produce un grado de acero 3.

Para llevar a cabo este estudio se seleccionan todas las variables propias del proceso de producción de acero. Esa base de datos generada será la que se entrenará en el árbol de decisión. El árbol de decisión asociado a este grado de acero se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Árbol de decisión para la evaluación de la tendencia de generar distintos grupos de escoria en la producción de grado de acero 3



En la Figura 7 se muestra que las variables de proceso que más influyen en que se obtenga un determinado tipo de escoria dentro de la producción de este grado de acero son el peso de la chatarra y el oxígeno soplado.

Con el objeto de conocer la fiabilidad de los resultados asociados a este modelo se elaborará la matriz de confusión que se muestra en la Tabla 5, donde se detallarán los aciertos y los fallos que se tienen en las predicciones que realiza el árbol anteriormente mencionado.

Tabla 5. Matriz de confusión asociada a la predicción de los grupos 1, 3 y 6 de escoria en el grado de acero 3

		Predicción		
		1	3	6
Real	1	61%	21%	11%
	3	20%	65%	5%
	6	19%	14%	84%

Los resultados que se extraen de la Tabla 5 son los que se presentan a continuación:

1. Siguiendo las directrices indicadas por el árbol sobre la mejora del proceso de producción del acero de grado 3 se consigue una tendencia entorno al 60% en los aciertos de la generación de escoria de grupo 1.

2. La tendencia del grupo 3 tiene una eficiencia más elevada. Con las reglas asignadas por el árbol de decisión se tiende a que la escoria de grupo 3 sea la generada por el proceso de producción con una posibilidad mayor que el resto de los grupos de escoria.
3. La eficiencia del grupo 6 de escoria es de casi un 85%, en comparación con la posibilidad de generar los otros dos grupos de escoria. Por lo cual, las mejoras en el proceso son capaces de orientar con la generación de escoria del grupo 6 una alta eficiencia.

5 Conclusiones

Las principales conclusiones asociadas a este estudio vienen determinadas por:

- La escoria LD, es un subproducto muy voluminoso de la producción de acero. Son muchas las aplicaciones potenciales objeto de estudio en este momento y muchas las toneladas que se envían al vertedero. Es posible considerar el realizar distintas acciones que conlleven una reducción del impacto medioambiental
- Se han identificado 8 grupos de escoria con propiedades diferentes, que los hacen interesantes para su valorización en distintas industrias y en la propia siderurgia. Mediante una evaluación de los impactos asociados se deduce que ciertas aplicaciones serán más viables desde un punto de vista medioambiental que otras.
- Se ha conseguido evaluar las variables de proceso que más condicionan que se genera un grupo de escoria u otro. Con esto se tienen las reglas a introducir en el proceso de producción que lleven a la generación de un grupo de escoria determinado sin sacrificar la calidad del acero objeto de producción
- Desde un punto de vista de generación de escoria, no solo se consigue valorizar la escoria generada si no que se puede orientar esta generación hacia aquella aplicación que menor impacto medioambiental tiene asociado.

6 Referencias

- Andrés, S., Martínez, G., Llera, R., Luiña, R. (2010). Valoración tecno-ambiental de las escorias de acería ld mediante análisis dinámico de ciclo de vida. XIV congreso de ingeniería de proyectos.
- Amaral de Lima, L. (1999). Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela técnica superior de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tesis doctoral.
- CEDEX, (2007) Ficha técnica de escorias de Acería. Consultado el 4 de Enero de 2010 en la web del CEDEX, Centro de estudios y experimentación de obras públicas. <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/282.pdf> (Cedex, 2007)
- Dar, B., Prakash, S., Reddy, P.S.R., Mirsa, V.N. (2007). An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. Resources, conservation and recycling, pag 40-57
- Elias Castells, X, (2000). Reciclaje de Residuos industriales
- Kohonen, T. (1982). Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*. 43, 59-69. (Kohonen, 1982)

- Matich, D.J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. Universidad tecnológica Nacional. Facultad Regional de Rosario.
- National Slag Association (1918). Slag in history
- Pieteski, G. Frawley, w. (1991). Knowledge Discovery in Databases.
- Ortega Fernández, F. (1996). Técnicas de inteligencia artificial aplicadas al control de Calidad en procesos industriales. Universidad de Oviedo. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Tesis Doctoral.
- Rodriguez Montequin, M.T. (2003). Modelado evolutivo mediante técnicas adaptativas aplicado al control de inclusiones en bandas laminadas en caliente. Universidad de Oviedo. Tesis Doctoral.
- Srinivasa Reddy, A., Pradhan, R.K., Sanjay Chandra (2006). Utilization of Basic Oxigen Furnace (BOF) slag in the production of a hydraulic cementbinder. International Journal of Mineral Processing, volumen 79, pages 98-105
- SPSS decision trees 17.0 (2007). Guia SPSS para el uso de árboles de decisión.
- Time management guide (2005). Use a decisión tree analisis to systematically arrive at your smartest choice.
- Velez-Pareja, I. (2003). Sequential: Decision Trees (Árboles de Decisión)

Correspondencia (Para más información contacte con):

Sara Andrés Vizán
Área de Proyectos de ingeniería de la Universidad de Oviedo.
Phone: +34985104272
Fax: +34985104256
E-mail: gestion@api.uniovi.es
URL: <http://www.api.uniovi.es>