



## RECUPERACIÓN DE METALES DE LAS ESCORIAS DE INSTALACIONES DE RESIDUOS A ENERGIA

García Herrero, Isabel<sup>1</sup>; Gomez Coma, Lucía<sup>1</sup>; Ansótegui, Diego<sup>2</sup>, Perez Viota, Joaquín<sup>2</sup>; Lobo, Amaya<sup>3</sup> ; Irabien, Angel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DEPRO, ETSIIyT, Universidad de Cantabria, Avenida de los Castros s/n, Santander (España), garciarmi@unican.es

<sup>2</sup>Tir Cantabria, Barrio de Vierna, S/N, 39192 San Bartolomé de Meruelo, Cantabria

<sup>3</sup> GIA, ETSICCP, Universidad de Cantabria, Avenida de los Castros s/n, Santander (España)

### Resumen

Uno de los principales retos de la Estrategia Europa 2020 es la evolución hacia un modelo circular y eficiente en el uso de los recursos. Las escorias de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) poseen un alto potencial para la recuperación de materiales secundarios. En concreto, existe un especial interés en el estudio de la recuperación de los metales no férricos (MNF) debido al bajo grado de desarrollo de su recuperación con respecto a materiales férricos, su mayor precio de mercado y su aumento en la diversificación de aplicaciones.

En Cantabria, el tratamiento de RSU se realiza en la Planta de Tratamiento Integral de Residuos de Meruelo, donde se producen del orden de 17000 ton/año de escorias. El objetivo de este trabajo es el estudio de la viabilidad técnico-económica de la valorización de MNF en la fracción fina de las escorias (<14 mm). Para ello, se realizará la caracterización de las mencionadas escorias previo diseño y ejecución de un detallado plan de muestreo. Un análisis estadístico posterior será necesario para determinar el contenido y distribución de los metales en las distintas fracciones, así como su incertidumbre asociada. Los datos significativos y consistentes proporcionados por las fases previas, serán utilizados para el análisis de la viabilidad técnico-económica de la valorización de los materiales contenidos en las mismas. Los resultados preliminares de este trabajo muestran que el mayor potencial económico de las escorias bajo estudio se encuentra en la fracción 2-6 mm, donde se acumulan cerca de un 50% de los metales no férricos, especialmente cobre, plomo y cromo.

**Palabras clave:** *economía circular, metales no férricos, caracterización, escorias de combustible derivado de residuo (CDR), viabilidad de la valorización.*

### 1. Introducción

Nuestro sistema económico actual se basa en un modelo lineal que asume que los recursos son abundantes, disponibles, fácilmente accesibles y eliminables como residuos (CE, 2014). El creciente aumento de la población así como la continua demanda de recursos finitos, acentúa la pérdida de materiales valiosos en forma de residuos y la consecuente degradación del medio ambiente. Por ello, se hace necesario la evolución hacia un modelo circular, en el que los recursos se conecten con los residuos para hacer un uso más eficiente de estos (COM, 2010, PEMAR,2016). Esta transición exige un cambio sistémico e innovador, basado en el desarrollo de nuevos procesos para la recuperación de materiales secundarios y su posterior incorporación al mercado.

Las escorias de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) poseen un alto potencial para la recuperación de materiales secundarios con valor añadido. Aunque su composición mayoritaria es la fracción mineral (85-90%), se caracterizan por la presencia tanto de metales férricos (7-15%) como no férricos (1-2%) (Grosso et al., 2011). En el año 2015 se incineraron en España cerca de 50 kg de RSU per cápita (Eurostat, 2015), de los cuales entre un 15 y un 30% constituyeron escorias. Consecuentemente, a pesar de que la concentración de metales no es elevada, en términos absolutos el potencial de los metales que se pueden recuperar es significativo.

En este sentido, existe un especial interés en el estudio de la recuperación de los metales no férricos debido a (i) su bajo grado de desarrollo con respecto a la recuperación de materiales férricos, (ii) su mayor precio de mercado con respecto a éstos y (iii) su creciente demanda debido al incesante aumento de aplicaciones que usan este tipo de metales, la cual no puede garantizar su suministro a largo plazo (Guinée et al., 1999). Sin embargo, el principal problema que presenta la recuperación de estos materiales reside en que hasta un 90% es perdido en la fracción fina (< 5 mm) (Gisbertz et al., 2013). Esto, unido a la alta heterogeneidad que presentan estas escorias, hace que sea necesario un estudio en profundidad previo que facilite la toma de decisiones para la implantación de nuevas tecnologías de separación.

## 2. Metodología

El objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad técnico-económica de la valorización de metales no férricos en la fracción fina (0-14 mm) de la escoria de incineración. Este objetivo se divide en 4 fases tal y como se describen a continuación.

### 2.1 Estudio de campo

Con el objetivo de estudiar el potencial de recuperación de los metales no férricos presentes en las escorias de incineración, se ha elaborado un plan de muestreo de acuerdo a la Norma UNE-EN 14899. En este sentido, se va a llevar a cabo una campaña de muestreo con una duración de 10 meses, recogiendo 20 kg/día de muestra durante la tercera semana de cada mes. La muestra primaria será reducida en campo a 5-6 kg mediante sucesivos cuarteos de acuerdo a la Norma UNE-EN-932-1 (Figura 1).



Fig. 1: Cuarteo de la muestra.

### 2.2. Estudio de la caracterización de escorias

Las escorias de incineración de RSU presentan una alta heterogeneidad, tanto de tamaño de partícula como composición. Por ello, el análisis elemental de la composición química no es suficiente para caracterizar las escorias, ya que no aporta datos acerca del contenido de productos con valor que pueden ser recuperados. Este aspecto, hace necesario conocer cómo se distribuyen los metales en las distintas fracciones.

Una vez cuarteada la muestra y reducida a 5-6 Kg se realizará un análisis granulométrico de las escorias en

cuanto a su distribución en las fracciones <2 mm, 2-6 mm y 6-14 mm. Antes de llevar a cabo la distribución, las muestras serán sometidas a secado durante 48 horas (Norma UNE-EN 12880:2001) y posteriormente tamizadas. Una vez separadas las muestras en las tres fracciones, éstas serán molidas y posteriormente se realizará una digestión ácida con HNO<sub>3</sub>, HCl, HF y H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> de acuerdo a la Norma UNE-EN 15310-1:2006 de caracterización de residuos. Finalmente, se determinará la concentración de metales no férricos en cada fracción mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los metales objeto de análisis en este trabajo son cromo, cobre, níquel, plomo, antimonio, estaño, wolframio y circonio, los cuales se han seleccionado debido a su interés económico y su concentración esperada, superior a 10 mg/kg.

### 2.3. Viabilidad técnico-económica de la recuperación de metales de las escorias de incineración

El objetivo de esta fase es determinar la viabilidad técnico-económica de recuperar y valorizar los metales no férricos presentes en las escorias de incineración. Los resultados de esta fase serán esenciales para la futura implantación de una tecnología de recuperación a escala planta piloto.

## 3. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el primer mes de muestreo.

### 3.1 Distribución en masa

Tras realizar una recogida de muestra durante 6 días (20Kg/día) y someterla a sucesivos cuarteos, se obtuvo una muestra final de 6281,66 g. En el laboratorio, se sometió esta muestra a secado durante 48 h, obteniendo un porcentaje de humedad del 16,24%. La Tabla 1 muestra la distribución en masa. Como se aprecia en ella, es muy similar entre las distintas fracciones de estudio y, por tanto, el tamaño medio de partícula resultante es pequeño, de 2,21 mm.

Tabla 1: Distribución por masa.

Fracción	Peso (g)	Fracción másica
<2 mm	1728,18	0,34
2-6 mm	1567,78	0,31
6-14 mm	1778,86	0,35
Tamaño medio de partícula (mm)	2,21	

### 3.2 Composición química

Tras realizar la medida de los distintos metales en el ICP-masas se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 2. En ella, se puede observar las concentraciones en masa (mg/Kg) para cada metal, así como su desviación. Asimismo, se ha calculado la concentración media de cada metal ( $C_m$ ) como la concentración de cada elemento con respecto a su fracción másica en cada fracción. Cada fracción fue molida y digerida por triplicado, obteniéndose un error menor al 20%. Igualmente se puede observar, cómo la fracción 2-6 mm es la más rica en metales no férricos, seguida de la fracción 0-2 mm. Destacan especialmente los metales cobre, plomo, y cromo. En el caso del cobre se llega incluso a superar los 4.5 g/Kg para la fracción 2-6 mm. Por el contrario, el wolframio es el metal que se presenta en menor concentración, en todos los casos es, inferior a 9 mg/Kg.

Tabla 2. Composición química (C) de las escorias de fondo (mg/Kg).

Fracción	Cr	Ni	Cu	Zr	Sn	Sb	W	Pb
<2 mm	394±36	158±5	2852±379	67±8	223±7	116±5	6±1	1522±65
2-6 mm	1128±42	509±65	4165±141	169±27	330±59	110±3	5±0.2	2922±369
6-14 mm	326±25	167±26	1495±188	154±31	139±31	85±14	9±1	893±360
$C_m$	598	270	2785	129	227	104	7	1736

### 3.3 Distribución de metales

Con el fin de clarificar los resultados obtenidos en la Tabla 2, se presenta la Figura 2, en la que se muestran los distintos metales normalizados en función de su concentración ( $C/C_m$ ). De forma general, se observa cómo la fracción 2-6 mm está enriquecida en todos los metales a excepción de wolframio. Por el contrario, la fracción menor a 2 mm se presenta como la más empobrecida, estando enriquecida solo en los metales antimonio y cobre, con valores menores al 10%. En cuando a la fracción 6-14 mm, se observan valores medios de enriquecimiento del 20% para zirconio y wolframio mientras que el resto de los metales se encuentran alrededor de un 45% por debajo de la media.

El estaño es el metal más distribuido a lo largo de las 3 fracciones como se puede observar en la Figura 2, presentando un empobrecimiento menor del 20% en la fracción de menor tamaño. A la vista de estos resultados, se puede concluir que la fracción 2-6 mm es la de mayor interés, ya que es donde se acumulan, en general, más del 50% de los metales no férricos.

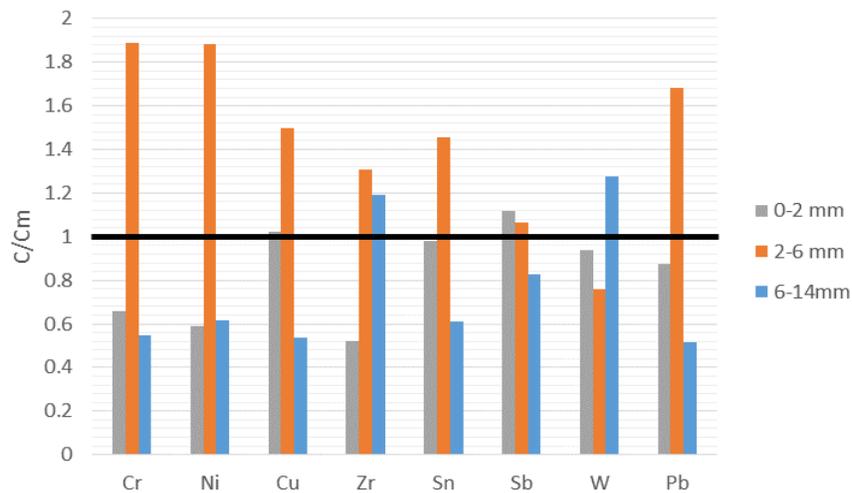


Figura 2: Enriquecimiento (>1) y empobrecimiento (<1) de cada metal en cada fracción

### 3.4 Análisis económico

Las concentraciones obtenidas de los distintos metales no ferrosos permiten calcular el potencial económico de las escorias bajo estudio. Para ello, se ha estimado el potencial beneficio que aportaría la venta de cada metal, si se vendiese de forma directa para su fundición. En este sentido, se ha asumido que los precios ofrecidos por la fundición coinciden con el precio actual de mercado de estos metales (LME, 2017; Metalprices, 2017, Muchova, 2009). Se ha considerado una producción anual de 11900 toneladas de escorias de la fracción 0-15 mm (70% de la producción anual de escorias).

Tabla 3. Potencial económico aportado por cada metal (€) de acuerdo a su concentración media.

Uds.	Cr	Ni	Cu	Zr	Sn	Sb	W	Pb	Total
€	23746	15058	90530	16367	25651	2996	564	22897	197811

Como se observa en la tabla 3, el máximo potencial económico de la fracción bajo estudio se encuentra cercano a los 200 M€/tonelada. Este valor no incluye los costes de inversión y operación de la separación. Para la determinación de la viabilidad técnico-económica real de la valorización de los metales contenidos en las escorias, será necesario en un trabajo futuro analizar las distintas alternativas tecnológicas para su separación, así como los costes de inversión y proceso. Además, será necesario realizar un estudio de mercado más exhaustivo, que establezca la desviación entre los precios de mercado de los metales no férricos y el precio ofrecido por las fracciones resultantes de la separación.

#### 4. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que existe una cantidad de metales no férricos potencialmente recuperables en las escorias de incineración de los residuos sólidos municipales. En concreto, estos metales se acumulan principalmente en la fracción 2-6 mm, donde se puede destacar la presencia del cobre, plomo y cromo. Por tanto, es importante continuar con las campañas de muestreo y caracterización con el fin de determinar la variabilidad de estos metales, lo cual permitirá analizar de entre las distintas alternativas tecnológicas existentes, aquellas que aporten una mayor viabilidad técnico-económica.

#### Agradecimientos

Los autores desear agradecer al proyecto “Estudio para la recuperación de metales no férricos en la fracción fina de la escoria de incineración” (TF16-XX-002 SODERCAN/FEDER) mediante el cual se ha podido financiar el presente trabajo.

#### Referencias

- CE (2014). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y social Europeo y al Comité de las Regiones: sobre la revisión de la lista de las materias primas fundamentales para la UE y la aplicación de la iniciativa de materias primas. COM (2014) 0297.
- COM (2010). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y social Europeo y al Comité de las Regiones: Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos. COMO (2011) 571 final.
- Gisbertz, K., Hilgendorf, S., Friedrich, B., Heinrichs, S., Rüßmann, D., & Pretz, T. (2013). Maximising metal recovery from incineration ashes. Paper presented at the European Metallurgical Conference, EMC 2013,1127-1132.
- Guinée, J.B., Van Den Bergh, J.C.J.M., Boelens, J., Fraanje, P.J., Huppes, G., Kandelaars, P.P.A.A.H., Lexmond, T.M., Moolenaar, S.W., Olsthoorn, A.A., Udo De Haes, H.A., Verkuijlen, E., Van Der Voet, E. (1999). Evaluation of risks of metal flows and accumulation in economy and environment. *Ecological Economics*, 30(1), 47-65.
- Grosso, M., Biganzoli, L., Rigamonti, L., (2011). A quantitative estimate of potential Aluminium recovery from incineration bottom ashes. *Resources, Conservation and Recycling*. 55, 1178–1184.

- Eurostat (2015). Waste generation and treatment database. [http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node\\_code=env\\_wastrt](http://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=env_wastrt). Último acceso: 27/02/2017.
- Muchova, L., Bakker, E., Rem, P., (2009). Precious Metals in Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash. Water Air Soil Pollut: Focus. 9, 107–116.
- Norma UNE CEN/TR 15310-1:2006 “Caracterización de residuos. Muestreo de residuos. Parte 1: Orientación en la selección y aplicación de los criterios de muestreo bajo diversas condiciones.
- Norma UNE-EN-932-1. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos.
- Norma UNE-EN-14899. Caracterización de residuos. Toma de muestras de residuos. Esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo.
- LME (2017). London Metal Exchange. <http://lme.com/>. Último acceso: 05/04/2017.
- Metalprices (2017). Open Market Metals. <https://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket>. Último acceso: 05/04/2017.
- PEMAR (2016). Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.