

# Valorización de residuos metálicos de la industria de grifería

Alicia Guevara, Ernesto de la Torre, Marcelo Lozada y Cristina Llumiquinga

*Departamento de Metalurgia Extractiva - Escuela Politécnica Nacional*

alicia.guevara@epn.edu.ec

## Resumen

Grandes cantidades de polvo de latón (aleación cobre-zinc) contaminado con impurezas, son generados en la etapa final de fabricación de piezas metálicas de la industria de grifería. Estos residuos metálicos industriales contienen altas concentraciones de hierro ( $> 10\%$ ) del proceso de acabado (granallado de piezas), y fibras de paño sintético del proceso de pulido, además de polvo de latón que puede ser recuperado y reutilizado.

El residuo de latón del proceso de acabado de piezas con 47,8% Cu, 36,8% Zn y 11,6% Fe, fue previamente tratado por separación magnética de baja intensidad, para eliminar el exceso de hierro. Los residuos del proceso de pulido con 53,8% Cu; 34,6% Zn y 1,1% Fe, fueron separados de las impurezas no metálicas (fibras de paño) por medio de un tamiz malla estándar #200 (75  $\mu\text{m}$ ). Los residuos pre-tratados fueron entonces fundidos en una mufla eléctrica a 1000 °C, 45 minutos, agitación y con la adición de cloruro de potasio para evitar la oxidación del zinc, y eliminar el hierro remanente en los residuos, para obtener latón con características necesarias para ser reutilizado. La caracterización de los residuos sólidos y del producto, se realiza por medio de espectrofotometría de absorción atómica (AAAnalyst 300) y microscopía electrónica de barrido (Tescan-Bruker).

El diseño conceptual y la evaluación económica de la planta de purificación de residuos de latón, en un escenario conservador del proyecto, brinda una tasa interna de retorno del 60% y un valor actual neto 71182,35 USD, cuya inversión inicial es cubierta en un año y cuatro meses de operación de la planta.

**Palabras claves:** Purificación de latón, separación magnética, tamizado, fusión, diseño conceptual.

## Abstract

Large amounts of powder of brass (copper-zinc alloy) contaminated with impurities, are generated in the final stage of manufacture of metal fittings industry. These industrial metallic wastes containing high concentrations of iron ( $> 10\%$ ) of the finishing process (blasting of parts), synthetic fiber cloth polishing process, as well as brass powder can be recovered and reused.

The residue of the finishing process brass pieces with 47.8% Cu, 36.8% Zn and 11.6% Fe, previously, was been treated by low-intensity magnetic separation, to remove excess iron. The residues of the polishing process with 53.8% Cu, 34.6% Zn and 1.1%Fe, were purified of non-metallic impurities (cloth fibers) through a standard #200 mesh (75 microns) . Pre-treated waste, were melted in an electric oven at 1000 °C, 45 minutes, agitation and with the addition of potassium chloride to prevent oxidation of iron, zinc and eliminate remaining in the waste to can get brass with necessary characteristics to be reused. The characterization of solid waste and the product obtained is used atomic absorption spectrophotometry (AAAnalyst 300) and scanning electron microscopy (Tescan).

A conceptual design and economic evaluation were of a plant of purification of brass residues, in a conservative scene the project provides an internal rate of return of 60% and a net present value of 86 830.91USD, whose initial investment is covered in a year and four months of operation of the plant

**Keywords:** Brass purification, magnetic separation, sieving, melting, conceptual design.

## 1 Introducción

Los metales son recursos naturales limitados, no renovables que deben ser extraídos de la corteza terrestre. Hoy en día estos recursos han sido explotados a tal punto que casi han llegado a su punto de agotamiento, por lo que se están empleando técnicas de recuperación para que metales considerados ahora extinguidos, cambien su condición de no renovables a reciclables. (Pardavé, 2006).

La evolución que han tenido las reservas de metales

como el Fe y Al presentan una situación tranquilizadora, no obstante es alarmante en el caso del Cu y Zn. Se estima que el 26% del cobre y el 19% del zinc extraíble de la corteza terrestre se pierde actualmente en desechos no reciclados.

Los precios actuales no reflejan las pérdidas porque el suministro es todavía lo bastante grande como para cubrir la demanda y, adicionalmente, nuevos métodos

han ayudado a las minas a producir el material con más eficiencia, pero en el futuro cercano los metales afrontarán el inevitable agotamiento. (Riba, 2008).

La mezcla de cobre y zinc forman una aleación denominada latón. Esta aleación posee una gran ventaja sobre otros materiales, sus residuos pueden ser reciclados o reutilizados, en lugar de ser desechados en un relleno sanitario, lo que ayudará a asegurar un suministro continuo durante muchos años [8].

A nivel mundial el reciclaje proporciona un notable ahorro de energía, ya que reduce la demanda de nuevos materiales. La ventaja de los metales es que, de todos los materiales actualmente utilizados por la sociedad, éstos tienen el mayor potencial de reciclado ilimitado, es decir son 100 % reciclables [1].

Actualmente, la última fase de fabricación de piezas de grifería genera grandes cantidades de residuos metálicos que contienen principalmente polvo de latón, impurezas de hierro y fibras de paño. Éstas deben ser removidas para la reutilización del latón que en estos días constituye un pasivo ambiental.

El latón reciclado representa un factor importante a nivel ambiental, ya que disminuye el gasto de recursos naturales de la corteza terrestre, dándole utilidad a los residuos de la aleación que puedan ser aprovechables. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo reducir el contenido de impurezas no metálicas de los residuos de latón del proceso de pulido, a través de medios físicos y, por medios magnéticos, el contenido de hierro de los residuos del proceso de acabado, para su posterior fusión en presencia de sales de cloro.

Se busca obtener un producto que presente concentraciones de hierro inferiores al 1 % y contenidos de cobre y zinc similares a los del latón industrial (aproximadamente 60 % de cobre y 35 % de zinc). El control de los elementos presentes en el producto se hace por medio un análisis químico de espectrofotometría de absorción atómica, y por un microanálisis a través de microscopía electrónica de barrido.

El latón obtenido como producto del reciclaje de residuos de la industria de la grifería, debe cumplir con la composición de elementos de la aleación comercial, para optimizar durabilidad frente a los procesos ambientales de oxidación y asegurar de esta manera su calidad, ya que es comercializado ampliamente en diversas industrias.

Una vez determinadas las alternativas tecnológicas más adecuadas para la purificación de latón, en este estudio se elabora un diseño de prefactibilidad técnico-económico, cuyo objetivo fundamental es el diseño conceptual de una planta de purificación de residuos de latón. Este diseño se basa en los volúmenes de residuos de latón generados por la fabricación de piezas de grifería de la empresa Franz Viegner. Se analiza, los volúmenes producidos y se propone, en base a estos datos, un proceso y una planta adecuada para la recuperación de latón.

El último punto a desarrollar es la estimación de la inversión, a través de indicadores económicos como la

tasa interna de retorno, el valor actual neto y la relación costo beneficio, con el fin de estimar si la implementación de una planta purificadora de latón resulta ser factible tanto desde el punto de vista económico como del ambiental.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Materiales

Se emplearon dos tipos de residuos de latón:

- Residuos del proceso de acabado, constituidos de polvo de latón y fragmentos de granalla de hierro.
- Residuos del pulido de piezas que contienen polvo de latón y fibras de paño.

Para el análisis químico se realizó disgregación ácida de las muestras con ácido nítrico y ácido clorhídrico (MERCK).

Para la fusión de los residuos pre-tratados se usó cloruro de potasio (MERCK).

Todos los reactivos químicos empleados fueron de grado analítico. Para las soluciones se empleó agua previamente destilada.

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Caracterización físico-químico de residuos de polvo de latón

Para los residuos de latón empleados en esta investigación se determinaron propiedades físico-químicas tales como: granulometría, pH y densidad. Se analizó la concentración de metales como Cu, Zn, Fe, Sn, Mn, Al, Pb, Si, mediante espectroscopía de absorción atómica (AA-analyst 300) y microscopía electrónica de barrido (Tescan con microanalizador de rayos X Quantax). Se usó adicionalmente microscopía óptica con luz reflejada (microscopio petrográfico Leica), para determinar el tamaño de partícula del material no metálico presente.

#### 2.2.2 Separación magnética para el residuo de polvo de latón del proceso de acabado

Para eliminar el exceso de hierro de los residuos que contiene fragmentos de granalla, se realizó separación magnética.

En el proceso de separación magnética se utilizaron básicamente dos tipos de equipos:

- Un separador magnético de tambor de alta intensidad por vía seca, donde se procesaron 0,5 kilogramos por hora de material seco y se trabajó con campo magnético aplicado (CMA) igual a 472, 516 y 570 Gauss.
- Un separador de tambor por vía húmeda de baja intensidad, que posee un imán permanente, donde se trataron 15 kilogramos por hora de material en

pulpa. Se realizaron tres pasos continuos del material.

Como consecuencia del proceso de separación magnética se obtuvo una fracción magnética que abarca impurezas férricas, y una fracción no magnética que comprende material metálico no férrico como el cobre y el zinc.

Las fracciones obtenidas se pesaron, y se caracterizaron mediante espectroscopia de absorción atómica, para conocer el porcentaje de hierro remanente y los metales que conforman la aleación.

### 2.2.3 Separación por tamaño de partícula mediante tamices del residuo de latón del proceso de pulido

Para la purificación del residuo de latón proveniente del proceso de pulido se empleó la separación mecánica, por medio de un sistema de agitación y una serie de tamices estandarizados (mallas estándar: #40(425  $\mu\text{m}$ ), #50(300  $\mu\text{m}$ ), #60(250  $\mu\text{m}$ ), #70(212  $\mu\text{m}$ ), #80(180  $\mu\text{m}$ ), #100(150  $\mu\text{m}$ ), #150(106  $\mu\text{m}$ ), #200(75  $\mu\text{m}$ ), #270(53  $\mu\text{m}$ ), #325(45  $\mu\text{m}$ ) y #400(38  $\mu\text{m}$ )).

Posteriormente se trabajó con el tamiz malla #200 (75  $\mu\text{m}$ ), a tiempos de 5, 10, 15, 20 y 25. La composición elemental de las muestras se determinó mediante espectroscopia de absorción atómica.

La cantidad de material no metálico separada se analizó por medio de microscopia óptica con luz reflejada.

### 2.2.4 Ensayo de fusión de los residuos pretratados

La fracción no magnética procedente de la respectiva separación, y la fracción menor que 75  $\mu\text{m}$  del proceso de separación física por tamiz vibratorio, se fundieron en una mufla eléctrica LINDBERG/BLUE, a 1000 °C. En cada ensayo se empleó una con carga de 50 gramos de residuos pretratado. Durante el proceso se empleó cloruro de potasio como agente antioxidante, ubicado así: a) como una capa superior al material a fundir y b) como una mezcla homogénea con el polvo purificado.

Se trabajó con concentraciones de 8, 10, 15 y 20 gramos por ensayo de cloruro de potasio en capa, y con tiempos de fusión de 30 y 45 minutos. Además se analizó si el parámetro de la homogenización influía en la fusión.

Posteriormente se determinó la composición del latón por espectroscopia de absorción atómica, y la homogeneidad de la aleación por microscopia electrónica de barrido (MEB).

## 2.3 Elaboración del Diseño conceptual y análisis económico preliminar del proceso

Para la elaboración del diseño conceptual se estima un procesamiento del 100 kg/día del residuo de latón del proceso de acabado, y 50 kg/día del residuo de latón del proceso de pulido, en dos líneas independientes.

En cada proceso escogido, de acuerdo con los mejores resultados experimentales para la purificación de cada residuo, se efectuó un balance de masa para determinar la capacidad del equipo a emplear y, a través de fórmulas de diseño propias para cada equipo, se determina su tamaño aproximado.

Para realizar la evaluación económica del proyecto, se hizo una estimación de costos como: inversión inicial, costos fijos, costos variables e ingresos del proyecto. Con esta información se determinaron indicadores económicos tales como el VAN, TIR y B/C, que permiten conocer la factibilidad económica del proyecto.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Resultados del análisis físico-químico

Para determinar las condiciones iniciales de los dos residuos y poder establecer el o los procesos a emplear en su tratamiento, se realizó una caracterización físico-química.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis químico de los residuos industriales del proceso acabado y pulido de piezas metálicas de la industria de grifería. Se observa que la concentración de Fe en el residuo del proceso de acabado es superior a 10 %, debido que el latón original es bombardeado por sinnúmero de microesferas de acero, generando como residuo polvo de latón contaminado con partículas de hierro.

Propiedades	Residuo proceso de acabado	Residuo proceso de pulido
Densidad real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,8	2,4
Granulometría, d80 ( $\mu\text{m}$ )	81	58
pH	10,4	9,9
Cobre (%)	47,8	53,8
Zinc (%)	36,8	34,6
Hierro (%)	11,6	1,1
Plomo (%)	1,5	1,4
Aluminio (%)	0,3	0,5
Silicio (%)	0,2	0,3
Estaño (mg/kg)	0,9	0,5
Manganeso (%)	0,03	0,001

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de residuos originales de la industria de grifería.

Los procesos de purificación del residuo se enfocaron a reducir la concentración de Fe a valores inferiores al 1 %.

El estudio de la muestra del proceso de pulido por microscopia óptica de luz reflejada, mostró la presencia de fibras de paño (Tabla 2), esto se debe a que las piezas

metálicas son tratadas superficialmente con una pulidora de paño, generando restos no metálicos que contaminan el polvo de latón.

Color	Observaciones
Amarillo opaco, se observa la presencia de pequeñas partículas metálicas de amplio rango de granulometría, de color dorado.	Polvo de apariencia muy homogénea con brillo metálico neto característico del latón. Las motas de fibra de paño son visibles fácilmente y detectables al tacto.

**Tabla 2.** Características del residuo de proceso de pulido, obtenidas por microscopía óptica.

### 3.2 Resultados de la separación magnética para el residuo de polvo de latón del proceso de acabado

Se aplicó separación magnética en seco y en húmedo como segundo tratamiento para disminuir la cantidad de hierro. Como consecuencia del proceso aplicado se obtuvo una fracción magnética que abarca impurezas férricas y una fracción no magnética que comprende material metálico no férrico como el cobre y el zinc (polvo de latón).

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados del análisis químico de la fracción no magnética obtenida por este tratamiento. Se observa que a mayor campo magnético aplicado la remoción de hierro es mayor. En este caso se ensayaron con valores de campo de 570, 516 y 473 Gauss.

En todos los casos se obtienen recuperaciones superiores al 80 % del material no magnético.

Elemento (%)	570 Gauss	516 Gauss	473 Gauss
Cu	56,00	50,20	49,84
Fe	4,74	5,90	6,85
Zn	35,00	35,05	36,25
Al	0,58	0,53	0,63
Mn	0,04	0,06	0,09
Si	0,64	0,71	0,72
Pb	2,98	3,41	3,26
<b>Recuperación del residuo (%)</b>	88,18	81,18	80,52

**Tabla 3.** Concentración de elementos y recuperación en la fracción no magnética, del proceso en seco a diferentes CMA.

Cabe señalar que los productos obtenidos todavía no cumplen con las características del latón comercial, por lo que procesos posteriores se enfocaron a cumplir con estas condiciones.

Elemento (%)	Primer paso	Segundo paso	Tercer paso
Cu	57,70	60,30	62,80
Fe	3,23	2,33	1,48
Zn	34,48	30,64	29,95
Al	0,31	0,29	0,2
Mn	0,22	0,19	0,18
Si	0,46	0,53	0,64
Pb	2,52	2,74	3,01
<b>Recuperación del residuo (%)</b>	89,42	88,3	86,65

**Tabla 4.** Concentración de elementos y recuperación en la fracción no magnética del proceso húmedo (tres pasos).

### 3.3 Resultados de separación por tamaño de partícula mediante tamices, del residuo de latón del proceso de pulido

Se empleó separación física por tamizado como tratamiento para eliminar las fibras de paño presentes.

En la Tabla 5 se exponen las características observadas mediante microscopía óptica de luz reflejada con 100 aumentos de las fracciones obtenidas en cada tamiz.

Los mejores resultados del análisis se dan en la malla #200 (75 µm), la fracción de material que pasa a través del tamiz no tiene presencia de fibras de paño.

En la Figura 1 se aprecia que el tiempo de tamizado influye en la recuperación de fibra de paño, a mayor tiempo de proceso menor es la cantidad de paño recuperado. Normalmente mientras mayor es el tiempo de tamizado mayor es la recuperación de material, en este caso sucede el efecto contrario, la mayor recuperación se obtiene a los 5 minutos de ensayo.

Este comportamiento atípico se debe a que, mientras mayor tiempo de tratamiento se da al residuo, las delicadas fibras de paño contenidas en el mismo se van desintegrando y, como consecuencia, vuelven a contaminar las fracciones de latón de menores tamaños.

### 3.4 Resultados de ensayos de fusión de los residuos pretratados

El tratamiento final dado a la fracción no magnética y a la fracción menor que 75 µm, fue el proceso de fusión a 1000 °C, usando una carga de material de 50 gramos, cloruro de potasio (agente antioxidante), homogenización y un tiempo de proceso de 45 minutos.

Malla #	Abertura [ $\mu\text{m}$ ]	Peso [g]	Porcentaje
+40	425	0.3	60% pelusa fina. 25% limallas metálicas. 15% impurezas.
+50	300	0.3	65% pelusa fina. 10% limallas metálicas. 25% impurezas.
+60	250	0.2	90% pelusa fina. 3% limallas metálicas. 7% impurezas.
+70	212	0.3	20% pelusa fina. 80% polvo metálico contaminado con impurezas (30% de polvo metálico y 50% de impurezas).
+80	180	0.6	55% pelusa pelusa contaminada con polvo metálico. 45% polvo metálico con pequeñas pelusas.
+100	150	9.8	65% pelusa fina. 10% limallas metálicas. 25% impurezas.
+200	75	18.8	50% motas. 50% polvo dorado metálico.
+270	53	45.9	100% Polvo homogéneo.
+325	45	24.6	100% Polvo homogéneo.
+400	38	20.4	100% Polvo homogéneo.
-400	< 38	123.4	100% Polvo homogéneo.

Tabla 5. Caracterización de las fracciones obtenidas por tamizado, usando microscopía óptica de luz reflejada.

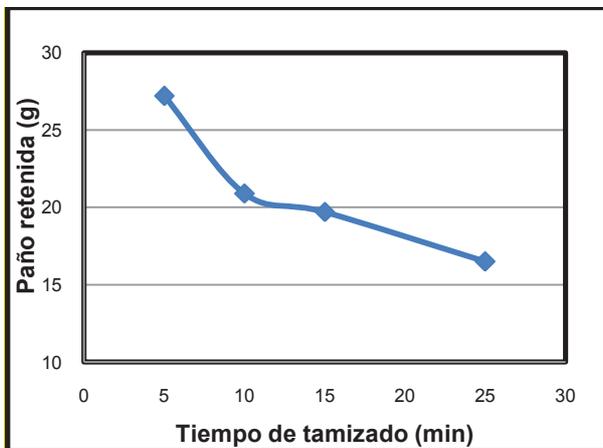


Figura 1. Variación de cantidad de paño retenido función del tiempo de tamizado.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la composición elemental de las muestras fundidas, variando la cantidad de cloruro de potasio en la fusión.

KCl [g]	Cu %	Zn %	Fe %	Al %	Sn %	Pb %
5	67,54	31,32	0,99	0,02	0,04	1,82
8	64,70	33,35	0,86	0,04	0,20	1,79
10	63,73	30,29	0,84	0,02	0,30	1,77
15	59,43	31,39	0,67	0,02	0,06	1,84
20	60,15	35,27	0,85	0,02	0,06	1,83

Tabla 6. Contenido de elementos en el producto fundido, variando la cantidad de KCl.

El proceso de fusión más satisfactorio se hizo en 45 minutos a 1000 °C, 50 gramos de carga, capa de 15 gramos de cloruro de potasio y homogenización.

Finalmente, el contenido de los elementos del producto final analizados por absorción atómica se muestra en la Tabla 7.

Residuo	%Cu	%Zn	%Fe	%Al	%Sn	%Pb
Acabado	59,43	31,39	0,67	0,02	0,06	1,84
Pulido	60,55	29,35	0,4	0,04	0,20	1,79

Tabla 7. Contenido de elementos en el producto fundido obtenido por absorción atómica.

Estos resultados muestran que ya se dispone de un material con características similares al latón comercial, esto es, cobre > 58%, zinc > 28% y hierro < 1%.

### 3.5 Diseño conceptual y análisis económico preliminar para el proyecto

El diseño conceptual del proceso consiste en el dimensionamiento y caracterización de los equipos requeridos para la purificación de residuos de latón. Este diseño se hace considerando el procesamiento de 100 kg/día de residuo de latón del proceso de acabado, y 50 kg/día de residuo de latón del proceso de pulido. Mediante balance de masa, se determina la capacidad requerida de cada equipo y por medio de ecuaciones propias de cada equipo se establece su dimensionamiento, determinando las medidas de cada equipo. Esto se presenta en la Tabla 8.

Equipo	Capacidad [kg/h]	Tamaño
Separador magnético de correa	6	L: 1,85 m A: 0,59 m E: 1,13 m
Tamiz vibratorio lineal	6,5	L: 2,13 m A: 1,07 m E: 0,24 m
Horno de crisol basculante	150	D: 0,53 m H: 0,25 m

**Tabla 8.** Características de los equipos para la planta de purificación de residuos de latón.

Una vez recopilada la información técnica, se hace una estimación de inversión y de los costos de operación de la planta.

Para la evaluación económica se determinaron parámetros como: inversión inicial, gastos fijos y variables e ingresos del proyecto, que nos permite conocer la factibilidad del proyecto.

En la Tabla 9 se da a conocer la inversión inicial que requiere el proyecto, donde se estiman gastos de infraestructura y de compra de los principales equipos.

Item	Costo (USD)
Terreno e infraestructura	25 000
Equipos principales	31 570
<b>Inversión estimada</b>	<b>55 570</b>

**Tabla 9.** Estimación de la inversión inicial.

En la Tabla 10 se indica los gastos fijos mensuales para la planta.

Parámetro	Valor (USD)
Sueldo del supervisor	600,00
2 Obreros	600,00
Beneficios	1405,60
<b>Total</b>	<b>2 605,60</b>

**Tabla 10.** Estimación de costos fijos.

Los gastos variables reagrupan todos los costos y consumos que se relacionan directamente con la canti-

dad de latón a producir, obviamente mientras más cantidad, el consumo de reactivos y servicios básicos aumenta. En la Tabla 11 se muestra los gastos variables.

Parámetro	Valor (USD)/mes
KCl	6 120,00
Agua + luz	200,00
<b>Total</b>	<b>6 320,00</b>

**Tabla 11.** Estimación de gastos variables.

Finalmente, se consideran los ingresos generados por el proyecto, con una jornada de trabajo de 20 días al mes. En la Tabla 12 se presentan los ingresos estimados del proyecto.

Parámetro	Valor (USD)/mes
Latón comercial	12 036,00
Fracción magnética (18 %Fe)	42,00
<b>Total</b>	<b>12 078,00</b>

**Tabla 12.** Ingresos estimados.

Para la actualización de los flujos y el cálculo de los indicadores de factibilidad económica de la planta, se utilizó una tasa de oportunidad de 10 %, con base en una medida de la tasa de interés nacional. Con estas estimaciones se construyó un flujo de fondos para el cálculo de tres indicadores, estos se señalan en la Tabla 13.

Indicadores	Valores
VAN	71 182,35 USD
B/C	1,25
TIR	74,18 %

**Tabla 13.** Indicadores económicos obtenidos.

Los indicadores reflejan que la planta de procesamiento, en las condiciones planteadas, produciría una rentabilidad atractiva del 74,18 %, que se encuentra sobre la tasa de oportunidad del capital. Por lo tanto, es conveniente efectuar la inversión. En este caso es de 1,3 años. Entonces, la inversión se podría recuperar en 1 año y 4 meses aproximadamente.

Luego de la recuperación de los costos operacionales y de la inversión en la planta, a valores actuales mantendría una utilidad de 71 182,35 USD en los 5 años, ya que al 1 año y 4 meses se recuperaría la inversión total.

El precio de venta del latón comercial, de 5,90 USD/kg, permite tener ingresos de venta de 722 160 USD durante los 5 años de vida útil de los equipos. Los precios mostrados pertenecen a valores referenciales y no están sustentados en un estudio de mercado.

## 4 Conclusiones

Se pueden purificar residuos de latón contaminados con hierro y fibras de paño usando medios físicos como el tamizado a 75 micras (malla # 200) y separación magnética a baja intensidad, para su posterior fusión a 1000 °C, 45 minutos, con agitación y con 15 % de cloruro de potasio. Este proceso permite obtener un material con características similares al latón comercial, con cobre superior a 58 %, zinc mayor al 28 % y hierro inferior al 1 %, determinados mediante espectrofotometría de absorción atómica.

## Agradecimientos

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional por el apoyo financiero brindado a este trabajo de investigación y al personal del Departamento de Metalurgia Extractiva por su colaboración profesional.

## Referencias

- [1] Amaya, G. R., Valero, A. L., Aranda, A. G. y Scarpellini, S. I., 2006, *Disminución de costes energéticos en la empresa: tecnologías*, Editorial FC, Madrid, España, p.p. 124-125.
- [2] Bermúdez, M. A., 2006, *Diseño, construcción y calibración de un sistema automatizado para la separación de minerales pesados*, Revista de la Facultad de ingeniería Universidad Central de Venezuela, 21(3), 35.
- [3] Brewis, T. A., 2000, *Magnetic Separation*, Mining Magazine, 8(2), 192.
- [4] Coca, P. M. y Rosique, J. P., 2003, *Ciencia de Materiales*, 12va. Edición, Editorial Pirámide, Madrid, España, pp. 415-420.
- [5] DeGarmo, E. P., Black, T. J. y Kohser, R. A., 1994, *Materiales y procesos de fabricación*, 2da. Edición, Editorial Reverté, Barcelona, España, pp. 218-220.
- [6] Guevara, J., 2003, *Tecnología Automotriz*, <http://www.monografias.com/usuario/perfiles/cicuta350/monografias>, (Septiembre 2010).
- [7] Kalpaklian, S. y Schmid, S. R. 2002, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 4ta. Edición, Edición Prentice Hall, Naucalpan de Juárez, México, p. 163, 292-294, 904.
- [8] Longe, J. L., 2001, *How products are made Volume 6*, Editorial Gale Research, New York, Estados Unidos, pp. 247-300.