

Recuperación de Aluminio a partir de Empaques tipo *blister* usados por la Industria Farmacéutica

Erazo Clara¹; de la Torre Ernesto¹; Endara Diana¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador

Resumen: Se ha desarrollado un proceso para la recuperación de aluminio a partir de empaques farmacéuticos tipo blister, mediante lixiviación de PVC con solventes orgánicos y fusión de las láminas de aluminio con sales de cloro y flúor. Las condiciones de lixiviación de PVC se determinaron mediante el uso de acetona y acetato de n- butilo 98 % de pureza y en solución con etanol al 50 % v/v y 25 % v/v, durante 180 min en intervalos de 30 min cada uno. Las láminas metálicas recuperadas fueron compactadas y sometidas a ensayos de fusión variando la composición molar de sales fundentes, porcentaje de carga, temperatura y tiempo, con el fin de establecer las condiciones que permitan la mayor recuperación de la fase metálica. Los productos fueron caracterizados por difracción de rayos X y espectrofotometría de chispa. Con base en los resultados, la etapa de lixiviación debe realizarse con acetato de n- butilo al 98% como solvente, durante 150 min. El proceso de fusión requiere el uso de una carga fundente del 200 % de composición molar 60 % de NaCl y 40 % de KCl a una temperatura de 750 °C durante 1,75 h. Se logra una recuperación del 65 % de aluminio metálico con una pureza del 98,57 %.

Palabras clave: Aluminio, recuperación, empaque *blister*, lixiviación, fusión.

Aluminum Recovery from *blister* Packaging used by Pharmaceutical Industry

Abstract: A process for recovering has been developed from pharmaceutical blister packs, by leaching of PVC with organic solvents and melting the aluminum sheets with chlorine and fluorine salts. Leaching conditions PVC were determined using acetone and n-butyl acetate pure and solutions with ethanol 50 v/v and 25 % v/v during 180 min in 30 min each one. The metal sheets recovered were compacted and subjected to fusion assays varying the molar flux salt composition, percentage of load, temperature and time, in order to establish the conditions that allow greater recovery of the metallic phase. The products were characterized by DRX and spark spectrophotometry. Based on the results, the leaching step must be done with n-butyl acetate as solvent 98 % during 150 min. The fusion process requires the use of a flux loading of 200 %, molar composition of 60 % NaCl and 40 % KCl at a temperature of 750 °C for 1,75 h. A recovery of 65 % aluminum metal is achieved with a purity of 98,57 %.

Keywords: Aluminum, recovery, blister packaging, leaching, fusion.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Reciclaje de aluminio

Un tercio del aluminio que se consume a nivel mundial proviene de procesos de reciclado. Este metal tiene la característica de mantener su estructura atómica durante el proceso de fusión, por lo cual es posible reciclarlo de forma repetitiva sin perder valor económico ni pureza (Rubinos, 2007)¹

La producción secundaria de aluminio presenta una disminución del 93 % de consumo de energía respecto a la

requerida en procesos de producción primaria. Además, se reduce la generación de residuos sólidos hasta del 85 % (Schlesinger, 2013; Totten y MacKenzie, 2003).

1.1.1 Fusión de aluminio con sales de cloro y flúor

El principal inconveniente en la fusión de aluminio es la alta reactividad del material lo cual provoca contaminación en la superficie. La técnica de fusión que se seleccione debe evitar el contacto directo con la llama, para esto se utiliza cargas fundentes que impiden la formación de óxidos (Román, 1992). El proceso de reciclaje de aluminio utiliza sales como carga fundente con el fin de proteger el material de la oxidación, remover la capa de óxido formada y promover la coalescencia de gotas de aluminio. Estas sales deben cumplir con las siguientes características: tener puntos de fusión por

ale_erazosoria15@hotmail.com

debajo de los 720 °C, no ser higroscópicos, no ser causante de impurezas y tener presión de vapor baja. El principal inconveniente en el proceso es la producción de un residuo que debe ser tratado antes de su disposición final (Totten y MacKenzie, 2003).

Generalmente, la carga fundente consiste en una mezcla equimolar entre cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de potasio (KCl). Con la finalidad de aumentar la recuperación de aluminio, se suelen añadir sales de flúor que facilitan la coalescencia de las gotas formadas durante la fusión (Totten y MacKenzie, 2003).

En el año 2010, Yépez realizó un estudio sobre el reciclaje de aluminio de desechos industriales y electrónicos utilizando sales de cloro y flúor. El análisis incluyó disipadores de calor, limallas de extrusión, limallas de corte de perfiles y escoria de fusión de chatarra. Al trabajar con limallas de corte de perfiles, se obtuvo recuperaciones menores al 90 % debido al tamaño de partícula de la materia prima y la facilidad de oxidación (Yépez, 2010).

1.2. Reciclaje de empaques farmacéuticos tipo blister

Los empaques *blister* son envases que contienen en su interior medicamentos. Existen dos tipos, el primero tiene una cavidad de plástico y el recubrimiento se constituye por plástico, papel y/o aluminio; el segundo, la cavidad y el recubrimiento son de aluminio (Pilchik, 2000). En la Figura 1, se observa la configuración básica de los empaques tipo *blister*.

Los empaques *blister* se componen por el film formado, el material de cubierta, el recubrimiento de sellado térmico y las tintas de impresión. Generalmente, del 15 - 20 % corresponde al material de cubierta, mientras que del 80-85 % corresponde al film formado (Pilchik, 2000).

El film formado es el material que aloja el producto, su selección depende de las propiedades y el grosor requerido para el empaque. Generalmente, el material más utilizado es el policloruro de vinilo (PVC) debido a su alta resistencia química, bajas permeabilidades a aceites, grasas y aromatizantes, excelente termoformabilidad y bajo costo. Sin embargo, existen empaques blister que utilizan polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), clorotrifluoroelileno (CTFE) y cloruro de polivinilideno (PVDC) como film formado (Pilchik, 2000).

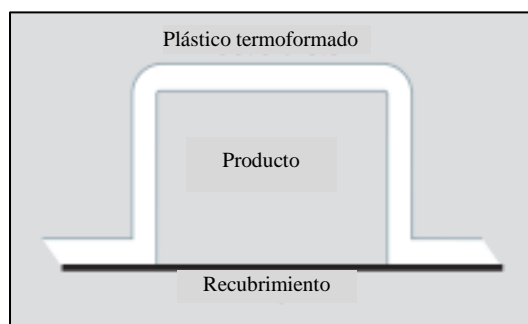


Figura 1. Configuración básica empaque *blister* (Pilchik, 2000). Modificado

El material de cubierta proporciona la base estructural del empaque además debe evitar la transferencia de vapor de agua al interior. Su selección depende del tamaño, forma y peso del producto. Generalmente suele ser una lámina de papel aluminio o una combinación de papel/aluminio o papel/PET/aluminio (Pilchik, 2000).

El film formado y el material de cubierta son sellados mediante la aplicación de calor. El recubrimiento de sellado térmico asegura la resistencia a condiciones climáticas no favorables, resistencia a la abrasión, claridad y brillo (Pilchik, 2000).

La problemática de reciclaje de los empaques tipo *blister* radica en los inconvenientes de tratamiento por incineración del PVC presente en el envase. Durante los procesos de incineración de PVC se genera dioxinas, razón por la cual el uso de este tipo de material plástico ha sido cuestionado durante los últimos años. La generación de este tipo de compuestos es considerada una amenaza tanto para la salud humana como para el medio ambiente por lo cual es necesario establecer una prevención de contaminación reduciendo la práctica de este tipo de procesos (Belliveau, 2003).

Existen dos procesos orientados al tratamiento de productos que incluyen PVC en su composición. La recuperación de PVC de materiales compuestos mediante el proceso Vinyloop y la combustión en dos etapas con recuperación de HCl (Saeed, 2004; VinyLoop, 2013).

El PVC a temperatura normal es resistente a ácidos, álcalis y sales corrientes. Sin embargo, al entrar en contacto con algunos disolventes como el benceno y la acetona, es atacado y como producto se tiene el material hinchado o esponjado (Nutsch, 2000).

Los materiales rígidos de PVC al tener contacto con hidrocarburos aromáticos y clorados, cetonas, ésteres, esteres cíclicos, penetran en su estructura causando inflamación y reblandecimiento. La solubilidad es dependiente directa de la concentración del disolvente (González, 1997)

2. METODOLOGÍA

2.1. Caracterización física química y mineralógica de los empaques usados por la industria farmacéutica

2.1.1 Caracterización física

Los empaques tipo *blister* fueron caracterizados físicamente mediante la determinación del contenido de humedad, volátiles, cenizas y carbón fijo. Para esto se utilizó los procedimientos basados en las normas ASTM D3173-87, ASTM D3174-12 y ASTM D3175-02.

La caracterización del material polimérico se realizó por espectros de infrarrojo en el equipo SpectrumOne marca Perkin Elmer. Además, se determinó la densidad real y aparente.

2.1.2 Caracterización química

La caracterización química de la lámina metálica de los empaques farmacéuticos tipo *blister*, se realizó mediante espectrofotometría de chispa en el equipo Bruker Q4 TASMÁN en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

Por su parte, el film plástico fue laminado en una prensa marca CAEVER, modelo 2112 -104 a 150°C bajo una presión de 20000 lb/plg². Mediante el uso de un Espectrofotómetro de Infrarrojo por Transformadas de Fourier marca Perkin Elmer, modelo SpectrumOne, se corrió el espectro de la muestra por el método de transmitancia. El ensayo se realizó en el laboratorio del Centro de Investigación Aplicada a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional.

2.1.3 Caracterización mineralógica

La caracterización mineralógica de la parte metálica de los empaques farmacéuticos tipo *blister* se realizó con el fin de determinar la naturaleza de los compuestos que lo conforman. El análisis se realizó mediante difracción de rayos X (DRX) en el equipo D8 Advance Bruker. La cualificación y cuantificación de cada uno de los compuestos presentes en la muestra se determinó mediante el uso de los softwares EVA y TOPAS, respectivamente. El análisis fue realizado en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

2.2. Definición de las mejores condiciones de lixiviación utilizando solventes orgánicos

La metodología de lixiviación se estableció con base en el trabajo realizado por Estrella (2013).

Los ensayos de lixiviación se realizaron con la finalidad de separar el material polimérico de la lámina de aluminio de los empaques tipo *blister*. Se utilizó un equipo de extracción soxhlet de marca Selecta con disponibilidad de 6 dispositivos con capacidad de solvente de 250 mL cada uno del laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional.

Los ensayos se realizaron con acetona y acetato de n- butilo puros y en solución con etanol 25 % v/v y 50 % v/v. Los parámetros a variar fueron la concentración del solvente y el tiempo de lixiviación. Los parámetros constantes fueron la cantidad de solvente (200 mL), la cantidad de empaque (4 g) y la temperatura de trabajo (temperatura de ebullición de cada solvente).

Para cada ensayo se tomaron 4 g de empaque tipo *blister*, se introdujeron en cartuchos de celulosa, adicionando 200 mL del solvente. El equipo se prende hasta llegar a la temperatura de ebullición del solvente. A partir de la primera gota de destilado se toma el tiempo de lixiviación. Los ensayos se realizan durante 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min.

Una vez transcurrido el tiempo se apaga la fuente de calentamiento, se retiran los cartuchos de celulosa y se extrae el material remanente en su interior. Finalmente se realiza la recuperación del solvente dentro del equipo de extracción soxhlet.

Las láminas de aluminio recuperadas por lixiviación se analizaron químicamente, mediante espectrofotometría de chispa en el equipo Bruker Q4 TASMÁN y mineralógicamente mediante difracción de rayos X (DRX) en el equipo D8 Advance Bruker, la cualificación y cuantificación de cada uno de los compuestos presentes en la muestra se determinó mediante el uso de los softwares EVA y TOPAS, respectivamente. Los análisis fueron realizados en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

2.3. Definición de las mejores condiciones del proceso de fusión utilizando sales de cloro y flúor

La metodología utilizada que se realizó fue establecida con base en el trabajo realizado por Estrella (2013) y Yépez (2010).

Los ensayos de fusión de las láminas de aluminio previamente recuperadas por lixiviación, se realizaron en una mufla eléctrica marca Lindberg/Blue M modelo BF51728C-1 de 0,064 m³ de capacidad.

Todos los ensayos de fusión utilizaron 2 g de láminas de aluminio previamente compactadas en una prensa hidráulica (400 kg/cm²) colocadas en un crisol de barro.

Se definió las mejores condiciones de fusión sobre la recuperación de aluminio variando la composición molar de sales fundentes, porcentaje de carga, variación de temperatura y tiempo.

2.3.1 Evaluación de la composición de las sales dentro de la carga fundente

Para la determinación de la concentración de las sales dentro de la carga fundente, se varió la composición molar de NaCl y KCl, como se muestra en la Tabla 1. Los ensayos se realizaron durante 2 h a una temperatura de 750 °C y con el 200 % de carga fundente.

Tabla 1. Variación de la composición molar de las sales NaCl y KCl en los ensayos de fusión

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
NaCl	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
KCl	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

La carga fundente que reportó mayor recuperación de aluminio fue utilizada para los ensayos posteriores.

2.3.2 Evaluación del porcentaje de carga fundente necesario

Con el fin de evaluar el porcentaje de carga fundente se realizaron un total de 5 ensayos. Se trabajó con porcentajes

de 100, 200, 300 y 400 % de carga fundente. Además, se evaluó el proceso sin tomar en cuenta carga fundente. Para estos ensayos se mantuvieron constantes los parámetros de tiempo (2 h), temperatura (750 °C), composición de las sales (definida en el punto 2.3.1).

La cantidad de carga fundente que reportó mayores valores de recuperación fue utilizada en los ensayos posteriores.

2.3.3 Influencia de la variación de temperatura

La determinación de la influencia de la variación de la temperatura se realizó manteniendo constantes los parámetros de tiempo (2 h), composición de sales fundentes (definida en el punto 2.3.1) y la cantidad de carga fundente (definida en el punto 2.3.2). Se analizaron ensayos de fusión dentro de un rango de temperatura de 650 °C a 850 °C, en intervalos de 50 °C cada uno. La temperatura que reportó el valor más alto de recuperación de aluminio se fijó en los ensayos posteriores.

2.3.4 Influencia de la variación del tiempo de fusión

La determinación del tiempo de fusión se realizó manteniendo constantes los parámetros de composición de sales fundentes (definida en el punto 2.3.1) y la cantidad de carga fundente (definida en el punto 2.3.2) y temperatura (definida en el punto 2.3.3). Se realizaron un total de 10 ensayos de fusión durante 2,50 h en intervalos de 0,25 h cada uno. El tiempo de fusión que reportó el valor más alto de recuperación de aluminio fue utilizado en los ensayos posteriores.

2.3.5 Influencia de la adición de fluoruro de potasio (KF)

Para la determinación de la influencia de la adición de fluoruro de potasio (KF) a la carga fundente se realizaron dos ensayos. Se mantuvo constantes los parámetros que reporten mayor recuperación de aluminio de los ensayos anteriores: la composición de la carga fundente (definida en el punto 2.3.1), porcentaje de carga (definida en el punto 2.3.2), temperatura (definida en el punto 2.3.3) y tiempo (definida en el punto 2.3.4). La adición de KF se realizó en porcentajes de 5 % y 10 % con respecto a la carga fundente inicial. Se analizó la influencia de la adición de este reactivo en la recuperación de aluminio metálico.

2.3.6 Caracterización del producto obtenido por fusión

La caracterización química del producto obtenido por fusión, se realizó mediante espectrofotometría de chispa en el equipo

Bruker Q4 TASMAN. Además, la muestra metálica obtenida fue analizada en un microscopio electrónico de barrido (MEB), de marca Tescan Vega. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

La caracterización mineralógica del producto obtenido por fusión, se realizó por difracción de rayos X (DRX) en el

equipo D8 Advance Bruker de la Escuela Politécnica Nacional.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados al realizar la metodología planteada en la sección 2.

3.1. Resultados de la caracterización física, química y mineralógica de los empaques usados por la industria farmacéutica

3.1.1 Resultados de la caracterización física

La humedad promedio de los empaques farmacéuticos *blister* es de 5,13 %. El material volátil tiene un valor promedio de 75,89 %, la temperatura bajo la cual se realiza el análisis (750 °C) asegura que el material volátil es removido; por tanto, este valor representa el material polimérico contenido en el empaque. El porcentaje promedio de cenizas fue de 17,95 %, dicho valor representa el aluminio metálico en adición a las tintas impregnadas sobre él. Finalmente, el porcentaje promedio de carbón fijo fue de 6,16 %. La densidad aparente de los empaques tipo *blister*, es decir sin comprimir, tiene un valor de 0,07 g/cm³, lo cual refleja que ocupan una gran cantidad de volumen. La densidad real reportó un valor de 1,42 g/cm³.

3.1.2 Resultados de la caracterización química

El material metálico de los empaques tipo *blister* posee 98,65 % de aluminio (Al) y 1,15 % de hierro (Fe) como elementos principales. Por su parte, el material polimérico (transparente y naranja) analizado por espectros de infrarrojo corresponde a PVC.

3.1.3 Resultados de la caracterización mineralógica

El análisis por DRX muestra la obtención de 99 % de aluminio metálico. En la Figura 2, se observa el difractograma de rayos X obtenido.

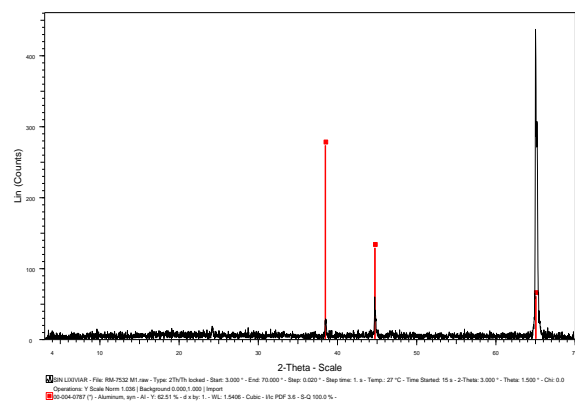


Figura 2. Difractograma de rayos X de la lámina metálica del empaque tipo *blister*

3.2 Resultados de la definición de las mejores condiciones de lixiviación utilizando solventes orgánicos (acetona y acetato de n-butilo)

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de lixiviación realizados a los empaques farmacéuticos tipo *blister*, de acuerdo a la metodología planteada en la sección 2.2. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de separar la capa metálica del material polimérico.

En la Figura 3, se muestra el comportamiento de lixiviación de empaques tipo *blister*, al utilizar acetona y acetato de n-butilo como solventes a diferentes concentraciones. La evaluación se realizó durante 180 min en intervalos de 30 min cada uno.

De acuerdo a los resultados experimentales, se puede observar que el proceso de separación de la capa metálica de la polimérica se logra únicamente al utilizar solventes puros. Tanto para la acetona como para el acetato de n-butilo se alcanza una pérdida de masa de aproximadamente el 80 % a los 150 min de lixiviación. A partir de este tiempo los valores se mantienen constantes. El producto obtenido son láminas metálicas.

El porcentaje de pérdida de masa disminuye durante el proceso de lixiviación al utilizar solventes diluidos con alcohol etílico. Como se puede observar, se logran recuperaciones máximas de alrededor del 40 % para los solventes diluidos al 50 % v/v y del 18 % para solventes diluidos al 25 % v/v.

Los ensayos realizados muestran que el mejor proceso de lixiviación de empaques tipo *blister*, es aquel que utiliza acetato de n-butilo al 98 % durante un tiempo de 150 min. Se realizó un ensayo reutilizado el solvente sometido a lixiviación. El resultado refleja que la eficiencia del proceso no disminuye debido a que la destilación asegura la separación del material polimérico disuelto y el solvente.

El análisis químico realizado por espectrofotometría de chispa muestra que las láminas obtenidas como producto de la lixiviación poseen 98,57 % de Al y 0,73 % de Fe como elementos principales. Por su parte, respecto al análisis mineralógico del producto, la difracción de rayos X reportó un valor de 99 % de Al metálico.

3.3 Resultados de la definición de las mejores condiciones del proceso de fusión utilizando sales de cloro y flúor

Se presentan los resultados obtenidos para los procesos de fusión de acuerdo a la metodología de la sección 2.3.

3.3.1 Resultados de la concentración de las sales dentro de la carga fundente

En la Figura 4, se muestra los porcentajes de recuperación de aluminio al variar la composición molar de la carga fundente.

El porcentaje de mayor recuperación reportado fue al utilizar una carga fundente de composición molar: 60 % de NaCl y 40 % KCl.

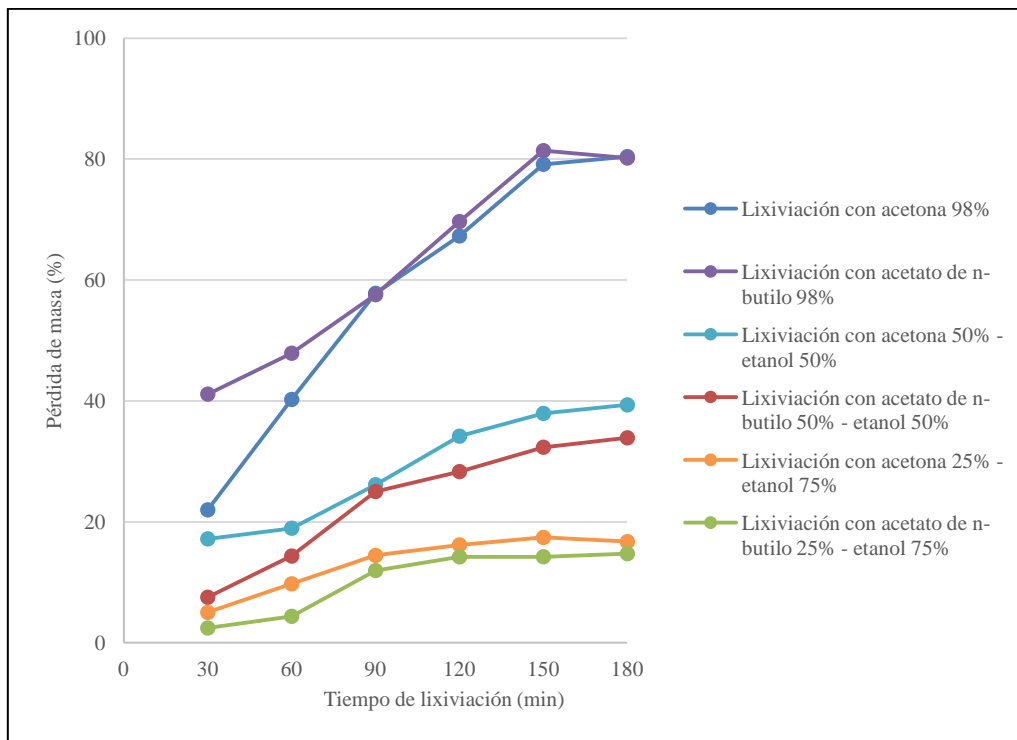


Figura 3. Porcentaje de pérdida de masa de empaques farmacéuticos tipo *blister* sometidos a procesos de lixiviación con acetona y acetato de n-butilo al 98 % de pureza y en solución con etanol al 50 % v/v y 25 % v/v.

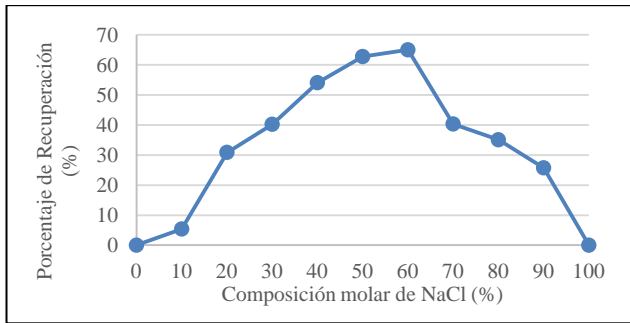


Figura 4. Porcentaje de recuperación de la fase metálica respecto a la composición molar de NaCl al realizar procesos de fusión de láminas de aluminio

3.3.2 Resultados de la definición del porcentaje de carga fundente

En la Figura 5, se muestra el porcentaje de recuperación de la fase metálica respecto al porcentaje de carga fundente utilizada. Se puede observar que el porcentaje de recuperación de la fase metálica tiene un comportamiento creciente hasta llegar a un valor máximo, después de éste la tendencia se revierte y toma un sentido decreciente.

Debido a la alta reactividad del aluminio con el oxígeno y la humedad, al realizar el ensayo de fusión en ausencia de sales fundentes, no se logra tener recuperación de fase metálica. El porcentaje de recuperación de la fase metálica al trabajar con 100 % de porcentaje de carga fundente se eleva a 55,82 %.

La disminución en el porcentaje de recuperación de la fase metálica usando 100 % de carga fundente, respecto a la obtenida al usar 200 % (64,94 % de recuperación), se debe a que bajo las primeras condiciones, dentro del crisol, no se logra cubrir el material metálico en su totalidad, lo cual favorece procesos de oxidación con el ambiente.

Al utilizar porcentajes de carga fundente de 300 % y 400 % el porcentaje de recuperación de la fase metálica decrece a 49,59 % y 45,87 %, respectivamente, debido a que la carga fundente no alcanza el punto de fusión, por lo cual no logra formar la capa protectora que evita la formación de óxido.

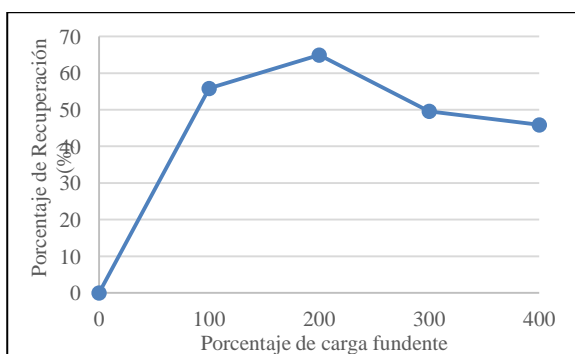


Figura 5. Porcentaje de recuperación de la fase metálica respecto al porcentaje de carga fundente al realizar procesos de fusión de láminas de aluminio

El porcentaje de carga fundente que reportó mayor recuperación de aluminio corresponde a 200 % respecto a la carga sometida a fusión, este valor fue utilizado para los ensayos posteriores.

3.3.3 Influencia de la variación de temperatura

En la Figura 6, se puede observar que el porcentaje de recuperación de la fase metálica tiene un comportamiento creciente hasta llegar a un valor máximo, correspondiente a 750 °C; después de éste, la tendencia se vuelve decreciente.

Al realizar la fusión a 650 °C, no se logra tener recuperación de fase metálica, debido a que las sales no alcanzan el punto de fusión. El material se oxida en su totalidad por lo cual no se evidencia fase metálica. El punto de fusión del aluminio es de 660 °C, por lo cual no se produce el cambio de fase a dicha temperatura.

Al trabajar a 700 °C, se logra una recuperación de la fase metálica de 41,93 %. La recuperación aumenta con el incremento de la temperatura a 750 °C, alcanzando una recuperación del 64,94 %. Sin embargo, al trabajar a 800 °C y 850°C, los valores disminuyen a 39,66 % y 35,65 %, respectivamente. Según Aspin (1995), al trabajar bajo temperaturas de fusión elevadas se perjudica la recuperación del aluminio.

Esto sucede debido a que el aluminio fundido al permanecer a temperaturas elevadas empieza a generar mayores cantidades de óxidos. Por esta razón, las recuperaciones de menor valor se tienen al trabajar a temperaturas superiores a 800°C.

3.3.4 Determinación del tiempo de fusión

Como se muestra en la Figura 7, el porcentaje de recuperación de la fase metálica hasta las 0,75 h de fusión es igual a 0, las láminas permanecen compactadas como fueron ingresadas al crisol. Es decir, son procesos ineficientes en los que no se logra la fusión. A partir de este valor, el comportamiento es creciente respecto al tiempo hasta las 1,75 h, se observa el apareamiento de una fase metálica. Además, las sales fundentes presentan una tonalidad opaca lo cual refleja que han sido fundidas. A partir de este valor la tendencia se vuelve constante.

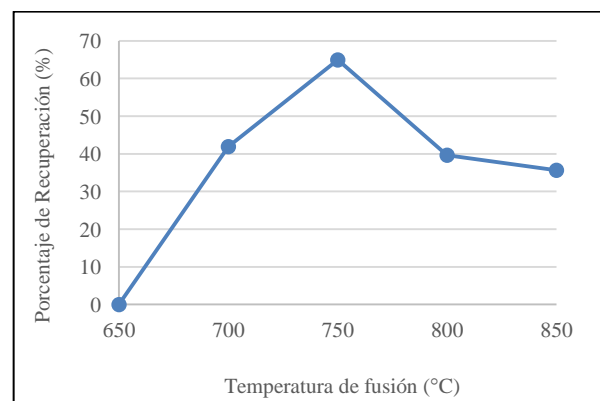


Figura 6. Porcentaje de recuperación de la fase metálica respecto al porcentaje de carga fundente al realizar procesos de fusión de láminas de aluminio

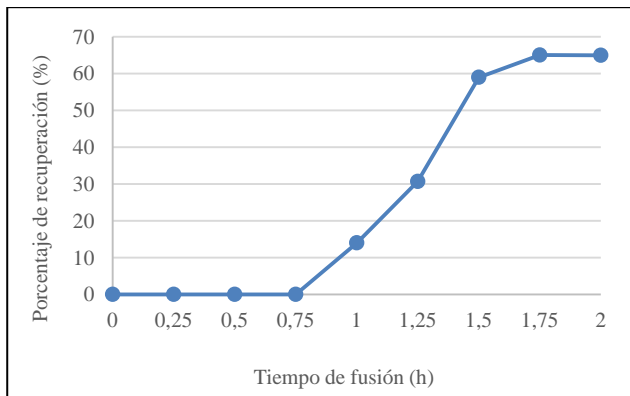


Figura 7. Porcentaje de recuperación de la fase metálica respecto al tiempo al realizar procesos de fusión de láminas de aluminio

El tiempo de fusión de láminas de aluminio para lograr la mayor recuperación es de 1,75 h, correspondiente al 65,01 %.

3.3.5 Resultados de la influencia de la adición de fluoruro de potasio (KF)

Los porcentajes de recuperación logrados al incorporar a la carga fundente 5 % y 10 % de KF fueron de 64,25 % y 64,04 %, respectivamente, es decir no se incrementa la recuperación. Según Totten y MacKenzie, (2003)., la adición de KF a la carga fundente permite la disminución de la tensión interfacial provocada entre la mezcla de sales y el aluminio fundido, y esto conlleva a un recubrimiento del metal que a su vez permite una mayor recuperación de aluminio metálico. Sin embargo, en los ensayos realizados no se evidencia ningún cambio, esto puede ser explicado debido a la diferencia entre los puntos de fusión entre el KF y la mezcla NaCl – KCl, lo cual provoca la dificultad de formar una capa de revestimiento que impida la oxidación del Aluminio

3.3.6 Resultados de la caracterización química y mineralógica del aluminio obtenido

El análisis químico realizado por espectrofotometría de chispa, muestra que el producto de fusión posee 98,45 % de Al y 0,76 % de Fe como elementos principales.

En la Figura 8, se muestra una fotografía del producto metálico obtenido a 355 aumentos en el microscopio electrónico de barrido (MEB), mediante el uso del software VEGA-TESCAN, con microanalizador de rayos X BRUKER.

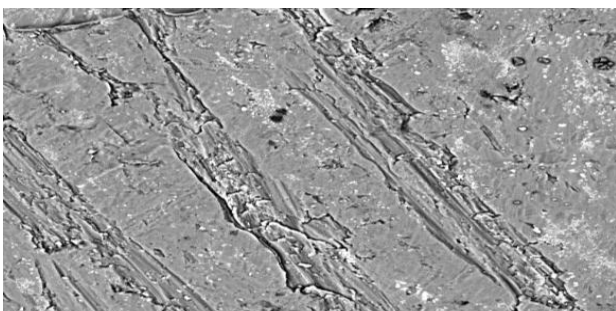


Figura 8. Imagen reportada por microscopía electrónica a 355 aumentos de una muestra de aluminio fundido

Como se puede observar el material presenta uniformidad en la superficie, lo que indica una buena fusión. Las grietas que se muestran son el resultado del proceso de lijado.

En la Figura 9, se muestra la distribución de los elementos dentro de la superficie analizada. Como se observa, la mayor cantidad de material corresponde a Al con la presencia de impurezas de Fe distribuidos de forma uniforme dentro de la muestra.

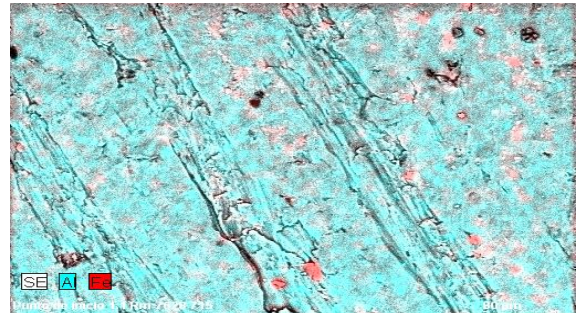


Figura 9. Imagen reportada por microscopía electrónica al realizar análisis semicuantitativo de una muestra de aluminio fundido (355x)

4. CONCLUSIONES

Los embalajes farmacéuticos poseen valores promedio de humedad de 5,13 %, material volátil 75,89 % (correspondiente a PVC), cenizas 17,95 % (correspondiente a aluminio) y carbón fijo 6,16 %. La lámina de metalica está constituida por 98,65 % de Al y 1,15 % de Fe. Presentan una densidad real de 1,42 g/cm³ y una densidad aparente de 0,07 g/cm³, por lo que una pequeña cantidad ocupa un gran volumen.

El proceso de separación de la capa metálica de la polimérica requiere lixiviar los embalajes farmacéuticos utilizando como solvente del PVC acetato de n- butilo al 98 % durante 150 min. Bajo dichas condiciones se tiene una pérdida de masa del empaque *blister* del 80,18 %; por tanto, el restante 19,82 % no lixiviado, corresponde a la fase metálica.

El proceso de lixiviación utilizando como solvente acetona presenta una pérdida de masa del empaque del 80,41 %; es decir, el 19,59 % restante correspondiente al material metálico.

Al utilizar solventes diluidos en la lixiviación de PVC, los procesos de separación de la capa metálica de la polimérica se vuelven ineficientes, con recuperaciones máximas del 40 %, debido a la diferencia en los puntos de ebullición de los componentes.

El acetato de n- butilo recuperado por destilación puede ser reciclado al proceso de lixiviación. La eficiencia de separación no se ve alterada.

Las condiciones de fusión planteadas para una recuperación del 65 % del aluminio metálico, establecen una composición molar de sales de 60 % NaCl y 40 % KCl, 200 % de carga fundente a 750 °C durante 1,75 h.

La adición de fluoruro de potasio (KF) a la carga fundente no incrementa el porcentaje de recuperación de la fase metálica

durante los procesos de fusión. Esto se debe a la diferencia a la diferencia entre los puntos de fusión del KF y la mezcla NaCl – KCl.

El producto metálico de fusión esta compuesto por 98,45 % de Al y 0,76 % de Fe como elementos principales.

La propuesta planteada además de ser una alternativa técnica de recuperación de materiales de interés, representa una posible solución al problema medio ambiental de disposición de este tipo de residuos.

RECONOCIMIENTO

Al Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.

REFERENCIAS

- Aspin, T. (1995). Principios de fundición. México: Gustavo Gili, 1995, p. 80
- ASTM D3173-87. (1996). Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. Estados Unidos.
- ASTM D3174-12. (2012). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. Estados Unidos.
- ASTM D3175-02. (2002). Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. Estados Unidos.
- Belliveau, M. (2003). Dioxin pollution prevention and pvc plastic in municipal solid waste: Precautionary state policy. Recuperado de http://www.chej.org/ppc/docs/pvc_polyvinyl_chloride_or_vinyl/PVC_MBB_EH.pdf (octubre, 2014)
- Endara, D. (2008). Recuperación de Aluminio de los envases y empaques usados por la Industria de Alimentos y Farmacéutica. (Tesis previa a la obtención de grado de Master en Metalurgia Extractiva y Medio Ambiente). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Estrella, F. (2013). Diseño de una planta para la recuperación de Aluminio de envases multicapa mediante lixiviación con solventes orgánicos y fundición. . (Proyecto previo a la obtención de título de Ingeniero Químico). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- González, M. (1997). Propiedades químicas y propiedades físicas de los polímeros. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: http://ruc.udc.es/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf, (octubre, 2014)
- Nutsch, W. (2000). Tecnología de la Madera y el Mueble. (1era. ed.). España: Reverté.
- Pilchik, R. (2000a). Pharmaceutical Blister Packaging, Part I: Rationale and Materials. Pharmaceutical Technology, 68-77. Recuperado de <http://www.pharmanet.com.br/pdf/blister.pdf> (septiembre, 2014)
- Román, F. (1992). Introducción a la recuperación y reciclado de los metales no férreo. Instituto Tecnológico Geominero de España. (1era. ed.) Madrid, España.
- Rubinos, D. (2007). Utilización de lodos rojos de bauxita en la contención e inactivación de residuos tóxicos y peligrosos. (Tesis Doctoral – Departamento de Edafología y Química Agrícola). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.
- Saeed, L. (2004). Experimental assessment of two-stage combustion of high pvc solid waste with HCl recovery, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Finlandia. Recuperado de <https://aalto.doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/2427/ISBN9512271516.pdf?sequence=1>, (octubre, 2014)
- Schlesinger, M. (2013). Aluminum Recycling (2da. ed.). New York, Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- Totten G. y MacKenzie D. (2003). “Handbook of Aluminum”, Editorial Marcel Dekker, Inc., Nueva York, Estados Unidos, Volumen 1, pp.36-37, Volumen 2, pp.116-165.
- VinyLoop.(2013). The VinyLoop Process. Recuperado de <http://www.vinyloop.com>, (octubre, 2014).