



Evaluación del proceso de purificación de soluciones lixiviadas de catalizador agotado de la unidad de craqueo catalítico fluidizado FCC, para la recuperación de óxido de lantano, por medio de extracción de solventes y precipitación con ácido oxálico

Evaluation of the purification process of leached solutions of spent catalyst from the FCC fluidized catalytic cracking unit, for the recovery of lanthanum oxide, by means of solvent extraction and precipitation with oxalic acid

Avaliação do processo de purificação de soluções lixiviadas de catalisador gasto da unidade de craqueamento catalítico fluidizado da FCC, para recuperação de óxido de lantânio, por meio de extração por solvente e precipitação com ácido oxálico

Hugo Javier Sánchez-Moreno ^I
hugoj.sanchez@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0074-3237>

Iliana Elizabeth Carrera-Flores ^{II}
iliana.carrera@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3262-5844>

Cristina Nataly Villegas-Freire ^{III}
cvillegas@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3392-8051>

María Augusta Guadalupe-Alcoser ^{IV}
ma.guadalupea@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0547-215X>

Correspondencia: hugoj.sanchez@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 01 de octubre de 2021 ***Aceptado:** 20 Noviembre de 2021 *** Publicado:** 20 de Diciembre de 2021

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Universidad Estatal Amazónica (UEA), Puyo, Ecuador.

Resumen

Este trabajo presenta un proceso de purificación de soluciones lixiviadas de catalizador agotado de la unidad de craqueo catalítico fluidizado FCC de la Refinería de Esmeraldas, para lo cual se usó cuatro procesos fundamentales que son la extracción por solventes, proceso de scrubbing, re-extracción y precipitación con ácido oxálico.

El trabajo de laboratorio inició con la extracción por solventes de soluciones lixiviadas de catalizador agotado, en dónde se evaluó dos agentes extractantes el DEPHA (ácido fosfórico di-etilhexilo) y TBP (fosfato de tri-n-butilo) y, como solvente orgánico se utilizó (n-hexano), se varió la concentración de los agentes extractantes (0,5 M; 1,0 M y 2,0 M) y el tiempo de contacto fue de 30 minutos entre las fases. Se determinó que el mejor porcentaje de extracción de lantano (98,9 %) se obtuvo al trabajar con DEPHA, a una concentración de 2,0 M en n-hexano. En el proceso de purificación de la fase orgánica (scrubbing) se eliminó la mayor cantidad de impurezas sin que afecte al material de interés, para esto se utilizó agua desionizada a 70 ° C. En el proceso de re-extracción de lantano se estudió la concentración de ácido clorhídrico, obteniéndose el mejor porcentaje de re-extracción (80,9 %), logrado con una concentración de 3,0 M. Finalmente la precipitación se empleó para recuperar lantano, metal presente en la fase acuosa que se obtuvo del ensayo de re-extracción, se alcanzó 99,1 % de precipitación utilizando ácido oxálico y regulando el pH a 2,5 con hidróxido de sodio, el producto fue calcinado a 850 °C para obtener óxido de lantano.

Palabras clave: extracción por solventes; re-extracción; lantano; precipitación; ácido oxálico.

Abstract

This study presents a purification process of leached solutions of spent catalyst from the FCC fluidized catalytic cracking unit of the Esmeraldas Refinery, for which four fundamental processes were used which are solvent extraction, scrubbing process, re-extraction and precipitation with oxalic acid. The laboratory work began with the solvent extraction of leached solutions of exhausted catalyst, where two extractants were evaluated: DEPHA (di-ethylhexyl phosphoric acid) and TBP (tri-n-butyl phosphate) and, as organic solvent used (n-hexane), the concentration of the extractants was varied (0.5 M, 1.0 M and 2.0 M) and the contact time was 30 minutes between the phases. It was determined that the best percentage of lanthanum extraction (98.9%) was obtained when working with DEPHA, at a concentration of 2.0 M in n-hexane. In

the purification process of the organic phase (scrubbing), the greatest amount of impurities was eliminated without affecting the material of interest, for this deionized water was used at 70 ° C. Hydrochloric acid concentration, obtaining the best percentage of re-extraction (80.9%), achieved with a concentration of 3.0 M. Finally, the precipitation was used to recover lanthanum, a metal present in the aqueous phase that was obtained from the re-extraction test, 99.1% of Precipitation using oxalic acid and regulating the pH to 2.5 with sodium hydroxide, the product was calcined at 850 ° C to obtain lanthanum oxide.

Keywords: solvent extraction; re-extraction; lanthanum; precipitation; oxalic acid.

Resumo

Este trabalho apresenta um processo de purificação de soluções lixiviadas de catalisador gasto da unidade de craqueamento catalítico fluidizado da FCC da Refinaria de Esmeraldas, para o qual foram utilizados quatro processos fundamentais que são extração por solvente, processo de depuração, reextração e precipitação com ácido oxálico.

O trabalho laboratorial iniciou-se com a extração com solvente de soluções lixiviadas de catalisador exausto, onde foram avaliados dois extratores: DEPHA (ácido di-etilhexil fosfórico) e TBP (tri-n-butil fosfato) e, como solvente orgânico utilizado (n-hexano), a concentração dos extratantes foi variada (0,5 M, 1,0 M e 2,0 M) e o tempo de contato foi de 30 minutos entre as fases. Determinou-se que a melhor porcentagem de extração de lantânio (98,9%) foi obtida trabalhando com DEPHA, na concentração de 2,0 M em n-hexano. No processo de purificação da fase orgânica (scrubbing), a maior quantidade de impurezas foi eliminada sem afetar o material de interesse, pois esta água deionizada foi utilizada a 70 ° C. No processo de reextração do lantânio, a concentração de ácido clorídrico, obtendo-se a melhor porcentagem de reextração (80,9%), alcançada com a concentração de 3,0 M. Por fim, a precipitação foi utilizada para recuperar o lantânio, metal presente na fase aquosa obtido no teste. % de precipitação foi alcançada com ácido oxálico e regulando o pH em 2,5 com hidróxido de sódio, o produto foi calcinado a 850 ° C para obtenção de óxido de lantânio.

Palavras-chave: extração por solvente; reextração; lantânio; precipitação; ácido oxálico.

Introducción

Los catalizadores de la unidad de craqueo fluidizado (FCC) tienen como objetivo realizar el rompimiento molecular y modificar la estructura de los hidrocarburos para adquirir combustibles de calidad superior para automotores, y además originar compuestos aromáticos a partir de naftas seleccionadas (Torres y Torres, 2010, p. 36). Estos catalizadores al ser usados tienen en su composición metales, óxidos y sulfuros, los mismos que necesitan ser tratados porque generan residuos químicos tóxicos que deben ser gestionados para cumplir las leyes ambientales (Asghari, Tavassoli, Mousavi y Amiri 2013).

En nuestra sociedad la recuperación completa y el reciclado de metales es un requisito frente a la demanda de los objetivos ambientales y sostenibles en la industria del metal. En los últimos años el óxido de lantano que es utilizado para una variedad de aplicaciones de alta tecnología, ha incrementado su valor de 1,60 \$/kg hasta 61 \$/kg (Institut für seltene Erden und Metalle, 2016); además China produce el 97 % de las tierras raras, una cantidad tan alta que condiciona al resto del mundo con un dominio total del mercado; la demanda actual hace que todos los países sean dependientes del mercado chino (Chen, Bartels y Martínez, 2013). Por lo tanto, la intensa investigación actual en este campo no sólo ampliará las posibilidades de recuperación y reciclaje, sino también dará lugar a nuevos e interesantes enfoques rentables y sostenibles (Wenzel et al., 2016).

De esta manera la presente investigación busca estudiar aspectos fundamentales de los procesos de purificación de soluciones lixiviadas de catalizador de craqueo gastado, que es un material constituido por una matriz de aluminosilicatos y una zeolita promovida por lantano, con el fin de recuperar como producto final óxido de lantano (Chi y Xu, 2000).

En la actualidad el proceso de purificación incluye el método de extracción por solventes y la precipitación con ácido oxálico, en dónde la extracción se basa en la separación o transferencia, básicamente este proceso pone en relación un solvente orgánico y una solución acuosa que tiene los elementos a extraer. El metal específico es trasladado de una fase acuosa a una fase orgánica, considerando que las fases son inmiscibles se separan al finalizar la agitación, lográndose de esta manera la extracción (Flett, 2005). Mientras que la precipitación utiliza oxalatos que tiene ventajas en el proceso y en la facilidad de uso, menos inversión, idoneidad, productos de

industrialización y aplicabilidad en la preparación de otros óxidos de tierras raras (Liu ,Li, Hu, Wang, y Shi, 2008).

Metodología

Ensayos de Extracción por Solventes

Las condiciones necesarias para una correcta extracción de lantano de la solución fuerte obtenida de la lixiviación fueron determinadas con el método de extracción por solventes. En la Figura 2.1 se observa la decantación de la fase orgánica y la fase acuosa.

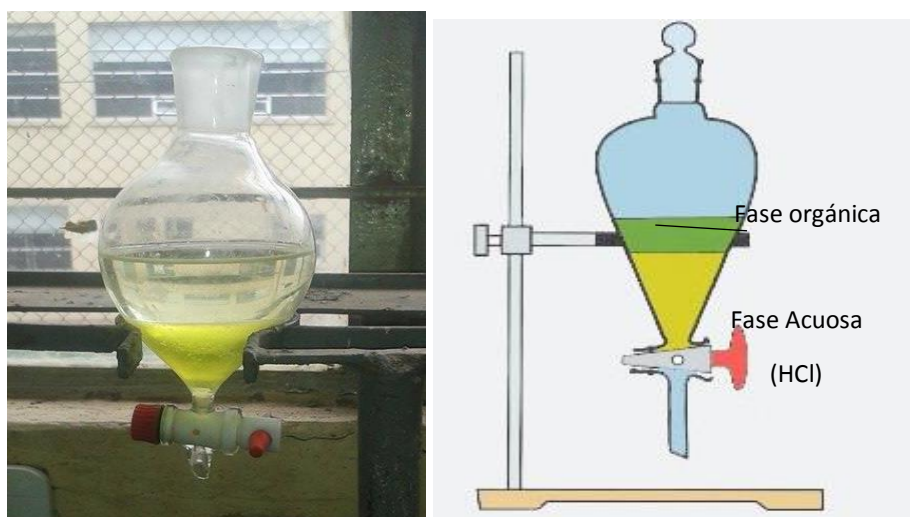


Figura 2.1. Decantación de la fase acuosa y fase orgánica luego del proceso de extracción por solventes
Fuente: Elaboración propia.

Para la extracción se realizaron dos ensayos el primero en base a una solución orgánica de hexano y (DEPHA) y la segunda con hexano y (TBP), la solución fuerte se mezcló con la solución orgánica en un erlenmeyer de 250 mL, en una relación de 1:1, con diferentes concentraciones de solvente (0,5 M, 1,0 M y 2,0 M) y se agitó por 30 minutos, usando un embudo de separación se puso a decantar la muestra obteniéndose una fase acuosa y una fase orgánica, para la determinación de la cantidad de lantano que se encuentra en la fase orgánica, se tomó una alícuota de la fase líquida que es examinada en el ICP, y se estableció el resultado por diferencias de porcentaje (Ron, 2016, p. 52).

En la Tabla 2.1 se muestran las condiciones a las que se trabajaron estos ensayos.

Tabla 2.1. Condiciones empleadas en las pruebas de extracción por solventes usando como agentes extractantes DEPHA y TBP.

Agentes extractantes	Ácido fosfórico di-etilhexilo (DEPHA) Fosfato de tri-n-butilo (TBP)
Concentración	0,5M; 1,0 M; 2,0 M
Solvente orgánico	Hexano
Volumen de solución fuerte	100 mL
Relación A/O	1
Tiempo de residencia (minutos)	30

Fuente: Elaboración propia.

Purificación de la Fase Orgánica a Través del Proceso *Scrubbing*

Para la purificación se utilizó agua desionizada a 70 °C que se añadió a la solución orgánica en una relación de 1:1, en un matraz erlenmeyer de 250 ml, procediendo a agitar durante 30 minutos, la mezcla se decantó durante 10 minutos, esperando la eliminación de fósforo y otras impurezas, desechando la fase acuosa (Jorjani y Shabbazi 2012, p. 5).

La determinación de la concentración de lantano en la fase acuosa se realizó con la técnica de espectrofotometría óptica con plasma (ICP) ELMER ÓPTIMA 8000.

Proceso de Re-Extracción de Lantano

Para la re-extracción de lantano se añadió a la fase orgánica soluciones de ácido clorhídrico en diferentes concentraciones (1,0 M, 2,0 M y 3,0 M), en relación 1:1, se agitó la muestra durante 30 minutos, luego se decantó por el mismo espacio de tiempo, finalmente se tomó una alícuota a la que se le sometió a un análisis ICP, con el propósito de establecer la cantidad de lantano presente en la fase acuosa.

Tabla 2.2. Condiciones utilizadas en las pruebas de re – extracción usando como agente purificador ácido clorhídrico.

Agente extractante	Ácido fosfórico di-etilhexilo (DEPHA)
Concentración agente extractante	1,0 M; 2,0 M; 3,0 M
Solvente orgánico	Hexano
Volumen de solución enriquecida	100 mL

Relación A/O	1
Agente purificador	Ácido clorhídrico
Concentración agente purificador	1,0 M, 2,0 M, 3,0 M
Tiempo de residencia (minutos)	30

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de Precipitación

La precipitación se realizó utilizando la fase acuosa obtenida de la re-extracción, integrando ácido oxálico para la formación de oxalato de lantano, a través de agitación constante durante 10 minutos, el hidróxido de sodio se fue añadiendo mientras la muestra se estaba agitando hasta obtener un valor de pH entre 2 a 3, luego se procedió a filtrar por gravedad las sales precipitadas. La solución obtenida se analizó por espectrofotometría con plasma ICP, el precipitado se envió a calcinar.

Calcinación del Precipitado

La calcinación se realizó con el fin de eliminar la presencia de carbono existente en el oxalato de lantano producto de la precipitación. Para efectuar la calcinación del catalizador agotado se realizó el siguiente proceso:

- La mufla adquirió una temperatura de 750°C.
- En un crisol de arcilla se pesó los gramos de precipitado obtenido en el proceso anterior.
- El crisol se puso en la mufla en el momento que alcanzó la temperatura deseada durante una hora.
- Al finalizar la primera hora, se subió la temperatura de la mufla hasta alcanzar los 800 °C, esto se dejó durante un tiempo de 1 hora.
- Posteriormente se subió la temperatura de la mufla hasta alcanzar los 850 °C y se dejó durante un tiempo de 2 horas.
- Al finalizar, el crisol fue removido de la mufla e instalado en un desecador por una hora.
- Se pesó el precipitado y se envió al análisis de DRX.

Resultados

Se presentan los resultados conseguidos en el proceso de purificación de las soluciones de lixiviación con solventes y los resultados obtenidos del proceso de recuperación de óxido de lantano precipitando con ácido oxálico.

PROCESO DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

En esta sección se indican los resultados conseguidos al ejecutar los ensayos de extracción por solventes y posterior recuperación de óxido de lantano al realizar precipitación con ácido oxálico, por lo que en esta etapa se buscó evaluar la influencia del agente extractante y el solvente en el que se encuentra diluido, la concentración del agente extractante, para todos los ensayos se realizó a un tiempo de 30 minutos y no se analizó la incidencia de la relación de volúmenes por lo cual en todos los ensayos la relación entre la fase orgánica y acuosa es 1, usando la metodología presentada en la Sección 2.1.

Influencia del agente extractante y el solvente orgánico

La extracción con solventes se realizó con el fin de separar el lantano de los otros elementos que no son de interés, para lo cual se utilizó como agentes extractantes orgánicos el DEPHA (ácido fosfórico di-etilhexilo) y el TBP (fosfato de tri-n-butilo) disueltos en n-hexano.

La solución orgánica se formó al poner en contacto la concentración de DEPHA o TBP en n-hexano, posteriormente la solución formada entró en contacto con la solución fuerte del proceso de lixiviación que viene a ser la solución acuosa, estas dos soluciones se encuentran en relación A/O=1.

En la Figura 3.1 se indica el porcentaje de influencia del extractante y el solvente orgánico, en la solución a concentración 0,5 M, observándose que el DEPHA es superior al TBP, teniendo una extracción del 97,3 % y del 69,0 % de lantano respectivamente.

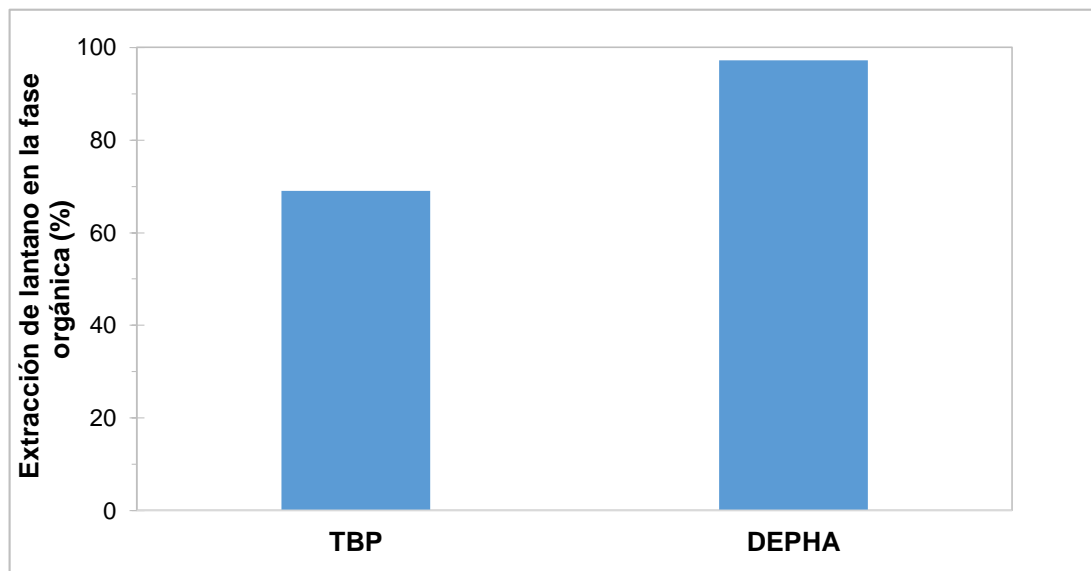


Figura 3.1. Incidencia de la concentración de extractantes 0,5 M en n-hexano, en la extracción en la fase orgánica de lantano, relación A/O =1, durante 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.2 indica la incidencia del agente extractante en n-hexano para una concentración 1,0 M; el primer agente utilizado es el TBP con el que se logra una extracción de 88,2 % que supera a la alcanzada con 0,5 M del mismo, pero no logra superar la extracción conseguida por el segundo agente extractante en este caso el DEPHA que alcanza el 98,5 % de extracción de lantano.

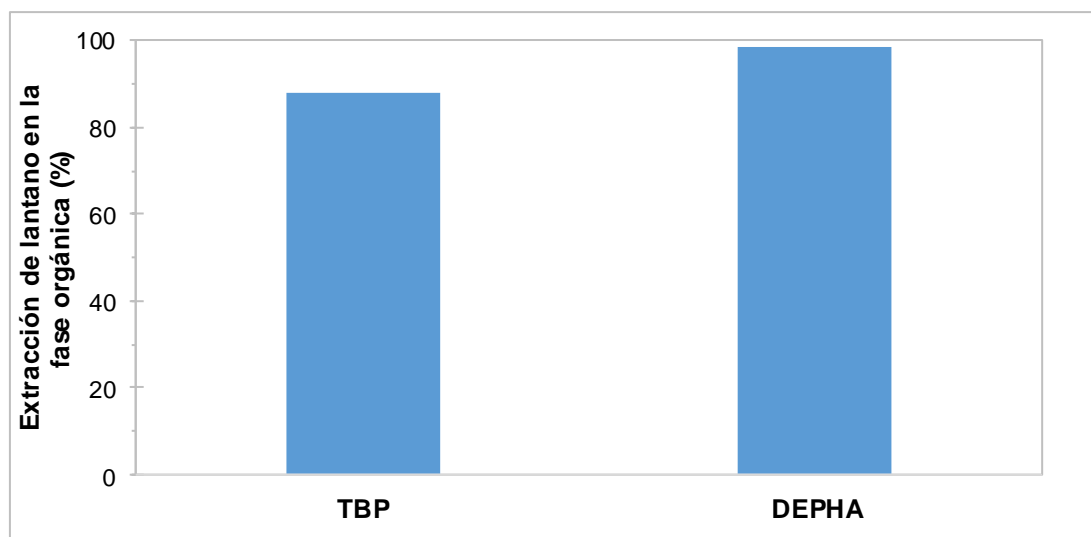


Figura 3.2. Incidencia de la concentración de extractantes 1,0 M en n hexano, en la extracción en la fase orgánica de lantano, relación A/O =1, durante 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Al aumentar la cantidad de agente extractante a 2,0 M en el caso del TBP se logró una excelente extracción de lantano que es del 95,8 % mientras que el DEPHA presenta una extracción del 98,9 % que supera a la alcanzada por el TBP como se presentan en la Figura 3.3, mediante estos resultados se asegura que el lantano es más a fin con el agente DEPHA y que al aumentar la concentración mejora el índice de extracción.

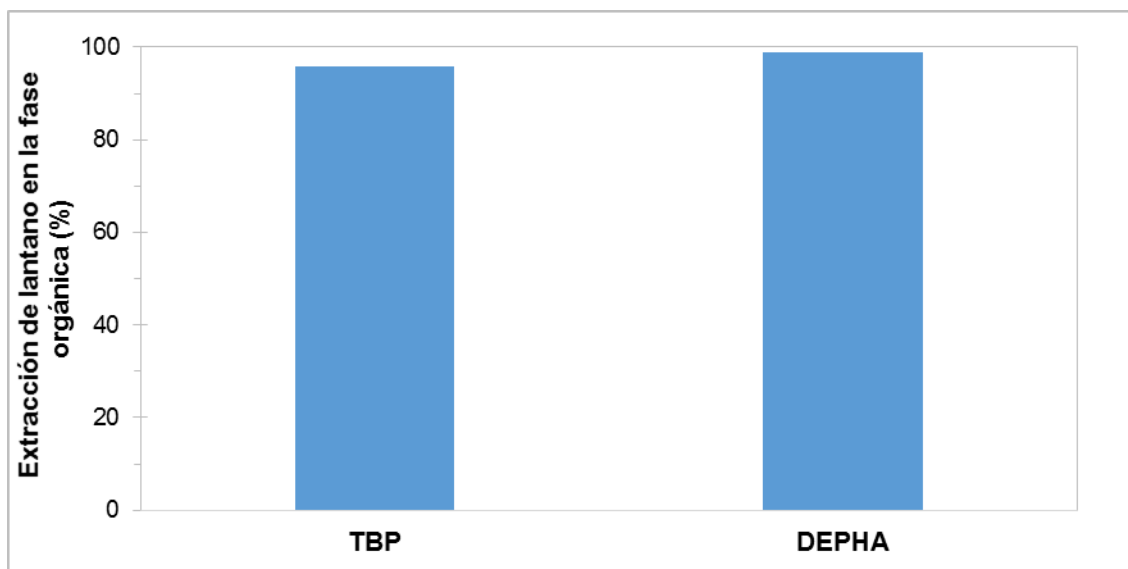


Figura 3.3. Incidencia de la concentración de DEPHA 2,0 M en hexano, en la extracción en la fase orgánica de lantano, relación A/O =1, durante 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

En la literatura encontrada con respecto a este análisis, Desouky (2006) reporta una extracción de lantano del 94,6 %, en un ensayo realizado a 1,0 M con DEPHA, indicando en contraste con los resultados obtenidos que cualquier concentración de DEPHA permite obtener resultados superiores al 90,0 % de extracción.

Influencia de la concentración del agente extractante

El DEPHA (ácido fosfórico di-etilhexilo) demostró ser el agente extractante que permitió alcanzar la mejor extracción de lantano con respecto al TBP (fosfato de tri-n-butilo), por lo que se analizó su influencia al ejecutar este proceso variando las concentraciones del agente extractante en la solución orgánica, como se muestra en la Figura 3.4, en la que se observa que mientras

aumenta la concentración de extractante se presenta un incremento en los valores de extracción. En los ensayos realizados para concentraciones de 0,5; 1,0 y 2,0 M se obtuvieron porcentajes de extracción de 97,3 %, 98,5 % y 98,9 % respectivamente. La fase orgánica con altas concentraciones de DEPHA garantiza mejores rendimientos en la extracción del metal, sin embargo, presenta problemas para el transporte en masa debido a la tensión superficial y la alta viscosidad, lo que implica que el porcentaje de extracción del metal está directamente relacionado con la concentración del extractante en la fase orgánica (Duperly, Laverde, y Escalante, 2005, pp. 115 - 116).

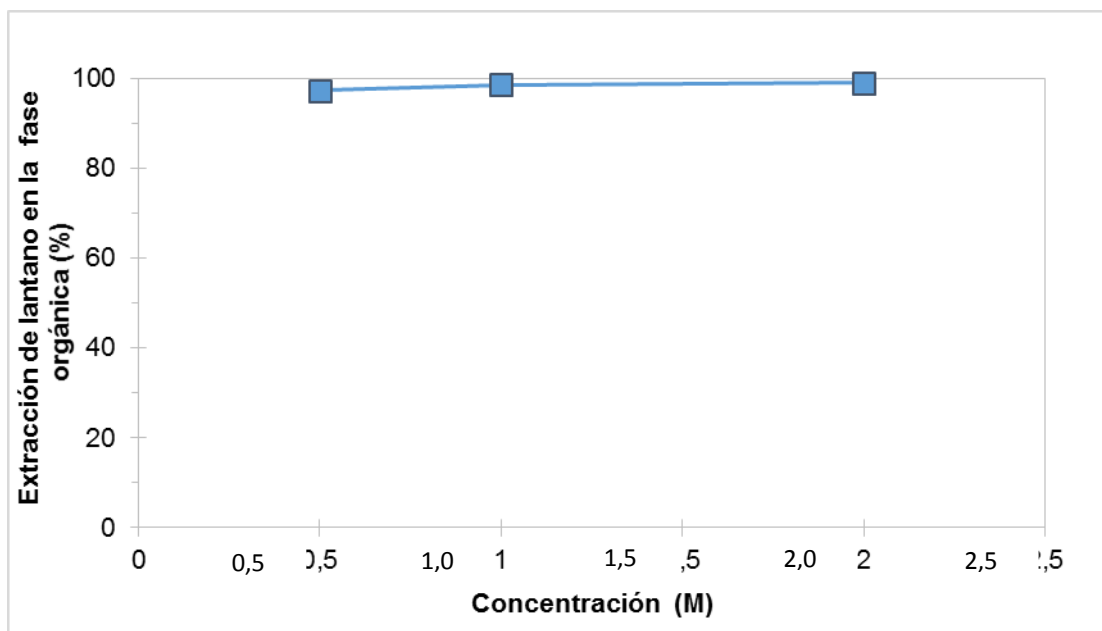


Figura 3.4. Extracción de lantano de la fase orgánica variando la concentración de DEPHA en n-hexano, relación A/O=1, durante 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Duperly et al (2005), aseguran que el incremento del 10 % de DEPHA genera únicamente un aumento del 5 % en la extracción, y que en el caso contrario al aumentar la concentración del solvente orgánico (hexano) se incrementa la viscosidad debido a sus características físicas dificultando el flujo de masa y por ende encareciendo los costos del proceso, debido a que se necesita máquinas con una agitación mayor lo cual aumenta el gasto energético.

Proceso de *Scrubbing* o Purificación de la Fase Orgánica

Este proceso se realizó para purificar la fase orgánica sin perjudicar al metal de interés, ya que al realizarse la re-extracción directa sin el proceso de *scrubbing* se obtenía fosfito de lantano, compuesto sin uso industrial.

En este proceso se purificó la fase orgánica sin afectar al metal de interés, para el efecto, se utilizó como agente purificador agua desionizada a diferentes volúmenes (37,5; 75,0 y 150,0 mL) por treinta minutos en agitación, de esta manera se eliminó la mayor cantidad de impurezas.

Al utilizar agua desionizada calentada a 70 °C se puede remover de la fase orgánica del 30 al 80 % de impurezas como calcio, hierro y fósforo (Jorjani y Shabbazi, 2012, p. 5).

Se trabajó únicamente con agua desionizada y no con ácido, en función de que su uso podía implicar alguna precipitación en la fase orgánica, debido a la influencia de grupos iónicos (Ron, 2016).

Los resultados indican que no existen pérdidas de lantano significativas conforme se aumentó o disminuyó el agua desionizada a la solución orgánica, encontrándose pérdidas de lantano de entre 0,08 al 0,16 % lo cual es casi despreciable, pero ayuda a la remoción y eliminación de impurezas presentes en esta etapa.

Proceso de Re - Extracción

Para la re-extracción del lantano de la fase orgánica previamente purificada se utilizaron soluciones de ácido clorhídrico a diferentes concentraciones, en agitación durante 30 minutos, para posteriormente decantar las dos fases esperando que el lantano que se encuentra en la fase orgánica pase a la fase acuosa.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.5, en donde se visualiza como se mejora la re-extracción de lantano al incrementar las concentraciones de ácido clorhídrico.

Trabajando a concentraciones de 1 M, 2 M y 3 M se obtuvieron valores de recuperación de lantano de 50,8; 60,1 y 80,9 % respectivamente. La literatura reporta en este proceso recuperaciones de 81,12 % con ácido clorhídrico (Desouky, 2006, p. 167).

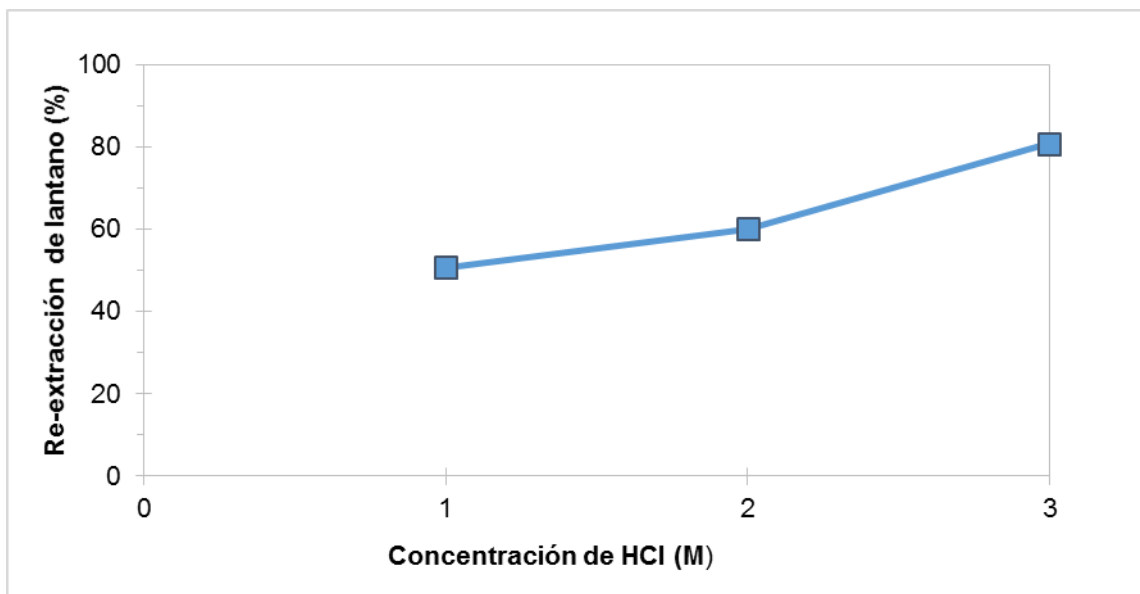


Figura 3.5. Re-extracción de lantano de la fase orgánica variando la concentración de HCl, relación A/O=1, durante 30 minutos.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación del Proceso de Precipitación de Lantano con Ácido Oxálico.

Precipitación de lantano con ácido oxálico

Para este proceso la solución precipitada fue la fase acuosa que se adquirió del proceso de re-extracción, para el análisis de la precipitación de lantano se evaluaron las cantidades de ácido oxálico en exceso como adición directa a la solución acuosa cargada de lantano, para el cálculo de gramos en exceso de ácido oxálico se tomó en cuenta los gramos añadidos respecto a los gramos requeridos. Posteriormente se regularizó el pH con la adición de hidróxido de sodio hasta mantener un valor entre 2 a 3.

Innocenzi y Veglio (2012) indican que el valor de pH para la precipitación de lantano puede ser de 0,5 a 3,0, pero aseguran que el ideal es de 2,5. Los porcentajes de precipitación alcanzan valores superiores al 95 % como se muestra en la Figura 3.6, para las distintas cantidades de ácido oxálico añadido. Jorjani y Shahbazi (2012) reportan en esta fase recuperaciones del 89,3 % contrastando con los resultados obtenidos en esta investigación.

Para medir el porcentaje de precipitación de oxalato de lantano se calcula por diferencia entre los miligramos de lantano que entran al proceso de precipitación, respecto a los miligramos de lantano que se encuentran solubles luego del proceso.

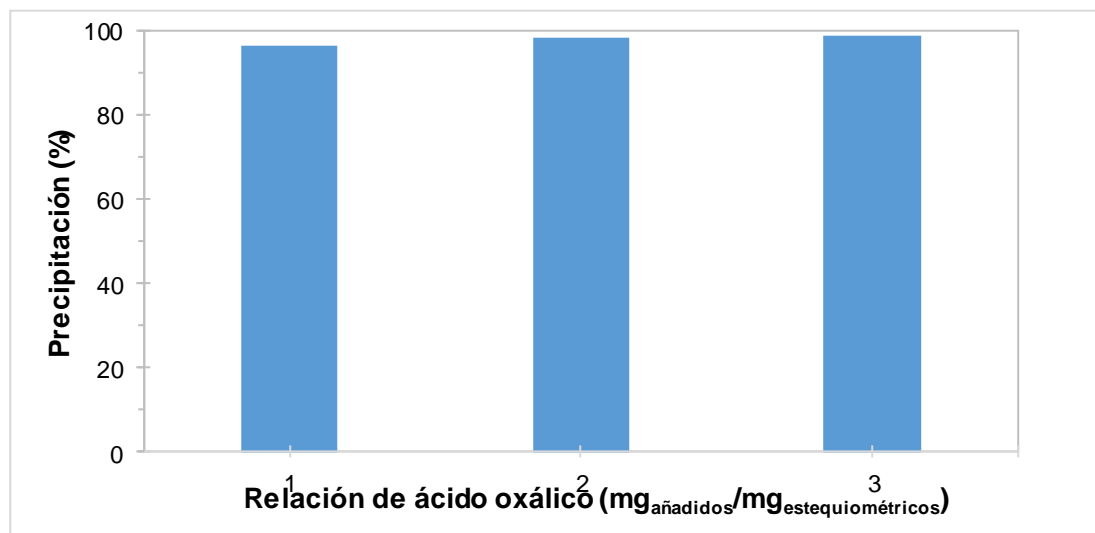
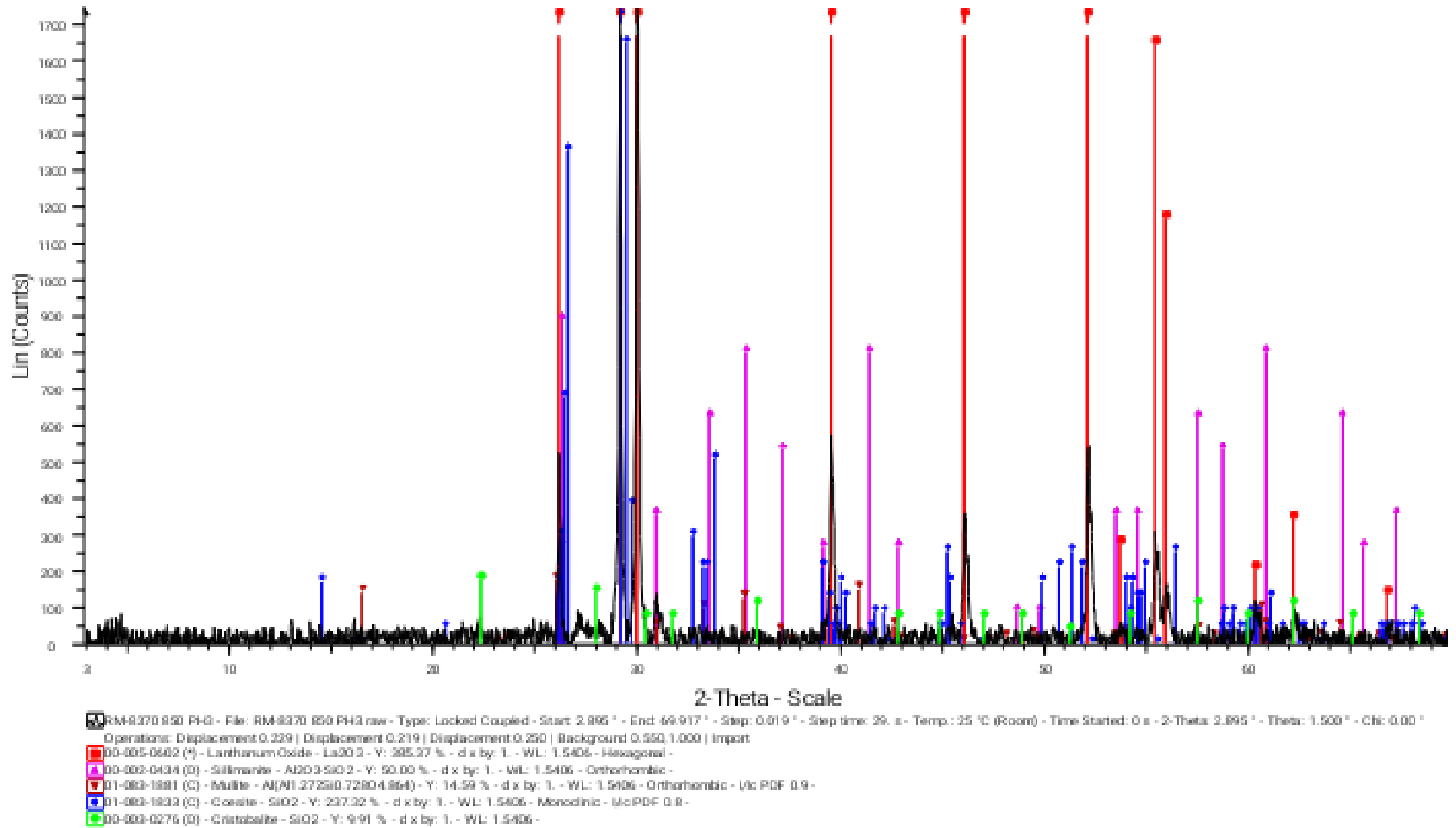


Figura 3.6. Precipitación de lantano variando la cantidad de ácido oxálico
Fuente: Elaboración propia.

El precipitado obtenido fue calcinado durante tres horas en una mufla a 850 ° C, para posteriormente colocarlo en un desecador durante tres horas, el tratamiento térmico que se dio a la muestra ayudó a la correcta cristalización del precipitado en forma de óxido de lantano, de esta manera se eliminó la cantidad de carbono en forma de dióxido de carbono, la muestra obtenida fue analizada mediante DRX. La precipitación alcanza valores aproximadamente del 90 % como óxido de lantano en la muestra, mientras que el 10 % restante constituye sillimanita, mullita, coesita y cristobalita. El difractograma del producto se muestra en la Figura 3.7.

Figura 3.7. Difractograma de la solución precipitada que contiene óxido de lantano



Conclusiones

- La separación de lantano en el proceso de extracción por solventes se realizó con DEPHA Y TBP, los resultados presentan que el mayor porcentaje de extracción se obtienen al utilizar DEPHA alcanzando un valor de 98,9 %, mientras que con TBP fue de 95,8 %, ambos a concentraciones de 2 M del agente extractante en solución de n-hexano como solvente orgánico.
- La purificación de la fase orgánica se realizó con agua destilada a 70 °C, a diferentes volúmenes. Se logró la eliminación de ciertos elementos como el fósforo y el 99 % del lantano se quedó en la fase orgánica para entrar al proceso de re-extracción. Con esto se determinó que el agua destilada elimina impurezas y no afecta a nuestro metal de interés.
- En el proceso de purificación el volumen del agua desionizada a 70 °C no es un factor que influye a los porcentajes de extracción de lantano.
- En el proceso de re-extracción el lantano fue recuperado con una solución de ácido clorhídrico a 3 M de su nueva fase acuosa. El porcentaje de re-extracción fue de 80,90 %.
- El ácido oxálico fue selectivo en la precipitación de lantano. Se alcanzó una precipitación del 99,05 % del lantano en solución, teniendo una relación de adición de 3:1 respecto al valor estequiométrico requerido. El óxido de lantano se logró al calcinar el precipitado por un tiempo de 3 horas a 850 °C.
- El hidróxido de sodio fue necesario en el momento de la precipitación, de esta manera se logró regular el pH a 2,5, a este valor de pH fue posible obtener el carbonato de lantano, para su futura calcinación.

Referencias

1. Asghari, S., Tavassoli, S., Mousavi, M. y Amiri, F. (2013). Bioleaching of spent refinery catalysts: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(4), 1069–1081. doi:10.1016/j.jiec.2012.12.005.
2. Chen, S., Bartels, J., Martínez, R (2013). Estudio sobre China desde Latinoamérica. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
3. Chi, R., y Xu, Z. (2000). A Solution Chemistry Approach to the Study of Rare Earth Element Precipitation by Oxalic Acid, 30(2), 189-195. <http://doi.org/10.1007/s11663-999-0047-0>

4. Desouky, O. A.-N. (2006). Liquid-Liquid Extraction of Rare Earth Elements Of sulfuric Acid Solutions. West Yorkshire: Universidad de Leeds.
5. Desouky, O., Daher, M., Abdel-Monem, Y. y Galhoum, (2009). Liquid-liquid extraction of yttrium using primene - JMT from sulfate solutions. Hydrometallurgy, 96 (4), 313-317. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.11.009>.
6. Duperly, G., Laverde, D., y Escalante , H. (2005). Extracción líquido - líquido de bario con DEPHA: equilibrio químico. Revista Facultad de Ingeniería, 110-121.
7. Flett, D. (2005). Solvent extraction in hydrometallurgy: The role of organophosphorus extractants. Journal of Organometallic Chemistry. Chemistry, 2426-2438. Obtenido de <http://doi.org/10/1016/jjorganchen2014.11.037>
8. Innocenzi, V., Ferella, F., De Michelis, I. y Veglio, F. (2014). Treatment of fluid catalytic cracking spent catalysts to recover lanthanum and cerium: Comparison between selective precipitation and solvent extraction. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 24, 92-97. doi:10.1016/j.jiec.2014.09.014
9. Institut fur setene Erden und Metalle (2016). Los precios actuales de Mercado de la tierra más comúnmente utilizada rara. Recuperado de <http://institut-seltene-erden.org/es/actuales-e-hist%C3%B3ricosw-de-los-preciosw-del-mercado-de-tierras-raras-gangigsten>
10. Jorjani, E. y Shahbazi, M. (2012). The production of rare earth elements group via tributyl phosphate extraction and precipitation stripping using oxalic acid. Arabian Journal of Chemistry, 1, 1-8. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.04.002
11. Liu, Z., Li, M., Hu, Y., Wang, M., y Shi, Z. (2008). Preparation of large particle rare earth oxides by precipitation with oxalic acid. Journal of Rare Earths, 26 (2), 158-162. [http://doi.org/10.1016/S1002-0721\(08\)60057-5](http://doi.org/10.1016/S1002-0721(08)60057-5)
12. Wenzel, M., et al. (2016). Hydrometallurgical recovery of rare earth metals from spent FCC catalysts. Rare Metal technology, 1, 37-35.
13. Ron, C. (2016). Estudio de la recuperación de europio e itrio a partir de tubos de rayos catódicos desechados (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).