

Aplicación de carbón activado de cascarón de coco en adsorción de especies metálicas contenidas en el licor de desecho (WL) de la lixiviación ácida de mineral laterítico

Application of Activated Carbon of Coconut shell in Adsorption of Metal species Contained in Waste liquor (WL) Acid leaching of Lateritic Mineral

MSc. Enma M. Manals-Cutiño, michel@uo.edu.cu; MSc. Frank Vendrell-Calzadilla, Dra. Margarita Penedo Medina

Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

El presente trabajo estudia la capacidad del carbón activado de cascarón de coco para adsorber iones metálicos presentes en el residual de desecho de lixiviación ácida de mineral laterítico. Los experimentos se realizaron a escala de laboratorio en reactores batch con agitación magnética, a las condiciones siguientes: velocidad de agitación de 200 rpm, temperatura 21°C, tiempo de contacto 20, 40 y 60 min. Como resultado se alcanzaron porcentajes de adsorción de níquel de hasta 39,5 % y capacidad de adsorción de Ni (II) de 1,125 mg/g de carbón activado granular (CAG). La adsorción de Co (II) fue de hasta 48,9 % y la capacidad de adsorción del carbón de 0,24 mg/g de CAG. En los experimentos desarrollados variando la dosis de adsorbente entre 20 y 200 g de CAG/L de licor, para analizar la influencia de la masa de adsorbente en la capacidad, porcentaje de adsorción y modificación del pH del licor, se obtuvo como aspecto más significativo la reducción de la alta acidez del licor desde 1,23 hasta valores que oscilaron entre 7,22 y 7,35.

Palabras clave: adsorción, carbón activado, cascarón de coco, licor de desecho WL.

Abstract

The present work studies the ability of coconut shell activated to adsorb metal ions present in the residual waste acid leaching of lateritic coal. Experiments were performed in laboratory scale batch reactor with magnetic stirring, to the following conditions: agitation speed of 200 rpm, temperature 21 °C, contact time 20, 40 and 60 min. As a result adsorption percentages up to 39.5% nickel and adsorption capacity of Ni (II) 1,125 mg/g of granular activated carbon (GAC) they are reached. The adsorption of Co (II) was up to 48, 9 % and the carbon adsorption capacity of 0.24 mg / g of GAC. In the experiments carried varying the dose of adsorbent between 20 and 200 g of GAC / L liquor, to analyze the influence of the mass of adsorbent capacity, adsorption rate and change in pH of the liquor was obtained as most significant aspect the reduction of the high acidity of the liquor from 1,23 to values ranging between 7,22 and 7,35.

Keywords: adsorption, activated carbon, coconut shell, waste liquor WL.

Introducción

La presencia de metales pesados en residuales líquidos industriales constituye un riesgo para el medio ambiente y en especial para la salud humana, por ser tóxicos y no biodegradables. Metales pesados como cobre, cromo, níquel, cinc, plomo, cobalto, cadmio, entre otros pueden dar lugar a la polución de fuentes de aguas naturales como resultado de los vertimientos de plantas metalúrgicas o de la actividad minera. Varios son los procesos de separación aplicados para tratar estos residuales, entre ellos se encuentran la adsorción, intercambio iónico, coagulación/floculación, precipitación, extracción por solventes, cementación, formación de complejos, operaciones electroquímicas y biológicas, evaporación, filtración y procesos de membranas. Se destacan las aplicaciones y avances de los procesos de adsorción y de intercambio iónico, dada la alta capacidad de adsorción y de intercambio que poseen algunos adsorbentes y resinas. Sin embargo los costos de algunos de estos materiales así como su regeneración pueden resultar elevados [9, 10, 16, 22, 27]. Por su parte, la adsorción ha demostrado ser una excelente vía de tratamiento de efluentes residuales industriales, que ofrece importantes ventajas como bajo costo, disponibilidad, rentabilidad, facilidad de operación y eficiencia, en comparación con métodos convencionales, especialmente desde el punto de vista económico y ambiental [10].

Entre los adsorbentes más utilizados se encuentra el carbón activado, por su alta porosidad y superficie específica, que le confieren elevada capacidad de adsorción; siendo efectivo en la remoción de compuestos orgánicos y eliminación de metales pesados de residuos hidrometalúrgicos [2, 12, 14, 31]. Sin embargo su aplicación puede tener también desventajas como son la pérdida de carbón activado durante las etapas de regeneración térmica, así como la disminución de la capacidad de adsorción de los carbones regenerados [21].

En Cuba, las industrias niquelíferas generan gran cantidad de residuos líquidos, sólidos y gaseosos que contienen sustancias contaminantes como amoníaco, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, metales pesados tóxicos, entre otras sustancias. Así, en el proceso de obtención de sulfuros de níquel y

cobalto por lixiviación ácida a presión, se genera el licor de desecho denominado WL por sus siglas en idioma inglés (waste liquor); el mismo es vertido al río Cabañas, contaminando sus aguas, las del río Moa y las del litoral, además de la atmósfera. El WL es de coloración azulosa y olor desagradable por su contenido de sulfuro de hidrógeno; contiene partículas en suspensión de sulfuros de Ni y Co, elevada acidez y metales pesados disueltos [8]. Además de la contaminación de las aguas, el vertimiento de este residuo da lugar a la pérdida de elementos metálicos que pudieran ser recuperados, con el consiguiente beneficio económico.

Tanto el problema ambiental como la pérdida de metales valiosos han conducido a la realización de diferentes estudios con relación al tratamiento del licor de desecho. Entre las alternativas se encuentra la neutralización del ácido libre y la precipitación de los metales disueltos [24, 28]. Sovol [30] y Cueto [7] propusieron como alternativa para la neutralización del licor WL, su utilización en la lixiviación de colas amoniacaes, que es un residual sólido del proceso carbonato amoniacal de extracción de níquel y cobalto. Otros trabajos relacionados con la recuperación de metales contenidos en el licor residual WL fueron desarrollados por Fonseca [15], Morrell [20] y Landazury *et al* [18].

Resultados sobre el equilibrio y cinética de la adsorción de metales pesados utilizando como adsorbente carbón activado se refieren generalmente a la adsorción de un elemento metálico en diferentes condiciones de reacción. Valirunova *et al.* [33] estudiaron la adsorción de Ni (II), Co (II) y Cu (II) con carbón activado; demostrando que la adsorción estuvo influenciada por el pH, grado de mineralización del agua y textura del carbón adsorbente. Se comprobó además la influencia de determinados grupos funcionales en el carbón. Estos autores lograron una recuperación de níquel y cobalto de 100%, y de 93 % para el Cu, con el carbón de mayor contenido de grupos funcionales carboxilos, fenólicos y lactonas.

Demirbas [13] reporta resultados del estudio del equilibrio de adsorción de Ni (II) con carbón activado de cascara de avellana, en reactores batch, variando la concentración inicial Ni (II), la velocidad de agitación entre 50 a 200 rpm y temperatura entre 20 a 40°C; la capacidad de adsorción obtenida estuvo entre

0,9 mg Ni(II)/g carbón a pH 3; y 4,7 mg Ni (II)/ g carbón a pH 7. La adsorción de níquel se incrementó con el aumento de la temperatura y de la velocidad de agitación. Con relación al efecto del pH, la adsorción de Ni (II) se incrementó con el aumento del pH hasta el punto donde los iones metálicos precipitaron. Por los resultados obtenidos de algunos parámetros termodinámicos se comprobó que el proceso de adsorción fue exotérmico y espontáneo. El mismo autor [12] desarrolló experimentos similares con disoluciones acuosas de Co(II) obteniendo capacidad máxima de adsorción de 13,88 mg Co(II)/ g carbón a 303 K y pH 6. Otros autores reportan la adsorción de Co (II) con carbones activados y el efecto del pH, tiempo de contacto y temperatura [17].

En efluentes contaminados con metales pesados, que contienen varios iones metálicos en disolución, tiene lugar la adsorción simultánea de varios iones, pudiendo existir una mayor o menor adsorción de ciertos iones [5, 26]. Generalmente la magnitud de adsorción de las distintas especies metálicas variará con el pH del líquido a tratar. En el caso de iones metálicos catiónicos, la magnitud de la adsorción se incrementa abruptamente a un valor específico de pH, el cual estará determinado por el comportamiento ácido-base del carbón activado. En su estructura el carbón activado posee grupos funcionales que le confieren características fisicoquímicas de superficies excepcionales que son determinantes en los mecanismos de adsorción y que además le confieren selectividad [4].

De acuerdo a aspectos de la química superficial de los carbones activados se ha podido comprobar que los mismos tienen una naturaleza anfótera y que sus características adsorbentes dependerán en gran medida de su origen, tipo de proceso y condiciones de carbonización o pirolisis, así como del método de activación. En la superficie de un carbón activado coexisten grupos superficiales de carácter ácido y grupos superficiales de carácter básico [6]. Un carbón de tipo básico será preferible para la adsorción de compuestos ácidos que un carbón de tipo ácido y viceversa. Los grupos ácidos tienden a liberar protones, especialmente en los medios básicos, mientras que los grupos básicos tienden a captarlos cuando se encuentran en un medio ácido, pudiendo aparecer cargas positivas o negativas en la superficie. Las condiciones en las

que un carbón tenga una carga neta negativa serán preferibles para adsorber cationes y aquellas en las que presente una carga neta positiva lo serán para adsorber aniones [6, 19]. Estas características son determinantes en la adsorción de cationes de metales pesados y en la variación del pH del líquido durante el contacto.

El carbón activado es un material renovable que puede obtenerse de diversos materiales como residuos agrícolas y forestales, hulla, lignitos, turba y residuos poliméricos. Cuba cuenta con amplios recursos de biomasa vegetal; en determinadas regiones del país se produce carbón vegetal de alta calidad; tal es el caso del carbón activado producido en la planta de Baracoa, Provincia de Guantánamo, en la cual se obtiene a partir de carbonizado de cascarón de coco y de residuos forestales. El mismo puede resultar un material adsorbente de aplicación en el tratamiento de residuales de la industria niquelífera en Cuba.

De ahí que se realicen estudios experimentales como los presentados en este trabajo y por Penedo *et al.* [23] y Salas [25] sobre equilibrio de adsorción de Ni (II) y Co (II) a partir de soluciones modeladas de sulfatos metálicos. Este trabajo es una continuidad de dichos experimentos y su objetivo es analizar el efecto del carbón activado de cascarón de coco en el tratamiento del licor de desecho del proceso de lixiviación ácida a presión de la empresa niquelífera Pedro Sotto Alba, de Moa.

Materiales y métodos

El carbón activado granular (CAG) utilizado en el estudio de adsorción, se obtuvo por carbonización y activación posterior de cascarón de coco; los resultados del análisis inmediato del carbón activado se muestran en la tabla 1, y fue realizado de acuerdo con las normas ASTM [3]. El diámetro promedio de partícula del CAG fue de 0,45 mm.

Tabla 1
Análisis inmediato del carbón activado
granular de cascarón de coco

Humedad	Materia volátil	Cenizas	Carbono fijo
16,86	10,70	8,195	81,11

El licor residual WL utilizado en los experimentos de adsorción fue suministrado por el Centro de Desarrollo e Investigaciones de la Industria del Níquel (CEDINIQ), y sometido a análisis químico, por espectroscopia de absorción atómica, utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), Modelo Carl Zeiss 5FL. La concentración de níquel, cobalto, hierro y manganeso se muestra en la tabla 2. El pH del WL fue determinado al inicio de cada experimento de adsorción, resultando un valor promedio de pH 1,23+/- 0,0225 033.

Tabla 2
Composición química del licor de deseco WL

Ni g/L	Co g/L	Fe g/L	Mn g/L
0,057	0,0098	0,84	1,75

Los experimentos de adsorción (Plan experimental 1) fueron realizados con muestras de WL, para evaluar el comportamiento de la capacidad del carbón activado de cascarón de coco en la adsorción de los iones metálicos Ni (II), Co (II), Fe (II) y Mn (IV) así como el porcentaje de adsorción, a diferentes tiempos de contacto. La metodología experimental para determinar la capacidad de adsorción de los iones metálicos en CAG consistió en adicionar una masa de 1 g del adsorbente y 50 mL de WL en un vaso de precipitado de 250 mL (lo cual corresponde a una dosis de adsorbente de 20 g de CAG/L). Los vasos de precipitados se sometieron a agitación magnética durante tiempo de contacto 20, 40 y 60 min. Las condiciones experimentales fueron: velocidad de agitación 200 rpm y 21°C de temperatura.

Otro grupo de corridas experimentales (Plan experimental 2) fue desarrollado con el objetivo de analizar el comportamiento de la capacidad de adsorción, el porcentaje de adsorción y el pH final después del contacto del WL con diferentes dosis de adsorbente: 20, 40, 100 y 200 g de CAG/L de WL. Para ello se pesaron 1, 2, 5 y 10 g de CAG, se depositaron en los vasos de precipitados y se adicionaron 50 mL de WL en cada uno. Los vasos de precipitados se sometieron a agitación magnética durante un tiempo de 6h. Estos experimentos fueron desarrollados con réplica.

Al finalizar cada experimento se procedió a filtrar la suspensión y se determinó la concentración de iones metálicos de la solución filtrada utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), Modelo Carl Zeiss 5FL. La capacidad de adsorción del ión metálico se determinó utilizando la ecuación siguiente:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_f)}{m} \cdot V \quad (1)$$

donde

Q_e : capacidad de adsorción (mg/g)

C_i : concentración inicial de soluto (adsorbato) en la solución (mg/L)

C_f : concentración final de soluto (mg/L);

V : volumen de solución (en L)

m : la masa de adsorbente (g).

La eficiencia o porcentaje de adsorción de ión metálico (R_a) se determinó por la ecuación:

$$R_a = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Resultados y discusión

En los experimentos de adsorción de iones metálicos presentes en el WL utilizando carbón activado de cascarón de coco, se analizó el comportamiento de la capacidad de adsorción en función del tiempo. Los resultados de concentración de equilibrio se muestran en la figura 1. Puede observarse una reducción apreciable del contenido de níquel y cobalto con respecto a la concentración inicial de la solución, además de ser las concentraciones finales prácticamente constantes en el tiempo; mientras que en el caso de los iones Fe (II) y Mn (IV) hubo poca disminución de las concentraciones en el WL después de 20, 40 y 60 min de contacto.

En la figura 2a se observa que el porcentaje de adsorción estuvo entre 40 y 50 % para Co (II) y entre 30 y 40 % para Ni (II). Con estos resultados fue determinada la capacidad de adsorción aplicando la ecuación 1 (figura 2b). La capacidad de adsorción para Ni (II) y Co (II) es baja, dada la baja concentración de los mismos en la solución de partida; la capacidad de adsorción se mantuvo constante para tiempos de contacto entre 20 y 60 min; siendo de hasta 0,24 mg/g de CAG para el Co (II) y de hasta 1,12 mg/g de CAG para el Ni (II). El porcentaje de adsorción de Fe (II) y Mn (IV) fue inferior a 10 %, mientras que la capacidad de adsorción fue mayor como consecuencia de una mayor concentración de estos iones metálicos en el licor WL, de hasta 3,75 mg/g de CAG para Fe (II) y 5,25 mg/g de CAG para el Mn (IV). La disminución de la capacidad de adsorción de Fe (II) y Mn (IV) en el tiempo es atribuible a la desorción que puede acontecer por fenómenos de mayor selectividad por unos u otros iones en solución presentes en el líquido.

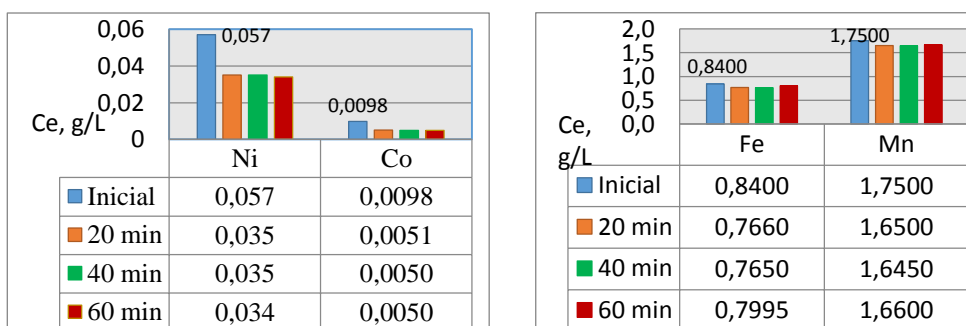


Figura 1. Concentración de equilibrio de níquel, cobalto, hierro y manganeso a diferentes tiempos de contacto

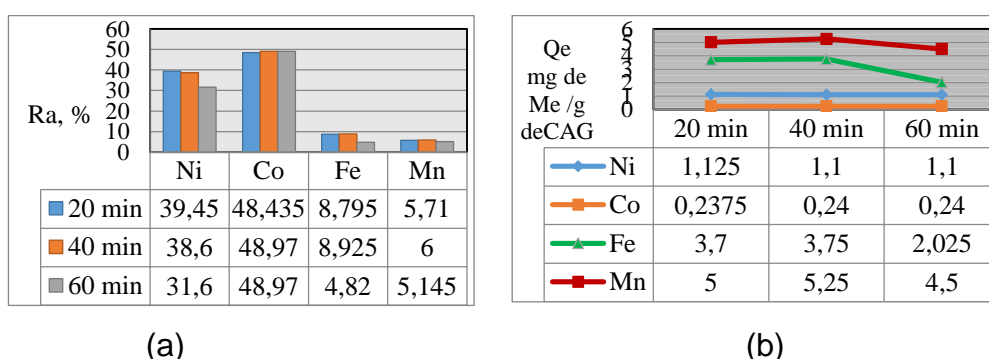


Figura 2. Porcentaje de adsorción (a) y capacidad de adsorción (b)

Influencia de la masa de adsorbente en el pH final del WL tratado

En el plan experimental dos, se desarrollaron experimentos de adsorción con el objetivo de analizar la influencia de la dosis de adsorbente en la modificación del pH, cuando se trató el WL con CAG. En la tabla 3 se muestran los resultados tanto para el níquel como para el cobalto. La capacidad de adsorción del níquel y del cobalto disminuyó en la medida en que se incrementó la dosis de adsorbente. En el caso del níquel se lograron porcentajes de adsorción (P_A) superiores al cobalto. Debe considerarse que, de acuerdo a la ecuación 1, en la medida que aumenta la masa de adsorbente la capacidad de adsorción disminuye. Esto, unido al hecho de que las soluciones de partida tienen baja concentración de Ni (II) y Co (II), da como resultado una disminución de la capacidad de adsorción.

Resulta importante profundizar en próximos estudios experimentales en cuanto a la relación entre condiciones de operación y consumo de adsorbente, buscando minimizar este último. También debe tenerse presente que en el tratamiento del WL intervienen otras especies químicas que participan en la adsorción e intercambio de iones con el carbón, pudiendo existir fenómenos de selectividad de unas especies químicas con relación a otras [4].

Tabla 3
Resultados de la capacidad de adsorción y porcentaje de adsorción de los metales disueltos en el licor residual WL (Ni y Co)

Masa de adsorbente g	Dosis de adsorbente g de CAG/L de WL	Concentración final g/L		Q_e (Ni) (mg/g)	$P_{A(Ni)}$ %	Q_e (Co) (mg/g)	$P_{A(Co)}$ %
		Ni (II)	Co (II)				
1	20	0,032	0,008 4	1,250	43,86	0,070 0	14,28
2	40	0,033	0,008 4	0,600	42,10	0,035	14,28
5	100	0,039	0,008 7	0,180	31,57	0,011 0	11,22
10	200	0,042	0,009 4	0,075	26,31	0,002 0	4,080

En la figura 3 se muestra el resultado del comportamiento del pH final del licor con diferentes masas de CAG. Se puede observar que independientemente de la masa de adsorbente, el pH se incrementó desde su valor inicial (pH 1,24) hasta aproximadamente siete. Los resultados demuestran que además de la eliminación de elementos metálicos presentes en el licor se reduce la acidez del líquido tratado, alcanzando un pH neutro. En el caso del WL se puede plantear que existen varios iones metálicos en disolución que intercambian con los iones superficiales del carbón; el incremento del pH del licor indica que en

este caso el carbón actúa como una base liberando iones OH^- al medio. Este comportamiento está en concordancia con lo reportado por Alfonso y Bugallo [1] y Téllez [32], los cuales refieren que el carbón activado de cascarón de coco tiene características básicas con valores de pH 9,89 y 10,95.

La reducción de la acidez del WL hasta pH neutro al ponerlo en contacto con carbón activado es un resultado significativo, lo cual puede representar la solución de una parte del problema de contaminación que provoca el WL por su alta acidez. Por otros métodos de tratamiento también se reporta la disminución de la acidez hasta pH 3,5 a 4,5 unidades [29]. Estudios posteriores deben estar dirigidos a analizar cómo influyen diferentes condiciones experimentales en los niveles de recuperación y al mismo tiempo en la modificación del pH. Se conoce que la mayor adsorción de iones metálicos tiene lugar a determinado pH de la solución. Por ello sería recomendable estudiar etapas de contacto del WL con el carbón para modificar fundamentalmente el pH; y otras etapas para favorecer fundamentalmente la adsorción de los iones metálicos, de modo que la misma tenga lugar con soluciones a pH óptimo para la adsorción de iones metálicos.

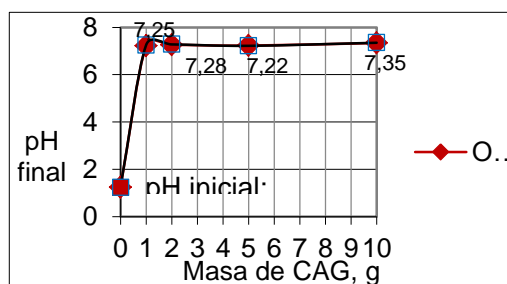


Figura 3. Influencia de la masa de carbón activado en el pH final del WL

Conclusiones

1. **Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo permitieron evaluar la capacidad de adsorción y el porcentaje de adsorción del carbón activado cuando se aplica como adsorbente para tratar el licor de desecho WL del proceso de lixiviación ácida de lateritas.**

- 2. En los experimentos de adsorción tipo batch se obtuvo una capacidad de adsorción para el Ni de 1,25 mg/g de carbón y para el Co de 0,24 mg/g de carbón. La capacidad de adsorción se mantuvo prácticamente constante, independiente del tiempo, en un intervalo de 20 a 60 min.**
- 3. El elemento metálico que más se adsorbió fue el cobalto, alrededor de 49 %; mientras que el níquel se adsorbió entre un 24 y un 40 %. El carbón activado de conchas de coco mostró efectividad como adsorbente de níquel y cobalto presentes en soluciones de sulfatos, siendo un resultado significativo la reducción drástica de la acidez del residual lográndose valores de pH final entre 7,22 y 7,35 para dosis de CAG entre 20 y 200 g/L de solución.**

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio Químico Grupo de Desarrollo, de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” de Moa, a la Planta de Carbón Activado de Baracoa, provincia de Guantánamo y al Centro de Desarrollo e Investigaciones de la Industria del Níquel de Moa por el apoyo brindado en el análisis de las muestras, suministro del carbón activado de conchas de coco y suministro del licor de desecho WL utilizado en el trabajo experimental respectivamente.

Bibliografía

1. Alfonso, E. F. Bugallo. *Memorias, trabajos y resúmenes*. Jornada Científica, 40 Aniversario del CIPIMM. 2007.
2. Al-Othman, A.; R. Ali, M. Naushad. “Hexavalent chromium removal from aqueous medium by activated carbon prepared from peanut shell: adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic studies”. *Chem. Eng. J.*, vol, 184, pp. 238–247, 2012.
3. ASTM D 3172-3175, *Annual Book of ASTM Standards*, Section 5 Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels, vol. 05.05 Gaseous Fuels, Coal and Coke, 1999.
4. Céspedes, N.E.; Valencia, J.S.; Díaz. J. “Remoción de cromo VI de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados”. *Rev. Colomb. Quím.*, vol. 36, núm. 3, p. 307, 2007.

5. Chandra V. S., I. Deo, I. Mani. "Equilibrium modelling of single and binary adsorption of cadmium and nickel onto bagasse fly ash". *Chemical Engineering Journal*, vol. 117, pp. 79–91, 2006.
6. Coetzee, J.W.; Rejaldien, M.Z. "Technical note the recovery of base metals by ion exchange resin". *Miner. Eng.* vol. 14, núm 4, pp. 433–437, 2001.
7. Cueto F. "Tratamiento del licor residual de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba MOA NICKEL S. A". Tesis doctoral. Departamento de Metalurgia. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Moa, Holguín. 2005. Inédito
8. Cueto F.R., E. Rondón, R. Fuentes. "Efluente líquido (wl) de la tecnología de lixiviación ácida: alternativas de tratamiento". *Minería y Geología*. Núm. 3-4, 2003,SSN 0258 5979.
9. Dada, A.O, Olalekan, A.P., Olatunya, A.M., Dada, O. "Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn²⁺ onto phosphoric acid modified rice husk". *Journal of Applied Chemistry*, vol. 3, núm.1, pp. 38-45, 2012.
10. Deepatana, A.; Valix, M. "Comparative adsorption isotherms and modeling of nickel and cobalt citrate complexes onto chelating resins". *Desalination*, pp. 334–342, 2008.
11. Demirbas, A. "Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review". *Journal of Hazardous Materials*, vol. 157, pp. 220–229, 2008.
12. Demirbas E. "Adsorption of Cobalt (II) Ions from Aqueous Solution onto Activated Carbon Prepared from Hazelnut Shells". *Adsorption Science & Technology*, vol. 21, núm. 10, pp. 951-963, 2003.
13. Demirbas E., M. Kobya, S. Oncel, S. Sencan. Removal of Ni(II) from aqueous solution by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: equilibrium studies. *Bioresource Technology*, vol. 84, pp. 291–293. 2002.
14. Fleming, C.A.; Mezei, A.; Bourricaudy, E.; Canizares, M.; Ashbury, M. "Factors influencing the rate of gold cyanide leaching and adsorption on activated carbon, and their impact on the design of CIL and CIP circuits". *Minerals Engineering*, vol.24, pp. 484–494, 2011.
15. Fonseca, M. Separación de níquel y cobalto en licores ácidos. Informe Técnico CI.S, Moa, 1988.
16. Heviánková S., I. Bestová, M. Kyncl. "The application of wood ash as a reagent in acid mine drainage treatment". *Minerals Engineering*, vol. 56, pp. 109–111, 2014.
17. Krishnan, K. A.; Anirudhan., T.S. "Kinetic and equilibrium modelling of cobalt(II) adsorption onto bagasse pith based sulphurised activated carbon". *Chemical Engineering Journal*. Vol. 137, pp. 257–264. 2008.
18. Landazury, S. "Proceso de tratamiento del licor WL con amoníaco". Informe Técnico. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 1995.
19. Marsh, H.; Rodriguez, F. *Activate Carbon*. 1st. Edition. Elsevier. p. 554. Ebook. 2006. ISBN: 9780080455969.
20. Morrell, A. "Desarrollo de una metodología para la descontaminación del WL y recuperación de algunos valores metálicos". Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Naturales Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1990. Inédito

21. Papandreou, A.D.; Stournaras, C.J.; Panias, D.; Paspaliaris, I. "Adsorption of Pb(II), Zn(II) and Cr(III) on coal fly ash porous pellets". *Minerals Engineering*, vol. 24, pp. 1495–1501, 2011.
22. Parab, H.; Joshi, S.; Shenoy, N.; Lali, A.; Sarma, U.S.; Sudersanan, M. "Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Co(II), Cr(III) and Ni(II) onto coir pith". *Process Biochemistry*. Vol. 41, núm 3, pp. 609–615, 2006.
23. Penedo-Medina M., E.M. Manals-Cutiño, F. Vendrell-Calzadilla, D. Salas-Tort. "Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco". *Tecnología Química*, e-ISSN: 2224-6185, vol. xxxv, núm. 1, pp. 73-91, 2015.
24. Pérez, F. "Estudio cinético de la reacción de neutralización del licor WL con un pH = 4,5". Informe Técnico. Centro de Investigaciones y Proyectos de la Industria Minero Metalúrgica, La Habana, 1991.
25. Salas D., N. Marzal, M. Penedo. "Estudio preliminar de la adsorción de níquel y cobalto utilizando carbón vegetal de conchas de coco". *Tecnología Química*, vol. xxxii, núm. 2, pp. 166-176. 2012.
26. Schier de Lima L., S. Pércio, F.Luiz, G. de Biasi, J.R. Garcia. "Characterization of activated carbons from different sources and the simultaneous adsorption of Cu, Cr, and Zn from metallurgic effluent". *Separation and Purification Technology*, vol. 122, pp. 421–430, 2014
27. Soco, E.; Kalembkiewicz, J. "Adsorption of nickel (II) and copper (II) ions from aqueous solution by coal fly ash". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 1, pp. 581–588, 2013.
28. Sosa M. M., T. Azahares, P. Bassas. "Recuperación del cromo y aluminio del licor de desecho (wl) en forma de sales dobles". *Minería y Geología*. Vol. 22, núm 4, pp. 1-12, 2006.
29. Sosa M.M., M. Garrido. "Modelos termodinámicos de la precipitación de sulfuros metálicos en licor residual ácido". *Minería y Geología*, vol. 25, núm. 2, pp. 1-20, 2009.
30. Sovol, I. "Utilización del licor WL al 20% para el lavado de las colas del mineral laterítico". Informe CIS. Moa, 1981.
31. Sulaymon, A.H.; Abid, B.A.; Al-Najar, J.A. "Removal of lead copper chromium and cobalt ions onto granular activated carbon in batch and fixed-bed adsorbers", *Chem. Eng. J.*, vol. 155, pp. 647–653, 2009.
32. Téllez, G. "Adsorción de Níquel y Cobalto en carbón activado de cascarón de coco". Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Cuba. 2010. Inédito
33. Valinurova, E. R, A. D. Kadyrova, L. R. Sharafieva, and F. Kh. Kudasheva. "Use of Activated Carbon Materials for Wastewater Treatment to Remove Ni (II), Co (II), and Cu (II) Ions". *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 81 núm. 11, pp.1939–1941, 2008.