

## **EFFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE LA CÁSCARA DE COCO, REFORZADO CON IONES CÚPRICOS PENTAHIDRATADOS, EN LA REMOCIÓN DE CIANURO ACUOSO**

### **EFFECT OF COCONUT HUSK ACTIVATED CARBON, REINFORCED WITH PENTAHYDRATED CUPRIC IONS, IN THE REMOVAL OF AQUEOUS CYANIDE**

**Jhonatan Danny Mudarra Valdivia**

Alumno de la escuela profesional de Ing. Ambiental  
jhony\_086@hotmail.com  
Universidad César Vallejo

Recibido: 03 mayo 2017 - Aceptado: 23 junio 2017

DOI: [dx.doi.org/10.18050/Cientifi-k.v5n1a6.2017](https://dx.doi.org/10.18050/Cientifi-k.v5n1a6.2017)

#### **RESUMEN**

En la presente investigación se estudió el proceso de oxidación de cianuro libre, mediante pruebas experimentales; en la cual, se trabajó con 27 soluciones preparadas de cianuro de sodio en volúmenes de un litro, con una concentración inicial de cianuro libre de 500 ppm, cuyas variables de operación fueron: cantidad de carbón activado de la cáscara de coco (25, 45, 65 g) y cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (2,5; 4,5; 6,5 g) en un tiempo de agitación de 180 minutos. Los resultados mostraron que al aumentar las cantidades de carbón activado de la cáscara de coco y las cantidades de sulfato cúprico pentahidratado en sus respectivos valores de operación hacen que la concentración de cianuro libre disminuya. De este modo se concluyó que el nivel de concentración de cianuro libre más bajo alcanzado fue de 0,46 ppm, lo que representó el 99,91% de eficiencia y esto se logró teniendo como niveles de operación la cantidad de 65 g/L de carbón activado de la cáscara de coco y la cantidad de 6,5 g/L de sulfato cúprico pentahidratado.

**Palabras clave:** Cianuro, oxidación, concentración, sulfato, carbón.

#### **ABSTRACT**

In the present investigation, the free cyanide oxidation process was studied by means of experimental tests. For this reason, we worked with 27 prepared solutions of sodium cyanide in volumes of one liter, with an initial concentration of free cyanide of 500 ppm, whose operating variables were amount of activated carbon from the coconut husk (25, 45, 65 g) and amount of pentahydrated cupric sulfate (2.5, 4.5, 6.5 g) in a stirring time of 180 minutes. The results showed that increasing the amounts of activated carbon in the coconut husk and the amounts of pentahydrated cupric sulfate in their respective operation values cause the concentration of free cyanide to decrease. It was concluded, then, that the lowest free cyanide concentration level reached was 0.46 ppm, which represented 99.91% efficiency. This was achieved by having as levels of operation the amount of 65 g / L of activated carbon from the coconut husk and the amount of 6.5 g / L of pentahydrated cupric sulfate.

**Keywords:** Cyanide, oxidation, concentration, sulfate, carbon.

## I. INTRODUCCIÓN

El proceso de cianuración para extraer el oro de sus minerales viene empleándose hace casi un siglo, desde que en 1998 se utilizó por primera vez en Nueva Zelanda y en África [14].

En el Perú, las actividades mineras han venido incrementándose con el tiempo, tenido un desarrollo considerable, hasta el punto que la economía del país dependa de ello; es por eso que, en la actualidad, "la minería de Perú es uno de los motores de la economía y sus envíos representan alrededor del 60% de las exportaciones, estando en el segundo lugar de América Latina en cuanto a producción de plata y oro" [11].

Estas actividades mineras que se desarrollan a lo largo del territorio, utilizan el cianuro o proceso de cianuración como método de extracción de oro y plata, debido a su capacidad de reacción frente a otros lixiviantes. "Este proceso genera efluentes líquidos o residuos, que contienen elementos tales como cianuro de sodio, compuestos de cianuro de alta solubilidad, cianatos, tiocianatos y cianuro acomplejado con metales pesados, que son potencialmente tóxicos y presentan diversos grados de estabilidad y tratabilidad" [4].

En el departamento de la Libertad las empresas mineras ilegales e informales que viene operando desde hace mucho tiempo atrás, realizan lixiviación con cianuro de sodio, para la obtención del oro y la plata, generando así que sus efluentes tengan concentraciones por encima de los Límites Máximos Permisibles. Entonces, desde la perspectiva ambiental este método de lixiviación que vienen realizando las empresas mineras informales e ilegales, ocasiona la destrucción de la flora y fauna acuática en los cuerpos receptores que descargan estos efluentes contaminados.

Por ello, se busca realizar un método eficaz y a la vez rentable para poder tratar el cianuro y bajar sus concentraciones. Entonces una de las formas de eliminación del cianuro es mediante la oxidación química usando carbón activado de la cascara de coco reforzado con iones de sulfato de cobre pentahidratado. De esta forma las variables que influyen en la oxidación del cianuro son: La cantidad de carbón activado de cascara de coco, la cantidad de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , pH, la concentración inicial de cianuro, aireación, temperatura; las cuales al controlarlas

adecuadamente nos proporcionan una buena remoción del cianuro, de esa manera reduciéndolo hasta por debajo de los niveles máximos permisibles.

Es así que, en estudios previos se demuestra la influencia de las variables de estudio: Bardales (2014), en su tesis "Influencia de la dosificación de peróxido de hidrógeno, cantidad de carbón activado impregnado con iones de cobre y tiempo de agitación sobre la concentración de cianuro libre en soluciones de cianuro", realizó pruebas experimentales aplicando un modelo trifactorial, con tres niveles de operación, en la cual se trabajó con 81 soluciones preparadas de cianuro de sodio con una concentración inicial de cianuro libre de 500 ppm, cuyas variables de operación fueron dosificación de peróxido de hidrógeno (1,25; 2,5; 5,0 ml/L), cantidad de carbón activado impregnado con iones de cobre (20, 40, 60 g/L) y tiempo de agitación (60, 120, 180 min); así mismo, teniendo como variable dependiente la concentración de cianuro libre, concluyendo que el nivel concentración de cianuro libre más bajo alcanzado fue de 0.79 ppm y esto se logró teniendo como niveles de operación la dosificación de peróxido de hidrógeno (5,0 ml/L), cantidad de carbón activado impregnado con iones de cobre (60 g/L) y tiempo de agitación (180 min) las cuales influyeron significativamente sobre la concentración de cianuro libre.

Del mismo modo, Arévalo (2011), en su investigación titulada "Control de efluentes cianurados mediante la oxidación con Peróxido de Hidrogeno en un laboratorio de análisis de minerales", decidió investigar la cantidad de remoción de cianuro, donde las pruebas se hicieron a una sola temperatura de trabajo que fue la ambiental, que se trabajó con una solución de prueba cianurada de 200 ml con una concentración 4000 ppm de  $\text{CN}^-$  se obtuvo una concentración final de 147 ppm de  $\text{CN}^-$  a un tiempo de 140 min adicionando 10 ml/L de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) como oxidante y 0,5 g de sulfato de cobre pentahidratado como catalizador.

El presente trabajo se justifica porque busca probar a escala laboratorio el efecto del carbón activado de la cáscara de coco, reforzado con iones cúpricos pentahidratados, en la remoción de cianuro acuoso.

Asimismo, este tratamiento nos permitirá tener una efectiva remoción de cianuro libre, consiguiendo su máxima degradación posible

y que a la vez resulte rentable en los tratamientos de los efluentes descargados a los cuerpos naturales de agua y que sus concentraciones estén por debajo de los niveles máximos permisibles, generando su posterior aplicación a escala industrial. Es por ello que se formuló el siguiente problema: ¿En qué medida el carbón activado

de la cáscara de coco, reforzado con iones cúpricos pentahidratados afecta la remoción de cianuro acuoso?, proponiéndose así lograr cumplir con objetivo general del presente trabajo, que es: Determinar el efecto del carbón activado de la cascara de coco reforzado con iones cúpricos pentahidratados, en la remoción de cianuro acuoso.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente proyecto tiene un diseño experimental bifactorial:

Factor A:  $a_0, a_1, a_2$

Factor B:  $b_0, b_1, b_2$

Donde:

- A: Cantidad de carbón activado de la cáscara de coco.

- B: Cantidad sulfato cúprico pentahidratado.

- a, b: Representa los niveles de estudio.

Estos experimentos, tuvieron 3 réplicas o repeticiones, entonces el tamaño de muestra (N) que se analizó fue de 27 experimentos. Las Variables empleadas fueron: Cantidad de carbón activado de la cascara de coco, Cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (V. independientes) y Concentración de cianuro removido (V. Dependiente). La población la conformaron 27 litros de 500 ppm de cianuro de sodio y la muestra fue de 1L, que

se trabajó a nivel de laboratorio. Luego, los datos que se obtuvieron de los 27 experimentos, se trabajaron a nivel de laboratorio, los cuales fueron analizados de manera estadística (Análisis de Varianza).

Para la validez y confiabilidad del instrumento se procedió con la calibración de equipos que se utilizaron en los experimentos respectivos. El análisis de los datos obtenidos de manera experimental, se analizaron mediante el Software estadístico SPSS, haciendo un análisis de varianza (ANOVA) que permitió contrastar la hipótesis nula de que las medias de los 27 experimentos son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las medidas difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Esto permitió, determinar si existe o no efecto de las variables estudiadas sobre la remoción del cianuro.

## III. RESULTADOS

La determinación final de cianuro libre se logró por el método de volumetría, utilizando nitrato de plata y yoduro de potasio como indicador, trabajando con la solución inicial de NaCN a 500 ppm, a lo cual se le aplicó 9

tratamientos con 3 repeticiones cada uno; esto basándose, en el diseño bifactorial. A continuación, en la Tabla 2, se muestra la concentración final del cianuro libre obtenido por cada tratamiento.

Tabla 1. Concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[\text{NaCN}]_{\text{inicial}} = 500 \text{ ppm}$ ,  $\text{pH} = 11.8-12$  y tiempo de agitación = 120 minutos.

Cantidad de carbón activado de la cáscara de coco (g)	Cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (g)		
	2.5	4.5	6.5
25	201.15	166.27	99.03
	205.26	168.56	102.71
	203.68	170.04	100.69
45	147.03	112.31	58.54
	145.01	114.52	57.15
	149.13	109.98	55.37
65	17.92	7.66	0.49
	20.55	8.14	0.38
	18.21	5.24	0.51

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 1 se puede observar la interacción entre la cantidad del carbón activado de la cáscara de coco (g) y la cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (g/L) en la solución

inicial de NaCN a 500 ppm, interactuando juntamente con un tiempo de agitación de 120 minutos; obteniendo las concentraciones finales de cianuro libre de cada tratamiento.

Tabla 2. Promedios de la concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[\text{NaCN}]_{\text{inicial}}=500$  ppm,  $\text{pH}=11,8-12$  y tiempo de agitación=180 minutos.

Cantidad de carbón activado de la cáscara de coco (g)	Concentración de cianuro libre (ppm)	Remoción de cianuro libre (%)
25	384.21	23.16
45	214.94	57.01
65	152.36	69.53

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 2, se muestran los promedios finales de los 3 tratamientos realizados a la solución inicial de NaCN a 500 ppm, después de haberse realizado el proceso de adsorción y oxidación del NaCN con el carbón activado de

la cáscara de coco y un tiempo de agitación de 180 minutos; observándose que el mayor porcentaje de remoción de cianuro libre fue de 69,53% a una cantidad de carbón activado de la cáscara de coco de 65 g.

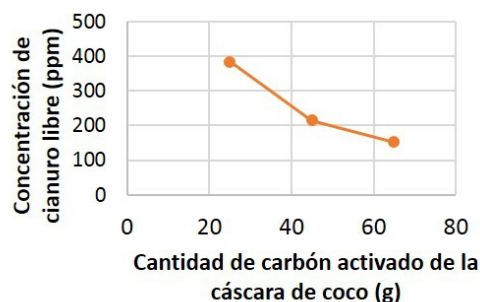


Figura 1. Tendencia de la concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[\text{NaCN}]_{\text{inicial}}=500$  ppm,  $\text{pH}=11,8-12$  y tiempo de agitación=180 minutos.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1, se observa la interacción que hay de la cantidad del carbón activado de la cáscara de coco sobre la concentración de cianuro libre, donde se puede visualizar una relación inversa, ya que, al aumentar la

concentración del carbón activado de la cáscara de coco, disminuye la concentración de cianuro libre, evidenciándose por la línea de tendencia decreciente de los resultados finales de cianuro libre.

Tabla 3. Promedios de la concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[\text{NaCN}]_{\text{inicial}}=500$  ppm,  $\text{pH}=11,8-12$  y tiempo de agitación=120 minutos.

Cantidad de carbón activado de la cáscara de coco (g)	Cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (g)		
	2.5	4.5	6.5
25	203.36	168.29	100.81
45	147.06	112.27	57.02
65	18.89	7.01	0.46

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se muestran los promedios finales de los 9 tratamientos realizados a la solución inicial de NaCN a 500 ppm, después de haberse realizado el proceso de adsorción y oxidación del NaCN con la cantidad del carbón activado de la cáscara de coco y la cantidad del sulfato cúprico pentahidratado, disminuyendo el tiempo de agitación a 120 minutos,

reduciendo a 1 hora la eficiencia en comparación con el tratamiento utilizando únicamente el carbón activado de la cáscara de coco; observándose así, que la mayor remoción del cianuro libre se dio con 64 g de carbón activado de la cáscara de coco y 6,5 g de sulfato cúprico pentahidratado, obteniendo 0,46 ppm de cianuro libre final.

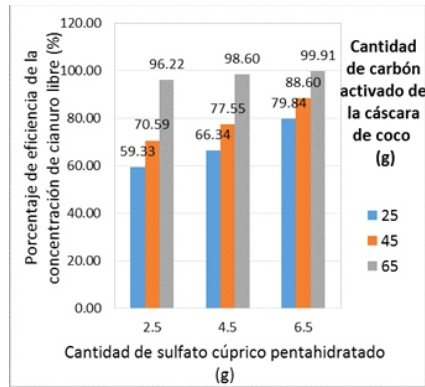


Figura 2. Porcentaje de la eficiencia de la concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[NaCN]_{inicial} = 500$  ppm,  $pH = 11.8-12$  y tiempo de agitación = 120 minutos.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se observa los porcentajes de eficiencia de la concentración final de cianuro libre, obtenido a partir de la interacción de la cantidad del carbón activado de la cáscara de coco y la cantidad del sulfato cúprico pentahidratado sobre la concentración de cianuro libre, alcanzando una eficiencia

máxima de 99,91%, esto se logró utilizando 65g de carbón activado de la cáscara de coco y 6,5 g de sulfato cúprico pentahidratado; mejorando el 69,53% de eficiencia alcanzado únicamente con el carbón activado de la cáscara de coco.

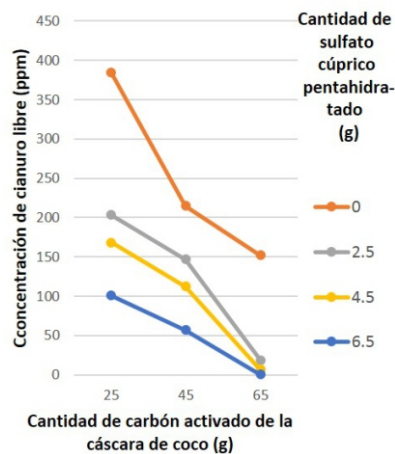


Figura 3. Comparación de la tendencia de la concentración final de cianuro libre (ppm). Condiciones:  $[NaCN]_{inicial} = 500$  ppm,  $pH = 11,8-12$  y tiempo de agitación = 120 minutos.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, se puede visualizar la tendencia de la concentración final de cianuro libre alcanzado después del tratamiento a la solución inicial de NaCN (500 ppm) utilizando únicamente carbón activado de la cáscara de coco (línea roja), y el tratamiento utilizando carbón activado de la cáscara de coco y sulfato cúprico pentahidratado como refuerzo (línea

verde, celeste y morada), donde se puede apreciar que la tendencia de la concentración final de cianuro libre es decreciente para ambos tratamientos; pero, esta tendencia decreciente mejora significativamente con la utilización del sulfato cúprico pentahidratado, mejorando así la eficiencia del tratamiento sobre la remoción de cianuro libre.

Tabla 4. Análisis de varianza (Anova) de los datos de concentración final de cianuro libre (ppm), usando el programa estadístico SPSS.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	131,681,703	8	16460.213	5343.043	0
Interceptación	221504.333	1	221504.33	71901.082	0
Carbón activado de la cáscara de coco	102487.683	2	51243.842	16633.931	0
Sulfato cúprico pentahidratado	22642.152	2	11321.076	3674.861	0
Carbón activado de la cáscara de coco * sulfato cúprico pentahidratado	6551.868	4	1637.967	531.69	0
Error	55.452	18	3.081		
Total	353241.488	27			
Total corregido	131737.155	26			

Fuente: IBM SPSS statistics 23

Luego de comprobar la normalidad de los datos, se realizó el análisis de varianza, teniendo como  $H_0$  (hipótesis nula) que los experimentos realizados son iguales, mientras que la  $H_1$  (hipótesis alternativa) indica que al menos uno de los experimentos

realizados es diferente, por ello en la tabla 4 se observa que el P (sig.) probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, fue menor que el nivel de significancia(0,05), rechazándose así a  $H_0$ , determinándose así que al menos uno de los experimentos realizados es diferente.

#### IV. DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestra los resultados promedio de la concentración final de cianuro libre, en función de la cantidad de carbón activado de la cáscara de coco, observándose una disminución significativa de la concentración de cianuro libre, llegando hasta 152,36 ppm obtenida con una cantidad de carbón activado de la cáscara de coco de 65 g, y un tiempo de agitación de 180 minutos; estos resultados son similares a los determinados por Mamani (2007), en donde la concentración de cianuro libre disminuye

tratándole con carbón activado de la cáscara de coco, obteniendo según su investigación una concentración final de cianuro libre de 21,25 ppm con una cantidad 50 g y un tiempo de agitación de 10 minutos, partiendo de 27,25 ppm de cianuro libre inicial. Esto se confirma la teoría planteada por [18], quien nos indica que el carbón activado tiene la capacidad de adsorber compuestos de cianuro, solándose identificarlo como un catalizador para la oxidación de ion cianuro a cianato. Esto se debe según De la Torre

(2008), a su naturaleza, superficie específica, porosidad, y granulometría que son factores importantes que influyen en la oxidación del cianuro.

Los tratamientos se trabajaron con agitación magnética a 900 rpm por un tiempo de 180 y 120 minutos, la razón de introducir la agitación magnética en los tratamientos, se sustenta en el trabajo realizado por Bardales (2014), quién demostró que el tiempo de agitación influye significativamente en la oxidación del cianuro libre.

La figura 1 se muestra la tendencia de la concentración final de cianuro libre; la cual, es decreciente, observándose dentro del rango experimental que la tendencia de la concentración de cianuro libre tiende a ser menor cuando la cantidad de carbón activado de la cáscara de coco es mayor. Esto se reafirma con el estudio hecho por Castillo (2013), donde el proceso de oxidación del cianuro se ve favorecida por el aumento de la cantidad de carbón activado, con una tendencia decreciente del rango experimental, realizadas con una concentración inicial de 500 ppm de NaCN, obteniendo la menor concentración de cianuro libre con una cantidad de carbón activado a 50 g (202.0 ppm) y 80 g (165.8 ppm).

En la tabla 3 se muestra los resultados promedio de la concentración final de cianuro libre, observándose una mejora significativa en la remoción de la concentración de cianuro libre al hacer interactuar el carbón activado de la cáscara de coco y el sulfato cúprico pentahidratado; además, se logró disminuir el tiempo de agitación a 120 minutos, obteniéndose así la disminución máxima de cianuro libre a 0.46 ppm de 500 ppm con una cantidad de carbón activado de la cáscara de coco de 65 g y sulfato cúprico pentahidratado de 6.5 g. Esto nos indica que la cantidad de sulfato cúprico pentahidratado potencia a la cantidad del carbón activado de la cáscara de coco en la remoción de cianuro libre; lográndose una eficiencia máxima de 99.91% como se puede observar en la figura 2. Resultados similares obtuvieron Castillo (2013) y Bardales (2014), quienes modificaron el carbón activado por impregnación de iones de cobre, obteniendo una eficiencia máxima de eliminación de cianuro de 95% y 88.84% respectivamente, ambos con una concentración inicial de 500 ppm de cianuro libre.

La figura 3, se muestra la comparación de la tendencia de disminución de cianuro libre tratándolo con carbón activado de la cáscara de coco solo y tratándolo con carbón activado de la cáscara de coco y sulfato cúprico pentahidratado al mismo tiempo, mostrando claramente la mejora que se logró al tratamiento al introducirse el sulfato cúprico pentahidratado. Esto se logró gracias a teoría planteada por Young y Jordan (1996) citado por Castillo (2013), donde indica que el carbón activado actúa como adsorbente y oxidante para el cianuro; sin embargo, cuando esta adsorción ocurre en presencia de cobre, ya sea en solución o previamente adsorbido en el carbón activado, la velocidad a la que se produce la reacción de oxidación se incrementa, este proceso de mejora según Perez e Higuera (2008) citado por Pesántez (2010), se debe a que la adición de iones de cobre en soluciones de cianuro de sodio, forma complejos cianurados, determinándose que cada átomo de cobre se une a dos moléculas de cianuro, donde la superficie porosa del carbón es ideal para la formación de complejos que finalmente son adsorbidos. Por otro lado, los resultados se obtuvieron trabajando con un pH de las soluciones cianuradas entre 11,8 y 12; ya que, las investigaciones realizadas por Dash, Balomajumder y Kumar, (2009), nos indica que las reacciones en el proceso de oxidación, son responsables del mayor porcentaje de pérdida de cianuro en soluciones acuosas a un pH que sea mayor de 10.5, siendo estas condiciones las mejores para que el cianuro tenga fácil oxidación al compuesto de cianato o cianógeno, siendo estos menos tóxicos. Finalmente en la tabla 4, se muestra el análisis de varianza (Anova) de los datos de concentración de cianuro libre en función de la cantidad de carbón activado de la cáscara de coco (g) y la cantidad de sulfato cúprico pentahidratado (g), con un confianza de 95%, lográndose rechazar la "hipótesis nula"; en la cual, nos indica que las variables de la investigación no tienen un efecto significativo en los resultados por ser todos los tratamientos iguales; por lo tanto, existe suficiente sustento para decir que las interacciones del carbón activado de la cáscara de coco y el sulfato cúprico, influyen significativamente sobre la concentración de cianuro libre a diferentes cantidades.

## V. CONCLUSIONES

1. La cantidad de carbón activado de la cáscara de coco en un tiempo de agitación de 180 minutos, tiene efecto sobre la remoción y degradación de cianuro libre, ya que se evidencia una máxima remoción y degradación de cianuro libre, disminuyendo la concentración de 500 ppm a 152.36 ppm, con 65 g de carbón activado de la cáscara de coco.
2. La cantidad de 65 g de carbón activado de la cáscara de coco y la cantidad de 6.5 g de sulfato cúprico pentahidratado, en un tiempo de agitación de 120 minutos, tienen el mayor efecto sobre la remoción y degradación de cianuro libre, disminuyendo la concentración de 500 a 0.46 ppm.
3. Por último, se concluye que 65 g de carbón activado de la cáscara de coco reforzado con 6.5 g de sulfato cúprico pentahidratado tiene un efecto máximo de remoción y degradación del cianuro libre del 99.91 % durante un tiempo de operación de 120 minutos.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams, Marck. The Chemical Behavior of cyanide in the extraction of gold 1. Kinetics of Cyanide loss in the Presence and absence of Activated Carbon. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 1990.
2. Amaya, Alejandro. Obtención y caracterización de tamices moleculares de carbón. Tesis (Doctor en química). Montevideo: Universidad de la Republica Uruguay, 2011.
3. Arévalo, Christian. Control de efluentes cianurados mediante la oxidación con Peroxido de Hidrogeno en un laboratorio de análisis de minerales. Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011.
4. Bardales, Joseph. Influencia de la dosificación de peróxido de hidrógeno, cantidad de carbón activado impregnado con iones de cobre y tiempo de agitación sobre la concentración de cianuro libre en soluciones de cianuro. Tesis (Ingeniero Metalurgista). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2014.
5. Castillo, Hugo. Diseño de una planta de tratamiento de efluentes cianurados por oxidación del ion cianurado con aire y carbón activado modificado con cobre y plata. Tesis (Ingeniero químico). Quito: Escuela politécnica nacional, 2013.
6. Dash, Rajesh; Balomajumder, Chandrajit y Kumar, Arvind. Removal of cyanide from water and wastewater using granular activated carbon. Chemical Engineering Journal, Volume 146, 2009
7. Decreto Supremo N° 010-MINAM. Diario Oficial el peruano, Lima, Perú, 21 de agosto del 2010.
8. Deveci, H. Removal of Cyanide from Aqueous Solutions by Plain and Metal-Impregnated Granular Activated Carbons. International Journal of Mineral Processing, 2006.
9. De La Cruz, Aylin. Alternativa de tratamiento de residuales cianurados generados en el procesamiento de minas auríferas cuarzosas. La Habana, 2012.
10. González, L. y Pulido, J. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en la planta de beneficio de la empresa Mineros Nacionales, Marmato. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2004.
11. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Disponible en: <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>. Fecha de consulta 10 de mayo del 2016.
12. Logsdon, Mark y Hagelstein, Karen. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Canadá: 2011. 40 p. ISBN: 1-895720-35-4
13. Luna, Donaciando y Gonzáles, Armando. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. México, 2007.
14. Mamani, Oscar. Implementación de procesos de destrucción de cianuro con sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno. Tesis (Ingeniero metalurgista). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
15. De La Torre, Ernesto y Pesantez, Daniel. Influencia del ion cúprico y del cobre metálico en la oxidación del cianuro libre con aire y carbón activado. Bogotá, 2008.
16. Pesántez, Daniel. Estudio de la influencia de sales de cobre en la oxidación del ion cianuro con aire y carbón activado. Tesis (Ingeniero químico). Quito: Escuela politécnica nacional, 2010.
17. Pavon, Pilco y De Los Angeles, Yadira. Estudio de la oxidación de efluentes cianurados en presencia de aire y carbón activado. Tesis (Ingeniero químico). Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2008
18. Roshan, Rajesh. Removal of Cyanide from Water and Wastewater using Granular Activated Carbon. Chemical Engineering Journal, 2008.
19. Rodríguez, Antonio y Letón, Pedro. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, 2016.