

Diseño, simulación y construcción de un equipo de lixiviación en columnas, estática y automatizada, orientada a las prácticas de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica - Laboratorio - UNDAC

Design, simulation and construction of a static and automated column leaching equipment, oriented to the practices of the students of the Professional School of Metallurgical Engineering - Laboratory - UNDAC

José Sosa , Rubén Palomino , Hildebrando Condor

RESUMEN

El presente proyecto cubre una gran necesidad de contar con un equipo que permita el desarrollo de las prácticas de laboratorio de los alumnos, especialmente de aquellos que desarrollan el curso de hidrometalurgia, para así comprobar los conocimientos teóricos en el campo de la lixiviación de los metales tales como el cobre, la plata y el oro, principalmente, empleando como agente lixivante al cianuro de sodio en las cantidades requeridas únicamente.

El equipo construido a nivel de laboratorio consta de accesorios de PVC, instrumentos electrónicos para el funcionamiento automatizado, cálculos matemáticos de densidad, masa, volumen, tiempo y un software para simular la operación que también ayuda en su construcción.

La utilización de este equipo, así como la manipulación del mineral a tratar, la acción de la solución disolvente de cianuro, es fácil y ligera, pero se recomienda tomar las medidas de seguridad necesarias, por tratarse de una solución de cianuro que es contaminante para el medio ambiente.

Palabra clave: Tecnología, creatividad industrial, lixiviación en columnas, automatización

ABSTRACT

This project covers a great need to have a team that allows the development of laboratory practices of students, especially those who develop the course of hydrometallurgy, to test the theoretical knowledge in the field of leaching of metals such as copper, silver and gold, mainly using as a leaching agent sodium cyanide in the quantities required only.

The equipment built at laboratory level consists of PVC accessories, electronic instruments for automated operation, mathematical calculations of density, mass, volume, time and a software to simulate the operation that also helps in its construction.

The use of this equipment, as well as the manipulation of the mineral to be treated, the action of the cyanide solvent solution, is easy and light, but it is recommended to take the necessary safety measures, as it is a cyanide solution that is polluting for the environment.

Keyword: Technology, industrial creativity, column leaching, automation

1. Mg. Jose Luis SOSA SANCHEZ. Ingeniero de Sistemas e Informática. Docente de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión –Cerro de Pasco.

2. Mg. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO. Ingeniero Metalurgista. Docente en la categoría principal de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión –Cerro de Pasco.

3. Dr. Sc. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA. Ingeniero Metalurgista. Decano de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión –Cerro de Pasco.



INTRODUCCIÓN

Los conocimientos existentes acerca de los procedimientos de recuperación y obtención de los metales por vía hidrometalúrgica son abundantes y diversificados, especialmente para los minerales de cobre plata y oro. Impartidos estos, dentro del claustro universitario surte sus efectos positivos de formación y especialización en los estudiantes que luego ejercen sus actividades profesionales en las plantas industriales en forma competente y eficaz.

Sin embargo, la teoría académica que no es acompañada de las prácticas no logra la eficiencia productiva. Y esto fue la razón que motivó a la ejecución de este proyecto que permitió la construcción de una columna de lixiviación a la que se adicionó una columna de adsorción para la recuperación inmediata del metal, objeto de la práctica a realizar con la ventaja de que su operación es automatizada para incrementar la recuperación del metal.

Su capacidad de tratamiento por operación por lote (batch), es de 5 kg de mineral (Cu, Ag o Au, y otros) pero es posible incrementar este valor mediante la inclusión de otra columna en paralelo por acoplamiento mecánico.

Para su realización se ha empleado cálculos matemáticos, la simulación del proceso, tuberías de

PVC, accesorios de acoplamiento, una bomba y motor para recirculación de la solución lixivian- te, bandejas para recepción y acumulación de la solución, y dispositivos electrónicos para dotarla de un control automático.

MÉTODOS Y MATERIALES

Para el diseño y simulación




Software labview 2012 es un entorno de desarrollo de sistemas para ingenieros y científicos basada en un lenguaje gráfico (Instruments, Detalles del Lanzamiento NI LabVIEW 2012, 2016), además permite en nuestro proyecto a ubicar los instrumentos, como la bomba, sensor y proceder con su simulación.

El Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) es un software complementario para el entorno de programación LabVIEW. (King, n.d.). Es usado para desarrollar un sistema de monitoreo y control distribuidos que va desde docenas hasta decenas de miles de etiquetas (Instruments, 2016).

Para la construcción

El equipo construido a nivel de laboratorio consta de los siguientes materiales:

Tabla N°1. Materiales requeridos en la construcción del equipo

MATERIALES	FOTO
Una columna de lixiviación de 42 cm de altura de tubo PVC de 6 pul de diámetro, en donde se vierte el mineral en tratamiento	
Una columna de adsorción empleando carbón activado, de 25 cm de altura	
Una bomba y su respectivo motor para la recirculación de la solución al punto inicial del proceso	

Un control electrónico programable arduino que permite la repetición automática del proceso, hasta la obtención del metal purificado sobre la superficie del carbón activado.



Un sensor electrónico de nivel de líquido que mide el volumen en la bandeja.



Accesorios como: bandejas, llaves y uniones para el libre tránsito de la solución lixivante a través del equipo.



Fuente: Elaborado por el autor

Para la recolección de datos

Los instrumentos de laboratorio para ajustar la acidez del mineral a un pH de 7,0 con la finalidad de evitar la formación de cianidas que consumen en mayor grado el cianuro, que dejan sin efecto la disolución del oro son los siguientes:



Microscopio



**Bureta graduada
(1000ml)**

Figura N°1 Instrumentos de laboratorio para la recolección de datos



Balanza analítica



Balanza de platillo

Figura N°2 Instrumentos de laboratorio para la recolección de datos

Métodos de la investigación

En el presente estudio se ha empleado el uso del método empírico - experimental. Siguiendo estrictamente el método científico, ya que para la obtención de los resultados se utiliza la observación, el planteamiento de la hipótesis, la experimentación y luego se efectúa la comunicación de los resultados finales. (González, Yll, & Curiel, 2003).

Técnica de la investigación

La técnica fue realizar un cambio en el diseño inicial de la columna de adsorción para obtener mediante el uso de “carbón activado” el metal valioso (Paz, 2002). Tal como se realiza en las plantas de lixiviación a nivel industrial, valiéndonos de 02 tées de una tubería de PVC de 04 pulgadas de diámetro.

Método para el diseño y simulación

Se procede bajo la siguiente secuencia:
Formulación matemática

Las variables matemáticas que presenta en el equipo de lixiviación están representadas como entradas: el caudal (Q), el volumen (V) y (VR), asimismo como salida la altura (H) (Blas Valverde & Palomino Guevara, 2001).

Se determina el volumen de los recipientes en el simulador, en función a la superficie de su base circular de radio (r), además las variables VR1, VR2 y VR3 muestran el volumen relativo del recipiente según el tiempo y se comportan como acumuladores de la solución lixivante, de ese modo el modelo que relaciona la altura es:

$$H_1 = \frac{VR_1}{250\pi 0.3^2} ; H_2 = \frac{VR_2}{600} ; H_3 = \frac{VR_3}{250\pi 0.8^2}$$

de comportamiento lineal.

La relación matemática que simular las válvulas de carga y descarga son:

$$VR_3 = V_3 + (Q_3 - Q_2) * t$$

$$VR_1 = V_1 + (Q_3 - Q_1) * t$$

$$VR_2 = V_2 + (Q_1 - Q_2) * t$$

apreciando su influencia directa en el volumen de los recipientes, Asimismo se considera la variable tiempo (t) para trabajar en función del volumen.

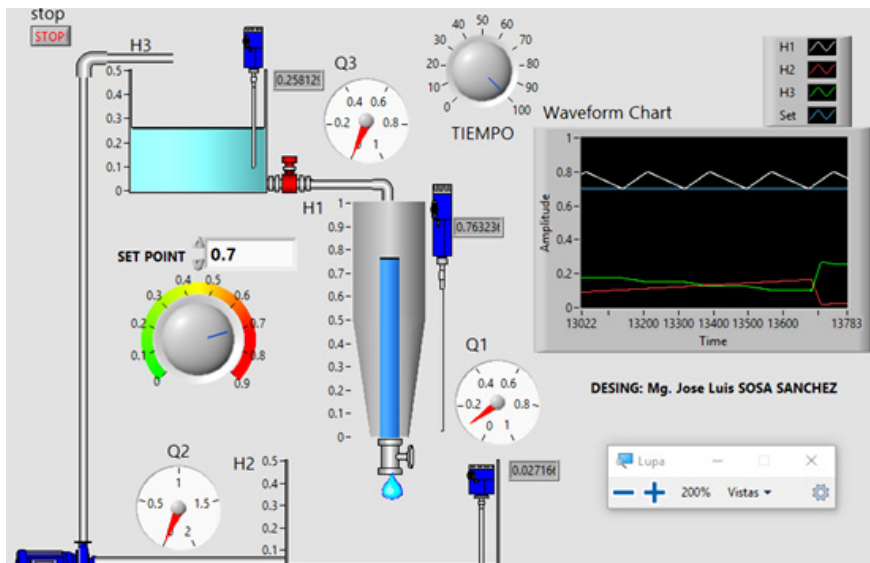


Figura N°3 Panel frontal NI LABView

Lógica del proceso

El proceso de la columna de lixiviación del equipo mantiene la solución lixiviante al nivel deseado (setpoint) cubriendo en su totalidad el mineral, descrito en porcentaje (%) de volumen que es medido por el sensor H1, además la válvula Q1 controla una apertura constante de flujo a 0.1 l/s. y la válvula Q3 es el actuador en un lazo cerrado para alcanzar el (setpoint).

La secuencia de carga y descarga de los reservorios se maneja mediante la condicional.

Si, $H_3 \leq 0.1m$ entonces, apertura la válvula Q2 para que cargue el tanque superior a 0.5 l/s.

Si $H_2 \leq 0.02m$ entonces, cierro la válvula Q2 para que descargue el tanque inferior.

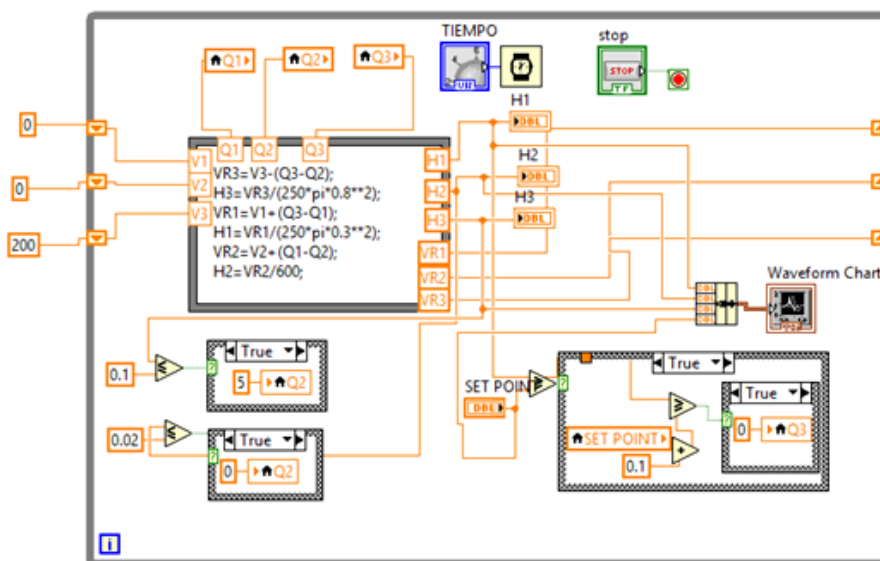


Figura N°4 Panel frontal NI LABView

RESULTADOS




El resultado del diseño y simulación del equipo de lixiviación en columnas llevados a cabo en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, lo cual siguen el siguiente procedimiento.

1. Asegurar las condiciones de neutralidad del mineral de oro cuya ley de cabeza es de 3,4 g/T

que en su gran mayoría contiene cuarzo proveniente del yacimiento de Huachón - Cerro de Pasco por espacio de 2 semanas, para ello se utiliza la cal, de pureza (87% de CaO).

Luego de muchas pruebas para conseguir 1000 ml. de agua a un pH de 7, se encuentra que un peso de 0,1503 g de cal hace que la cantidad de 1000 ml. de agua alcance el pH de 7.

Tabla N°2 Procedimiento para obtener una solución neutra

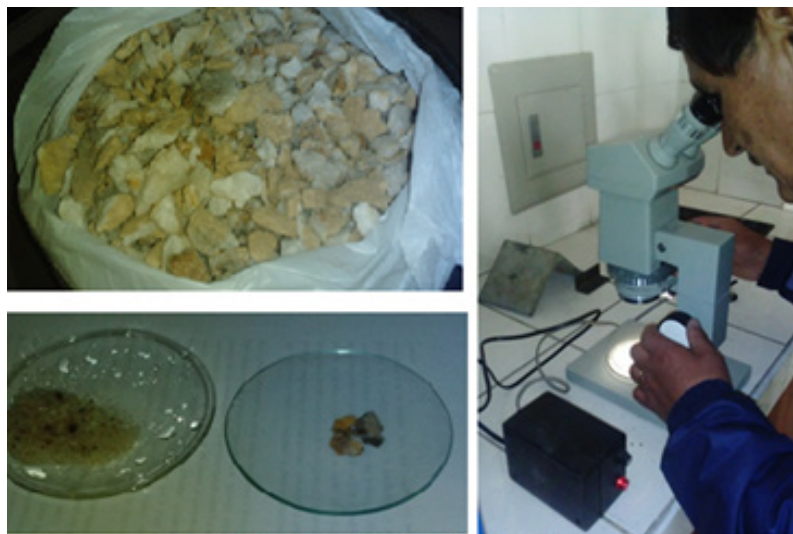
EVIDENCIA	DESCRIPCIÓN
	<p>Pesando la cal que será adicionado a la bureta.</p>
	<p>Tomando lectura del pH a 1000 ml. de agua, en donde previamente se adicionó la cal. Para esto se utilizó el papel de tomasol.</p>
	<p>Comparando el papel de tomasol mojado en la bureta y el patrón de colores estandarizado. Esta lectura por comparación arroja un pH = 12. Por lo que se requiere seguir probando con otro peso menor de cal, hasta conseguir el pH = 7.</p>

2. Luego de conseguir el carácter neutro del agua de neutralización del mineral, se procede a formar la “cama filtrante” en el interior de la columna de lixiviación, con lana de vidrio de 10 mm. de espesor y una capa de grava de ¼ pulgada encima de ella.



Figura N°5 Separando la grava de ¼” empleando el tamiz de esa abertura

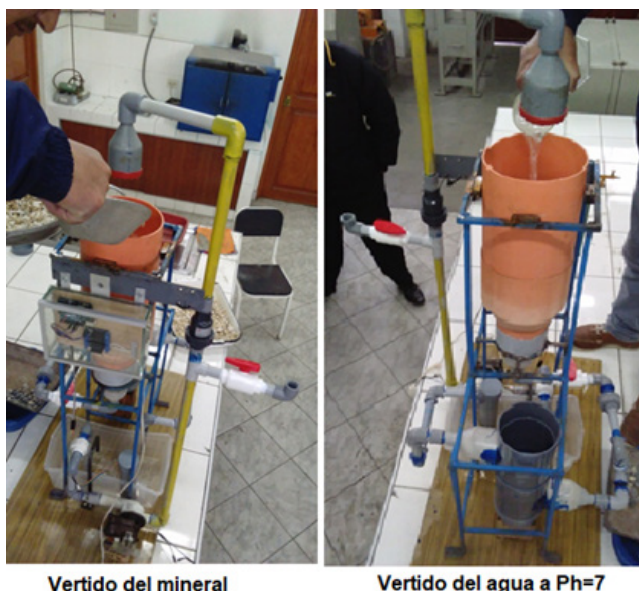
3. Seguidamente se verifica la mineralogía del mineral y para ello se lava y se extrae una muestra representativa para el análisis de mineragrafíco que se da por medio de un microscopio.



Análisis mineragrafia del mineral

Figura N°6 Separando la grava de ¼” empleando el tamiz de esa abertura

4. El mineral de oro analizado en cuanto a su mineralogía, es vertido al interior de la columna de lixiviación en donde permanecerá por espacio de 02 semanas tiempo que se requiere para que se produzca el curado por acción del agua a un pH de 10,5 el mismo que lo prepara para ser sometido a la lixiviación o disolución del oro que contiene por acción de una solución de cianuro de sodio, sin que se produzcan los cianicidas que consumen vanamente el cianuro y no logran el efecto disolvente sobre el oro.



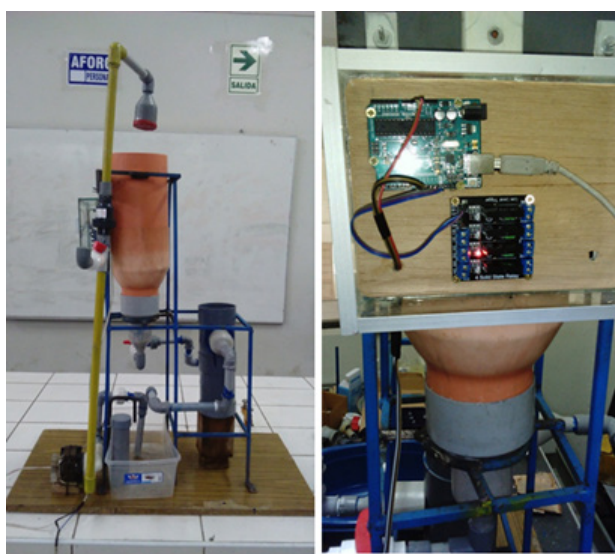
Vertido del mineral

Vertido del agua a Ph=7

Figura N°7 Carga del mineral a lixiviar

5. Lo que toca luego fue esperar 02 semanas para adicionar el cianuro de sodio al 1% y así iniciar el proceso de lixiviación en forma cíclica, la solución cargada de oro pasa al proceso de adsorción, dando como resultado una solución gastada que se deposita en la bandeja inferior, y cuando ésta se encuentra colmada o llena el recipiente, entonces se activa el motor que bombea esta solución gastada (pero con el cianuro de sodio presente) a la parte superior de la columna de lixiviación, de este modo se da inicio a otro ciclo de todo el proceso descrito, y así sucesivamente hasta encontrar el mineral de oro sobre los trozos del carbón activado contenidos en la columna de adsorción.

Para lo cual se procede a comprobar el funcionamiento correcto de todo el equipo y en especial el funcionamiento de los sensores electrónicos que conforman el dispositivo de automatización.



Equipo en funcionamiento

Operación modo automático

Figura N°8 Operación del equipo

DISCUSIÓN

La realización de prácticas de lixiviación en columnas, por parte de los estudiantes del curso de Hidrometalurgia y otros relacionados, potenciará la formación competente de nuestros egresados, así como su desempeño profesional en el campo de la hidrometalurgia.

El equipo de lixiviación en columnas a nivel de investigación es sostenible porque permite realizar cálculos de variables al programar el controlador el rango de apertura de la válvula de (0-0,5 l/s) y la lectura del sensor de nivel (0-100%) para su funcionamiento automático, lo que conlleva a ajustar el proceso a las propiedades más significativas del mineral como: ley de cabeza y la cantidad de la solución lixivante.

El equipo de lixiviación permite diseñar nuevos algoritmos o procedimientos metalúrgicos que tendrán como finalidad la mejora en la recuperación de minerales por este método, ya que cuenta con el soporte de un programa computacional que tiene la capacidad de simular el proceso de forma dinámica.

$$dX/dt=f((X,U,P,V,C,t)) ; X_{tb}=X_b$$

Donde:

X_t : Es un vector n-dimensional de variables de estado.

U_t : Es un vector m-dimensional de variables de entrada.

P_t : Es un vector o-dimensional de perturbaciones.

V_t : Es un vector p-dimensional de variables propias del sistema.

C : Es un vector q-dimensional de constantes del sistema.

t : Es el tiempo.

X_b : Es el estado inicial que se considera fijo.

t_b : Es el tiempo de inicio.

CONCLUSIONES

El equipo de lixiviación en columnas, está operativo y preparado para que los alumnos del curso de hidrometalurgia y demás afines, puedan efectuar sus prácticas en el laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Se concluye que para el incremento de la producción a 10 kg/proceso batch se requiere:

Instalar una columna de lixiviación de iguales dimensiones paralela a la que se tiene instalado.

Las dos columnas de lixiviación deben ser transparentes con la finalidad de visualizar el nivel de la solución en la etapa de desorción.

Se requiere contar la disponibilidad de minerales que contengan los elementos: Cobre, Plata, Oro, Hierro, y Plomo y equipos de mayor precisión de análisis químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blas Valverde, E. E., & Palomino Guevara, J. E. (2001). Estudio Técnico - Económico para la instalación de una planta de producción de óxidos de cobre. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Instruments, N. (2016). Detalles del Lanzamiento NI LabVIEW 2012. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/release-archive/2012/esa/>

Instruments, N. (2016). Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/shop/select/labview-datalogging-and-supervisory-control-module>

González, R., Yll, M., & Curiel, L. (2003). Metodología de la Investigación Científica para las Ciencias Técnicas. Retrieved from http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/bmn/metodologia_de_la_investigacion.disenio_teorico_y_formulacion_proyecto_investigacion.pdf

King, R. (n.d.). Mobile Robotics Experiments with DaNI. Retrieved from http://download.ni.com/pub/gdc/epd/mobile_robotics_experiments.pdf

Paz, J. (2002). “Estudio de la implementación de adsorción en carbón en pulpa como complemento de la planta de cianuración marañón para la Compañía Minera Poderosa S.A. (Informe Universidad Nacional de Ingeniería). Retrieved from http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/12049/1/paz_rj.pdf