Volume 21 Issue 58
Originally issued as H9



Global Journal of human-social science: H
Interdisciplinary
Volume 21 Issue 9 Version 1.0 Year 2021
Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal
Publisher: Global Journals
Online ISSN: 2249-460x & Print ISSN: 0975-587X

Computational Simulation of the Treatment of Remediation of Metallurgical Effluents to Reducing the Concentration of Copper

By Silvana L. Flores Chávez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Abstract- The study shows the computational simulation of the treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals for reducing the concentration of copper ion through the systematization of the influence of each of the variables involved in the referred Treatment, being the operation variables, the independent variables such as: initial concentration of copper dissolved in metallurgical effluent, particle size, temperature, solid-liquid ratio, remediation speed (RPM) and remediation time; and the dependent operation variable will be the final concentration of dissolved copper in effluents; in that sense, this Computational Simulation; the representation of the Systematization of the operation variables from the treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals, a "Mathematic Model of Computational Simulation from treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals" which has a discrete and rigurous character and is the result from the influence for each operation variables from the treatment of remediation of metallurgical effluents with high copper load whose equation is: $\text{Ln } \boldsymbol{\alpha} = K\,t$.

Keywords: computational simulation, remediation of metallurgical effluents, cupriferous minerals, water quality standard environmental, class III and IV and supreme decrete 010-2010-MINAM.

GJHSS-H Classification: FOR Code: 091499



Strictly as per the compliance and regulations of:



© 2021. Silvana L. Flores Chávez. This research/review article is distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0). You must give appropriate credit to authors and reference this article if parts of the article are reproduced in any manner. Applicable licensing terms are at https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/.

Computational Simulation of the Treatment of Remediation of Metallurgical Effluents to Reducing the Concentration of Copper

Simulacion Computacional Del Tratamiento De Remediación De Efluentes Metalurgicos Para Reducir La Concentración De Cobre

Silvana L. Flores Chávez

Resumen- El estudio muestra la simulación computacional del tratamiento de remediación de efluentes metalurgicos de minerales cupríferos para reducir la concentración de ión cobre mediante la sistematización de la influencia de la contribución de cada una de las variables que intervienen en el referido tratamiento, siendo las variables de operación, las variables independientes: concentración inicial de cobre disuelto en efluente metalúrgico, tamaño de partícula, temperatura, relación sólido-líquido, velocidad de remediación (RPM) y el tiempo de remediación; y la variable de operación dependiente, es la concentración final de cobre disuelto en efluentes; siendo la representación de la Sistematización de las variables de operación del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos de minerales cupríferos, un *"Modelo Matemático de Simulación Computacional del tratamiento de remediación de efluentes metalurgicos de minerales cupríferos"* de carácter discreto y riguroso, que es el producto del estudio de la influencia de cada una de las variables de operación del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con alta carga metálica de cobre, cuya ecuación será: Ln α = K t.

Palabras Clave: modelo matemático, simulación computacional, tratamiento, remediación de efluentes metalurgicos, minerales de cobre, ECA AGUA- Categoría III y D.S. 010-2010-MINAM.

Abstract- The study shows the computational simulation of the treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals for reducing the concentration of copper ion through the systematization of the influence of each of the variables involved in the referred Treatment, being the operation variables, the independent variables such as: initial concentration of copper dissolved in metallurgical effluent, particle size, temperature, solid-liquid ratio, remediation speed (RPM) and remediation time; and the dependent operation variable will be the final concentration of dissolved copper in effluents; in that sense, this Computational Simulation; the representation of the Systematization of the operation variables from the treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals, a *"Mathematic Model of Computational Simulation from treatment of remediation of metallurgical effluents from cupriferous minerals"* which has a discrete and rigurous character and is the result from the influence for each operation variables from the treatment of remediation of metallurgical effluents with high copper load whose equation is: Ln α = K t.

Keywords: computational simulation, remediation of metallurgical effluents, cupriferous minerals, water quality standard environmental, class III and IV and supreme decrete 010-2010-MINAM.

Author: Estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Peru.
e-mail: silvana.flores1@unmsm.edu.pe

I. Introduccion

Los antecedentes del estudio se vinculan con la problemática a la que se le entregará solución ténica mediante la simulación computacional de la remediación de los efluentes metalúrgicos para reducir la concentración de metal pesado cobre; y asimismo, se considerará los estudios técnicos previos al desarrollo del proyecto donde la problemática de la contaminación global es la generación de acidez en suelos y cuerpo de agua impactados por la industria minera en todos los países.

En el caso del Peru, la problemática se evidencia ne la existencia de más de 8550 "Pasivos Ambientales Mineros" (PAMs): efluentes y relaves metalúrgicos que se encuentran impactando negativamente a 20 regiones del país, ocasionando de esta manera, la contaminación de las Áreas de Influencia del Proyecto de las comunidades aledañas a las operaciones mineras, produciendo la contaminación de cuerpos de agua y suelos que impactan en la calidad de vida del poblador de la comunidad minera; siendo las principales fuentes de contaminación los efluentes metalúrgicos provenientes de operaciones de beneficio metalúrgico del proceso de flotación de minerales sulfurados de cobre y de lixiviación de minerales oxidados de cobre que poseen alta carga metálica tal como: las concentraciones de cobre superiores al de los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes Líquidos y que son sometidos a las regulaciones ambientales establecidas por el D.S. N° 010-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y el establecimiento de sus Disposiciones Complementarias según el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, la cual es una norma

© 2021 Global Journals

tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009- MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo; puesto que esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos. Es por ello, que éste tipo de efluentes metalúrgicos provenientes de operaciones de beneficio metalúrgico del proceso de Flotación de minerales sulfurados de cobre y de Lixiviación de minerales oxidados de cobre son sometidos a diversos "Tratamientos de descontaminación de efluentes metalúrgicos" con el objeto de remover y/o eliminar la carga metálica de metales pesados disueltos en los efluentes metalúrgicos; específicamente el cobre que son enviados a presas de relave, que una vez dispuesto el relave en la presa de relave se sedimenta y el efluente líquido filtra y se vierte de manera directa a ríos y lagunas, lo cual ya ocasiona una contaminación ambiental.

Es por ello, importante, desarrollar tratamientos de remediación de efluentes metalúrgicos para reducir la concentración de metales pesados tales como el iòn disuelto de cobre proveniente de los Procesos Metalúrgicos de la Flotación de Minerales y de la Hidrometalurgia; el cual constituye una alternativa de solución para reducir la carga metálica de cobre según ECA AGUA-Categoría III y D.S. 010-2010-MINAM; lo cual se medirá a través del indicador de la eficiencia de reducción al igual que los Tratamientos de Remediación de efluentes metalúrgicos que existen en la actualidad.

Es en ese sentido, los Estudios Técnicos Previos del estudio se vinculan con la informacion del Fundamento Teórico con dos temáticas: tratamiento de descontaminación de efluentes según normativa ambiental (D.S. 010-2010-MINAM y ECA AGUA); así como la temática de simulación y modelamiento matemático como base para generar una simulación computacional para la reducción de concentración de contaminantes de cobre. Estudios Técnicos previos del tratamiento de descontaminación de efluentes metalúrgicos.

En el Perú, se han desarrollado tecnologías de descontaminación y/o remediación de los efluentes metalúrgicos provenientes de la actividad minero-metalúrgica.

II. Métodos y Materiales

La Metodología del Proyecto de Investigación comprende las etapas: trabajo en Gabinete y el Trabajo en Laboratorio, puesto que cada una de las actividades están vinculadas con el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos de lixiviación ácida y flotación de minerales sulfurados polimetálicos para lograr la reducción de la concentración de cobre disuelto en dichos efluentes metalúrgicos utilizando la Metodología de los Trabajos Técnicos previos de la *"Simulacion Computacional de la remediación de efluentes metalurgicos de lixiviación y flotación de minerales sulfurados polimetálicos para reducir la concentración de metal pesado de cobre"*.

a) Trabajo en Gabinete

El Trabajo en Gabinete involucra el estado del arte vinculadas con las tecnologías limpias de tratamientos de descontaminación de efluentes metalúrgicos. Cabe resaltar, que se empleó información técnica del libro titulado: "Contaminación del medio ambiente por efluentes mineros y metalúrgicos y sus tratamientos de detoxificación con agentes detoxificantes"

b) Trabajo en Laboratorio

El trabajo en laboratorio involucra el trabajo en laboratorio metalúrgico y químico; y asimismo, se realizo y a nivel de laboratorio de ingenieria de sistemas, que a continuación se detalla:

i. *Trabajo en Laboratorio Metalúrgico y Químico*

El trabajo desarrollado en el laboratorio metalúrgico y químico es principalmente la metodología experimental que comprende las etapas de generación de efluentes metalúrgicos con alto contenido de cobre provenientes de procesos metalúrgicos de lixiviación ácida y la Flotación; para posteriormente, ser sometidos al tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos mediante el empleo de agentes remediantes que reducen la concentración del ión cobre y finalmente, someter a una sistematización de las variables que intervienen en el tratamiento de remediación con agente remediante con el propósito de determinar la viabilidad técnica del nuevo tratamiento.

Equipos

- Balanza.
- Celda de Flotación Denver.
- Horno de Tostación.

Materiales

- Mineral Sulfurado de Cobre: Calcopirita.
- Efluente Metalúrgico de Lixiviación y Flotación.
- Espátula
- Papel de Filtro

a. *Actividades Experimentales de la generación del efluente metalúrgico proveniente de lixiviación de sulfato de cobre y efluentes metalúrgicos de flotación en Laboratorio Metalúrgico y Químico.*

Comprende las siguientes actividades según la metodología experimental:

© 2021 Global Journals

b. *Actividades Experimentales de la generación del efluente metalúrgico proveniente de lixiviación de sulfato de cobre en Laboratorio Metalúrgico y Químico*

Se realizan las siguientes actividades:

- Preparación Mecánica de Calcopirita: Chancado Primario y Molienda.
- Análisis Granulométrico de Mineral de Calcopirita: Malla +200.
- Tostación de Pellets de Calcopirita a la temperatura: 500°C, 650°C y 800°C.
- Lixiviación Ácida de Pellets Tostados de Calcopirita para la generación de solución de efluente metalúrgico de sulfato de cobre.
- Preparación Mecánica de agente remediante: Chancado Primario y Molienda.
- Análisis Granulométrico del agente remediante: Malla +325.
- Temperatura de síntesis del agente remediante.

Para mayor detalle ver Figura 1.

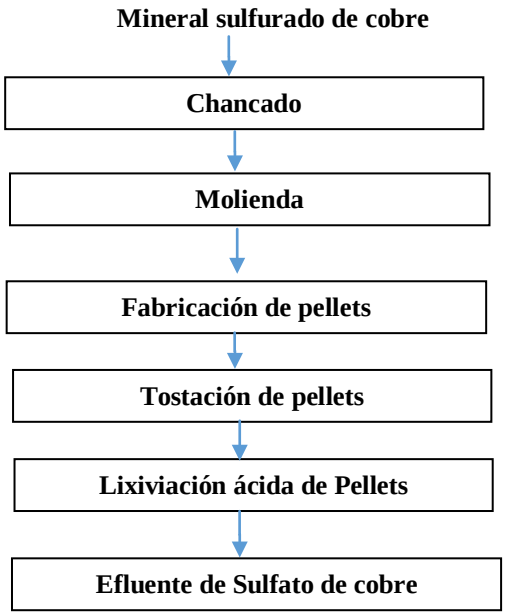

Figura 1: Diagrama de Flujo de proceso de generación de efluente metalúrgico de lixiviación de mineral tostado de calcopirita para la obtención de la solución de sulfato de cobre

c. *Actividades Experimentales en Laboratorio Metalúrgico, Químico de la generación del efluente metalúrgico proveniente de planta de flotación.*

El efluente metalúrgico fue empleado de manera directa de una planta de flotación de minerales sulfurados polimetálicos; es por ello, que el efluente se empleo de manera directa para ser sometido al tratamiento de remediación con el empleo de agente remediante.

ii. *Actividades Experimentales del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos proveniente de lixiviación de sulfato de cobre y efluentes metalúrgicos de flotación en Laboratorio Metalúrgico.*

La implementación de la metodología Experimental comprende la ejecución de las pruebas experimentales del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos de lixiviación de sulfato de cobre y los efluentes de flotación provenientes de planta metalúrgica, lo que comprende las actividades experimentales de síntesis del agente remediante previo a la etapa del tratamiento de remediación del efluente metalúrgico y el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos propiamente dicho, y cuyas actividades a continuación se detalla:

a. *Actividades Experimentales de síntesis del agente remediante.*

Implementa actividades experimentales de síntesis del agente remediante previo a la etapa del tratamiento de remediación del efluente metalúrgico y el tratamiento de remediación del efluente metalúrgico de lixiviación de sulfato de cobre y efluente de flotación, que a continuación se detalla:

b. *Preparación del agente remediante.*

Involucra el estudio de los parámetros y variables de operación que intervienen en el estudio de la "Simulacion Computacional de la remediación de efluentes metalurgicos de lixiviación y flotación de minerales sulfurados polimetálicos para reducir la concentración de metal pesado de cobre"

© 2021 Global Journals

A continuación, se detalla los siguientes parámetros y variables; entre los que destacan:

- Parámetros:
  - Condición de Empleo del agente remediante
  - Tiempo de síntesis del agente remediante
- Variables:
  - Concentración inicial de cobre en el efluente metalúrgico.
  - Tamaño de partícula del agente remediante.
  - Temperatura de síntesis del agente remediante.

c. *Actividades Experimentales del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos proveniente de lixiviación de sulfato de cobre y efluentes metalúrgicos de flotación en Laboratorio Metalúrgico propiamente dicho.*

d. *Actividades Experimentales del tratamiento de remediación del efluente metalúrgico de lixiviación de sulfato de cobre en Laboratorio químico.*

Se realizan las siguientes actividades:

- Análisis Químico de solución del efluente metalúrgico de lixiviación.
- Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos de lixiviación con agentes remediantes.

d. *Actividades Experimentales de remediación de Efluente metalúrgico de flotación de minerales en el laboratorio químico.*

Involucra las siguientes actividades:

- Filtración del Efluente Metalúrgico de Flotación.
- Análisis Químico ICP inicial del Efluente Metalúrgico de Flotación.
- Tratamiento de Remediación de Efluente de Flotación mediante el empleo del agente remediante

c) *Trabajo en Laboratorio de Sistemas del Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos proveniente de lixiviación sulfato de cobre y efluentes metalúrgicos de flotación basados en la cinética de reducción de la concentración de ión cobre con agentes remediantes.*

El trabajo involucra el desarrollo experimental del método de Sistematización de la influencia de cada una de las contribuciones de las variables independientes de operación que intervienen en el Tratamiento de remediación de cobre.

A continuación, se detalla el tratamiento de la remediación de efluentes metalúrgicos basados en la Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes

i. *Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos de lixiviación de sulfato de cobre basados en la Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes*

- Condiciones de la Prueba:
  - Peso de agente remediante: 2 gr
  - Tiempo de Molienda: 30 minutos
  - Malla: - 325
  - Temperatura de calcinación: 700°C
  - RPM: 525
  - pH Inicial de la Solución de Lixiviación: 3
  - Volumen de Solución Lixiviante: 100 ml de Solución Lixiviante
  - Porcentaje de reducción de ión cobre: 94.85%

Tabla 1: Cinética de reducción de la concentración de cobre en efluentes metalúrgicos de lixiviación de sulfato de cobre con agentes remediantes tratados

Reducción De Concentración De Cobre		
PESO DE AGENTE REMEDIANTE (gr)	TIEMPO DE REMEDIACIÓN (minutos)	CONCENTRACIÓN DE COBRE (gr/Lt)
2	0	1.185
	15	0.207
	20	0.191
	30	0.061

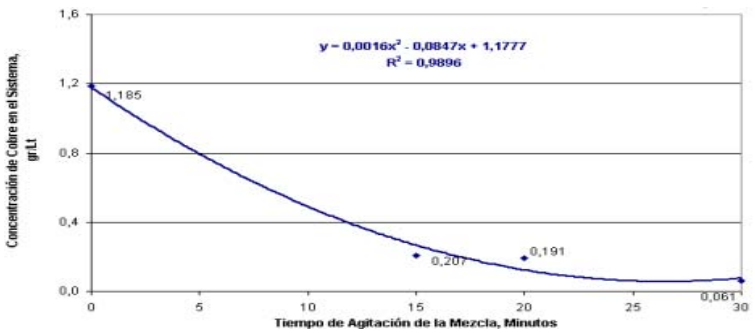

Figura 2: Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes tratados

© 2021 Global Journals

ii. *Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos de flotación basados en la Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes tratados*

- Condiciones de la Prueba:
  - Peso de agente remediante: 2 gr
  - Tiempo de Molienda: 30 minutos
  - Malla: +325
  - RPM: 525
  - Volumen de Solución Lixiviante: 100 ml de Efluente de Planta UNI
  - pH Inicial de efluente: 3
  - pH Final de efluente: 14
  - Porcentaje de Reducción de Cobre: 94.47%

Tabla 3: Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes tratados

REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE COBRE		
PESO DE AGENTE REMEDIANTE (gr)	TIEMPO DE REMEDIACIÓN (minutos)	CONCENTRACIÓN DE COBRE (gr/Lt)
2	0	0.561
	5	0.164
	10	0.031

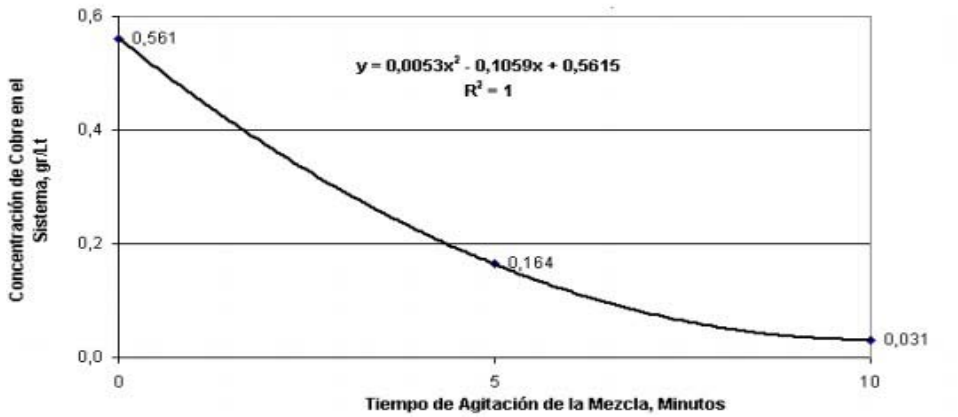

Figura 3: Cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes tratados

III. Resultados y Discusión

Cabe resaltar que la estrategia de investigación del estudio involucra que durante el diseño experimental se analizaron las condiciones óptimas de los parámetros, así como de las variables determinantes dependientes e independientes del tratamiento de remediación de efluentes de lixiviación ácida y efluentes de flotación para lograr la reducción de la concentración de iones cobre.

A continuación, se detalla cada uno de los parámetros y las variables de operación del tratamiento de remediación de efluentes de lixiviación ácida y efluentes de flotación

a) Parámetros

- Condición de Empleo del agente remediante
- Tiempo de síntesis del agente remediante
- Volumen de Efluente Metalúrgico: Flotación y Lixiviación.

b) Variables

- Concentración inicial de cobre en el efluente metalúrgico.
- Tamaño de partícula del agente remediante.
- Temperatura de síntesis del agente remediante.
- Relación sólido-líquido.
- Velocidad de Agitación de la Mezcla: RPM.
- Tiempo de agitación de la mezcla (Efluente Metalúrgico con agente remediante).
- Concentración final de cobre en el efluente proveniente de la lixiviación ácida y Flotación.

Asimismo, se realizó el análisis de las curvas de cinética de reducción de la concentración de cobre con agentes remediantes presente en el sistema (efluente metalúrgico), las cuales indican la reducción de la concentración de ión cobre disuelto inicialmente presente en el efluente metalúrgico hasta valores inferiores cercanos a los indicados por los Límites Máximos del D.S. N° 010-2010-MINAM (0.4 mg/L) y 2 mg/L para el ECA AGUA-Clase III.

© 2021 Global Journals

A partir, de lo cual, se deduce que el agente remediante es empleado de manera eficaz y eficiente para el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos de lixiviación ácida y flotación para reducir la concentración de metales pesados tales como: cobre A continuación, se detallan los resultados y la discusión de cada uno de los parámetros y variables que intervienen en la sistematización y que permitirá sus respectivas contribuciones que intervienen en el Tratamiento de remediación de cobre.

c) *Contribución de las variables de operación, modelo y simulación del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.*

La contribución de las variabes de operación tales como: concentración de ión cobre ($K_{(Cu+2)}$; relación sólido/líquido ($K_{(S/L)}$; tamaño de partícula de agente remediante $K_{(Tamaño\ de\ Partícula)}$; rpm $K_{(RPM)}$; temperatura de síntesis del agente remediante (K_T) y el tiempo de agitación de la mezcla durante el tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos de flotación y de lixiviación de minerales sulfurados y oxidados de cobre respectivamente.

Cabe resaltar, que el modelo matemático sistematiza la influencia de cada una de las variables que intervienen en el Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos mediante la Ecuación General que lo represente tal como:

$$\ln \alpha = K\, t$$

$$K = [K_{(Tamaño\ de\ Partícula)} * K_T * K_{(Cu+2)} * K_{(S/L)} * K_{(RPM)}] * t$$

$$\ln \alpha = K\, t \quad K = [K_t * K_{(Tamaño\ de\ Partícula)} * K_{(Cu+2)} * K_{(S/L)} * K_{(RPM)}] * t$$

i. *Discusión de Resultados de Pruebas Experimentales del tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.*

Considera el análisis de los Diagramas de Simulación de la influencia de las variables de operación que influyen en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos mediante el empleo del agente remediante.

a. *Diagramas de Simulación de la Influencia de las variables de operación que influyen en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos mediante el empleo del agente remediante.*

A continuación, se presentan cada uno de los diagramas de simulación de la influencia de las variables de operación tales como: tamaño de partícula, temperatura de síntesis del agente remediante, concentración de cobre, relación: sólido/líquido, RPM (velocidad de agitación de la mezcla).

b. *Diagrama de Simulación de Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos con agente remediante, teniendo en cuenta la contribución de la variable de operación del tamaño de partícula*

El Diagrama de Simulación de la Influencia de la variable de operación del tamaño de partícula del agente remediante en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos, permite que se realice la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se empleo destaca:

- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- RPM: 200
- S/L: 0.02
- $[Cu^{+2}]$: 1.5 gr/Lt
- Temperatura de síntesis de agente remediante: $400^{o}C$.
- Tamaño de Partícula: 15 μ, 20 μ, 25 μ, 30 μ, 40 μ, 60μ

Por lo tanto, la Variable de Operación sometido a evaluación será el Tamaño de Partícula del agente remediante; a partir del cual, se deduce, que, a menor tamaño de partícula, el tamaño de abertura de 15 μ, se presenta una mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con el agente remediante.

© 2021 Global Journals

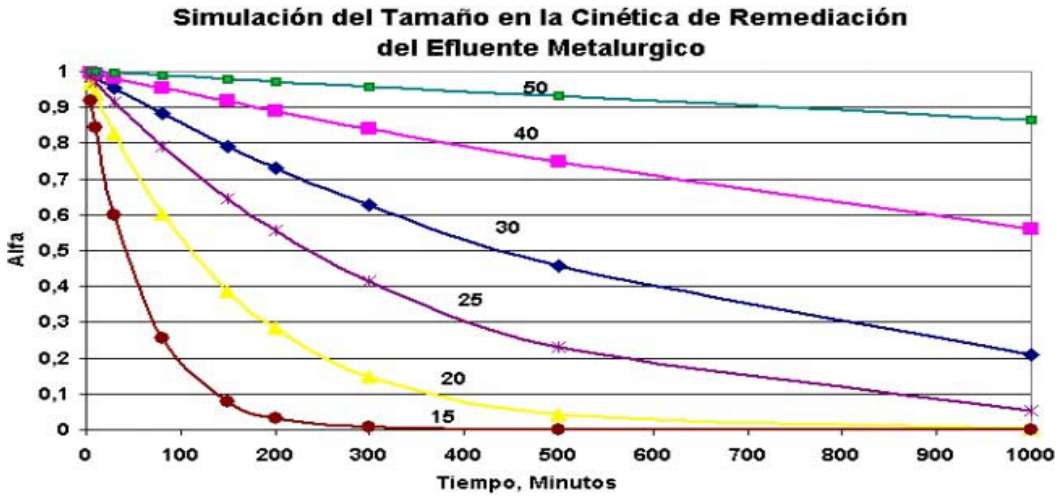

Figura 4: Diagrama de simulación de tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con el agente remediante teniendo en cuenta la contribución de la variable de operación del tamaño de partícula

c. *Diagramas de Simulación de la Influencia de la variable de operación de temperatura de síntesis del agente remediante en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.*

El Diagrama de Simulación de la Influencia de la variable de operación de la temperatura de síntesis del agente remediante en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos, lo cual permite que se realice la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

En la Figura 6, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 54 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0.02
- $[Cu^{+2}]$: 0,7 gr/Lt.
- RPM: 525
- Temperatura de síntesis del agente remediante: 400°C, 600°C, 800°C,1000°C, 1200°C

Por lo tanto, la Variable de Operación sometido a evaluación será la temperatura de síntesis del agente remediante; a partir del cual, se deduce, que, a menor temperatura de síntesis, se presenta una mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con el agente remediante.

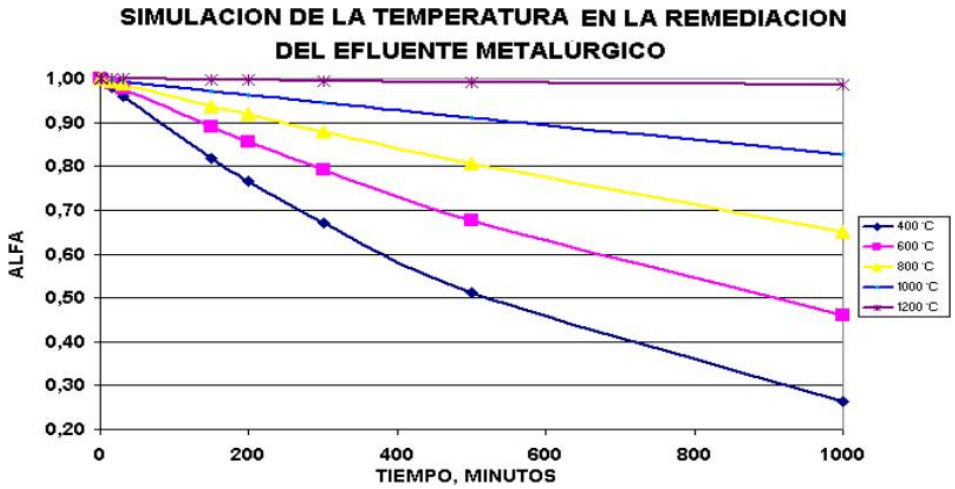

Figura 5: Diagrama de Simulación de Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con agente remediante teniendo en cuenta la contribución de la variable de operación de la temperatura de síntesis del agente remediante

© 2021 Global Journals

d. Diagramas de Simulación de la influencia de la variable de operación de concentración de cobre disuelto presente en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.

El Diagrama de Simulación de la Influencia de la variable de operación de la concentración de cobre disuelto en el efluente, permite que se realice la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

En la Figura Nº 7, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0.04
- RPM: 525
- Temperatura de síntesis del agente remediante: 700ºC

Siendo la Variable de Operación a evaluar, la Concentración de Cobre, es decir para evaluar la influencia de la variable de operación del [Cu^{+2}]; a partir de lo cual cuando la [Cu^{+2}] es igual a 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 gr/Lt, se deduce que cuando menor es la concentración de cobre, mayor será la cinética de remediación del efluente metalúrgico con el agente remediante

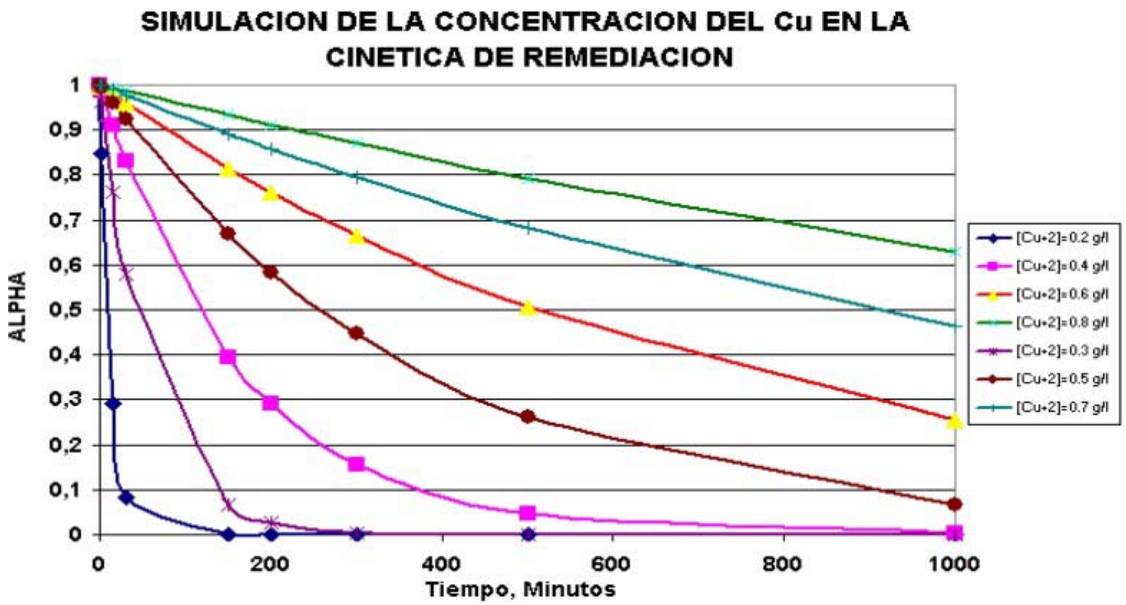

Figura 6: Diagrama de Simulación de tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con agente remediante teniendo en cuenta la contribución de la variable de operación a la concentración de cobre presente en el efluente metalúrgico

e. Diagramas de Simulación de la influencia de la variable de operación de relación Sólido/Líquido empleado en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.

El Diagrama de Simulación de la Influencia de la variable de operación de la concentración de relación Sólido/Líquido permite que se realice la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

En la Figura 8, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- [Cu^{+2}]: 0.7 gr/Lt.
- Temperatura de síntesis del agente remediante: 700ºC
- RPM: 50
- S/L: 0.01, 0.02, 0.03, 0.04

Siendo la Variable de Operación: la relación Sólido-Líquido, sometida a evaluación en el tratamiento

© 2021 Global Journals

de remediación de efluentes metalúrgicos, cuyos valores son iguales a 0.01, 0.02, 0.03, 0.04; a partir de lo cual se deduce que a menor valor de la proporción de la Relación Sólido/Líquido, se presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con el agente remediante.

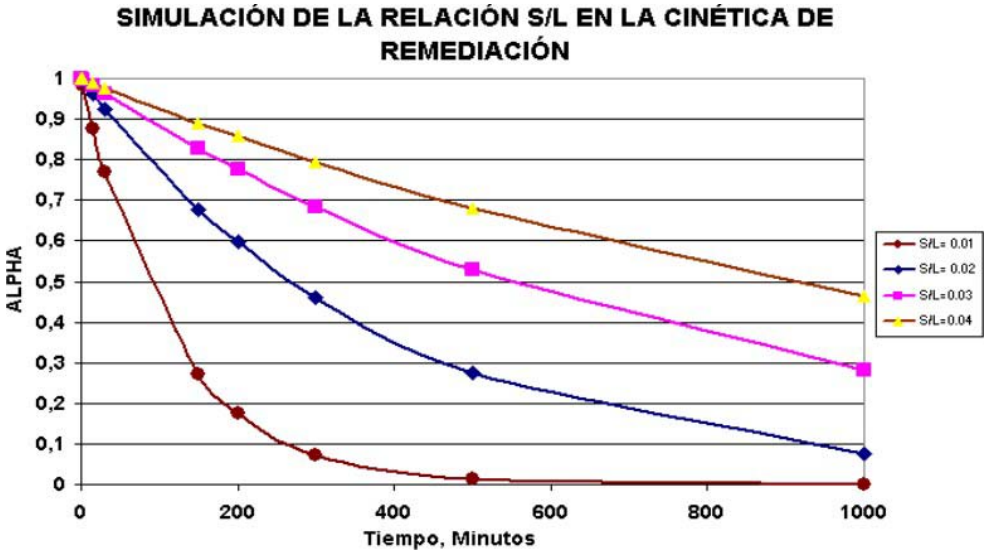

Figura 7: Diagrama de Simulación de tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con agente remediante teniendo en cuenta la contribución de la variable de operación de la relación sólido/líquido

f. Diagramas de Simulación de la influencia de la variable de operación de velocidad de agitación de la mezcla (RPM) empleado en el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos.

El Diagrama de Simulación de la Influencia de la variable de operación de la concentración de relación Sólido/Líquido permite que se realice la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

En la Figura 10, se empleo la Simulación de los Datos Experimentales de las Variables de Operación que intervienen en el Cinética Química del Tratamiento de Remediación de Efluentes Metalúrgicos de Flotación de Minerales Sulfurados de Cobre y la Lixiviación de Minerales Oxidados de Cobre.

Cabe resaltar que las Variables de Operación que se emplearon tenemos:

- Tamaño de Partícula: 70 μ
- Tiempo de Agitación de la Mezcla: 0-1000 minutos
- S/L: 0.02
- $[Cu^{+2}]$: 0.7 gr/Lt.
- Temperatura de síntesis del agente remediante: 400°C
- RPM: 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600

Siendo la Variable de Operación para evaluar, la Velocidad de Agitación del agente remediante. Se observa que a menor velocidad de agitación de la mezcla (RPM), se presenta mayor cinética de remediación del efluente metalúrgico con el agente remediante.

IV. Conclusiones

- Los Tratamientos de Remediación de los efluentes metalúrgicos están basados en procesos activos que son de naturaleza química, donde el costo lo asume la empresa generadora de este tipo de impacto en el medio ambiente. Es por ello, que se hace necesario buscar una alternativa al Tratamiento de la acidez de efluentes metalúrgicos provenientes de Tratamientos de Flotación de Minerales Polimetálicos Sulfurados y Efluentes de Soluciones de Sulfato de Cobre provenientes de Tratamientos Hidrometalúrgicos de la Industria del Cobre, tanto si las instalaciones se encuentran en operación ó en abandono, mediante sistemas de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento.
- Las Pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de efluentes metalúrgicos se basaron en el fundamento de la cinética de reacción de primer orden de regresión polinómica, empleando el agente remediante natural y comercial sin tratar y tratados.
- El articulo permite la predicción de la reducción de la concentración de metales pesados, especialmente el cobre en tiempo real; específicamente, la reducción de la concentración de ión disuelto de cobre proviente de Procesos Metalúrgicos de la Flotación de Minerales y de la Hidrometalurgia.
- La Simulación Computacional de la remediación de efluentes metalurgicos de lixiviación y flotación

© 2021 Global Journals

de minerales sulfurados polimetálicos generados a escala de laboratorio y a nivel piloto para reducir la concentración de metal pesado de cobre permite sistematizar cada una de las contribuciones de las variables independientes de operación que influencian en la cinética de remediación del cobre tales como: concentración de ión cobre (**K(Cu^{+2});** relación sólido/líquido (**K(S/L)**; tamaño de partícula de agente remediante **K(Tamaño de Partícula)**; rpm **K(RPM)**; temperatura de descomposición térmica de agente remediante (**K T)** y el tiempo de agitación de la mezcla durante el tratamiento de remediación de los efluentes metalúrgicos de flotación y de lixiviación de minerales sulfurados y oxidados de cobre respectivamente.

- La Ecuación General que sistematiza la influencia de cada una de las variables de operación que intervienen en el Tratamiento de Remediación de los Efluentes Metalúrgicos de Flotación y de Lixiviación de Minerales Sulfurados y Oxidados de Cobre respectivamente, está dada por la siguiente ecuación General: **Ln α = K t.**
- Una forma de Sistematizar la influencia de cada una de las variables que intervienen en el Tratamiento de Remediación es a través de una Ecuación General que represente un Modelo Matemático, el cual será:

$$K = [K_{(\text{Tamaño de Partícula})} * K\,T * K\,(Cu^{+2}) * K_{(S/L)} * K_{(RPM)}]$$

$$\text{Ln}\,\alpha = 19.53358078 * (d)^{-3,4465} * (RPM)^{-1,0116} * (S/L)^{-1,7549} * (Cu^{+2})^{-3,7345} *$$

$$[8.154997255 - (\underline{12178,28697})] * t$$
$$(T+273.1)$$

Donde:

K_T: Constante de Remediación General;

$K_T = 4 \times 10\text{-}28\ (T)^{8,9136}$

$K_{tamaño}$: Constante de Tamaño de partícula de agente remediante

$K_{Tamaño} = 41536\ X^{-3.4465}$

K (Cu^{+2}) : Constante de Concentración de ión Cobre presente en el efluente metalúrgico a tratar;

K (Cu^{+2}) = 0,9923 (Cu^{+2}) $^{-3,7345}$

K (S/L): Constante de relación Sólido-Líquido empleado en el tratamiento de remediación;

K (S/L) = $1x10^{-5}$ $(S/L)^{-1.7549}$

K (RPM): Constante de Velocidad de Agitación de la mezcla, revoluciones por minuto. K RPM = 47.393 $(RPM)^{-1.0116}$

- Se ha considerado que el proyecto garantiza la sostenibilidad dado que posee dimensiones de innovación tecnológica, ambiental, económica y social.

Referencias Bibliograficas

1. Flores Ch. S. (2014). Tratamiento Integral de remediación de efluentes minero- metalúrgicos a través del proceso de obtención de la dolomita como agente remediante. Trabajo Técnico publicado en las memorias del "III Encuentro de Investigadores Ambientales" desarrollado del 13 al 15 de agosto de 2014 en la ciudad de Piura. Organizado por la Dirección General de Investigación e Información Ambiental del Ministerio del Ambiente
2. Flores, S. (2014). Tecnología Limpia para tratar los efluentes mineros–metalúrgicos. Publicado en la Conferencia de las Partes de Cambio Climático de las Naciones Unidas- LIMA COP 20.
3. Flores Ch. S. (2015). Contaminación del medio ambiente por efluentes mineros y metalúrgicos y sus tratamientos de detoxificación con agentes detoxificantes. Libro, pp. 133, Primera Edición, Lima-Perú.
4. Flores Ch. S. (2017). Informe Final de Desarrollo y "Desarrollo y Validación de una Tecnología Limpia para el Tratamiento Integral de Neutralización de

© 2021 Global Journals

Efluentes y Relaves Metalúrgicos Basados en el empleo de Agentes Calcáreos". Proyecto Financiado por el Programa: Innóvate Perú, GREEN METALLURGY TECHNOLOGIES S.R. Lima-Perú.

5. Flores, S. (2017). Desarrollo y Validación de una Tecnología Limpia para el Tratamiento Integral de Neutralización de efluentes y relaves metalúrgicos basados en el empleo de agentes calcáreos". Libro de Resúmenes Indexado del XXII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines-CONIMERA, Colegio de Ingenieros del Perú.
6. Flores, S. (2017). Tecnología Limpia para el Tratamiento Integral de Neutralización de efluentes y relaves metalúrgicos basados en el empleo de agentes calcáreos". Revista: "Ingeniería Nacional". Revista Oficial del Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Nacional, Edición 23-2017, Año 7.
7. Flores, S. (2017). Minireactor Hidrometalúrgico y Ecológico para el Tratamiento de beneficio de minerales polimetálicos para recuperar metales valiosos y para el tratamiento de detoxificación de relaves y efluentes minero-metalúrgicos derivados de dicho beneficio". Libro de Resúmenes Indexado del XXII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines-CONIMERA, Colegio de Ingenieros del Perú.
8. Guzmán E. (2014). Modelamiento de la dispersión de contaminantes pasivos en la bahía Ferrol–Chimbote. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Hidráulica con mención en Hidráulica Computacional de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos
9. Regalado A.; Peralta E.; Gonzáles C. (2008). Ensayos Cómo hacer un modelo matemático. Paper de Revista: Temas de Ciencia y Tecnología del Instituto de Ecología del Campus Puerto Ángel de la Universidad del Mar. Vol 12, N° 35, Mayo-agosto 2008.pp 9-18.

© 2021 Global Journals