



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo título es:

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN SOLUCIONES CIANURADAS EMPLEANDO RESINAS SELECCIONADAS

presentado por:

Franklin Yulian Osorio Moriano
Melanie Carolina Sydney Macotela Vilca

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **14.38%** otorgándosele el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.


Observaciones:

El Borrador de Tesis fue **APROBADO** con un **14.4%** de coincidencias.

Ica, **19 de Noviembre de 2020**



SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA



RAUL GERARDO AVILA MEZA
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA

“UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA”

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN
SOLUCIONES CIANURADAS EMPLEANDO RESINAS
SELECCIONADAS”**

**BORRADOR DE TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO QUIMICO**

AUTORES:

MACOTELA VILCA, MELANIE CAROLINA SYDNEY.

OSORIO MORIANO, FRANKLIN YULIAN.

ASESOR:

DR. FERNANDO CANO LEGUA

ICA – PERU

2019

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos este trabajo a Dios, por habernos permitido llegar a esta etapa cumbre de nuestra vida profesional y mostrarnos el camino para lograr nuestros objetivos, además de su amor y bondad infinita.

Asimismo, a nuestras madres, Beatriz Vilca Rojas y Rosa Moriano Mayhui, por darnos la vida, así como también su apoyo incondicional y creer en nosotros. Madres gracias por darnos una carrera profesional, este logro se lo debemos a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Le damos gracias a todas las personas e instituciones que han colaborado con el desarrollo de nuestro trabajo de investigación, especialmente a:

Nuestras madres, porque con su esfuerzo y comprensión hemos podido lograr nuestros anhelos profesionales.

También a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica y la Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica por la formación profesional y humanística que nos brindaron.

A nuestro asesor, Dr. Fernando Cano Legua por compartir sus conocimientos y mostrar todo el interés por lograr junto a nosotros este objetivo.

Finalmente, a todos nuestros familiares y amigos que nos dieron aliento en los buenos y malos momentos.

:

RESUMEN

El proceso de recuperación de oro en la industria minera del Perú representa un gran reto ya que se busca mejorar las tecnologías de manera que sean amigables y al mismo tiempo se optimicen las operaciones.

El estudio de investigación que se presenta en el trabajo consiste en el intercambio iónico para recuperar oro desde las soluciones cianuradas, asimismo se realizaron pruebas experimentales donde se emplearon 2 resinas que cuentan con características y propiedades similares las cuales nos ayudaron a observar el correcto fenómeno que implica mantener el contacto de las resinas con las soluciones cianuradas; además se demostraron los criterios de operación necesarios para que se llevaran a cabo los procesos de recuperación.

De acuerdo al diseño experimental se siguieron los procedimientos desde la transformación de la materia prima, tratamiento, acondicionamiento y análisis químico. La recuperación de oro con ayuda de las resinas fue altamente eficiente para ambos casos, sin embargo, una mostró mayor rendimiento que la otra por lo que la hace más adecuada para este proceso.

Finalmente se llegó a la conclusión de que esta innovación tecnológica en la industria minera es bastante positiva, aunque habría que realizar pruebas a nivel industrial y controlar parámetros diferentes, esto podría realizarse en trabajos futuros de investigación.

INDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

- 1.1. Situación problemática.
- 1.2. El problema de investigación.
 - 1.2.1. Problema general.
 - 1.2.2. Problemas específicos.
- 1.3. Hipótesis de investigación.
 - 1.3.1. Hipótesis general.
 - 1.3.2. Hipótesis secundarias.
- 1.4. Objetivos de la investigación.
 - 1.4.1. Objetivo general.
 - 1.4.2. Objetivos específicos.
- 1.5. Justificación e importancia de la investigación.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

- 2.1. Antecedentes.
 - 2.1.1. A nivel Internacional (3 citas).
 - 2.1.2. A nivel Nacional (3 citas).
- 2.2. Bases teóricas
 - 2.2.1. Cianuración
 - 2.2.2. Propiedades de las Resinas.
 - 2.2.3. Principios generales del intercambio iónico con resinas.
 - 2.2.4. Cinética de la reacción de intercambio iónico.
 - 2.2.5. Selectividad de las resinas.
 - 2.2.6. Resinas usadas en la recuperación de oro desde soluciones Cianuradas.
 - 2.2.7. Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico.

2.3. Marco conceptual.

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

- 3.1.** Tipo y nivel de investigación.
- 3.2.** Población y muestra de investigación.
- 3.3.** Variables e indicadores.
- 3.4.** Técnicas e instrumentos de recolección de investigación.
- 3.5.** Técnicas de procesamiento y análisis de resultados.
- 3.6.** Método de investigación.
 - 3.6.1.** Diseño del método de investigación.
 - 3.6.2.** Métodos y procedimientos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1.** Resultados.
- 4.2.** Análisis y discusión de resultados.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

FUENTES DE INFORMACION

ANEXO

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Matriz de operacionalización.

Anexo 3: Presupuesto.

Anexo 4: Cronograma de actividades

Anexo 5: Ficha de registro de datos

INTRODUCCION

Nuestro país posee una gran riqueza mineral, gracias a ello, hubo desarrollo en varias regiones desde los tiempos prehispánicos. Durante el período colonial, se extrajeron algunos minerales de oro y plata de alta ley, formando grandes ciudades. Desafortunadamente, estas reservas se han agotado, lo que ha llevado a la gente a buscar tecnologías para procesar minerales de baja ley. Tomando como ejemplo los metales preciosos, el proceso de cianuro comenzó a usarse alrededor de 1890, usando cianuro de sodio en un medio alcalino para disolver los valores de oro y plata en minerales de baja ley.

Más tarde, a fines de la década de 1970, se comenzó a aplicar el proceso de adsorción de carbono para diluir soluciones de cianuro alcalino. Por lo tanto, pocas personas prestan atención a la extracción por intercambio iónico como método alternativo de recuperación de oro.

Actualmente, los procesos biotecnológicos han llamado la atención de la comunidad, es tal así que consideramos las tecnologías para la extracción de oro en soluciones cianuradas mediante la utilización de resinas sólidas, altamente reticuladas y con iones intercambiables. Estas resinas suelen estar compuestas por granos de cristal, debido al efecto reticulado ya mencionado, tienen una gran superficie específica, y cuando entran en contacto con abundantes soluciones de lixiviación atrapan químicamente uno o más metales y liberan metales intercambiables. De iones. Así, se obtiene una resina cargada con un metal (o complejo metálico). Luego, se utiliza otra solución con propiedades físicas y químicas distintas a la lixiviación o efluente, y el metal atrapado se descarga a través de la solución y se regenera la capacidad de extracción de la resina.

CAPITULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

1.1. Situación problemática.

La característica de la minería en el Perú es la explotación y mejora de los minerales poli-metálicos destacando como principales materia metálica de exportación al oro, cobre, plata, zinc, plomo y estaño. La obtención, de los antes mencionados, permite que el Perú se ubique entre los principales productores mineros del mundo. En el Perú, se destaca el desarrollo de minas de oro a gran escala, debido a sus operaciones de amplia envergadura que se han beneficiado con la economía de escala, el costo unitario de producción unitario es menor y algunos subproductos son beneficios adicionales.

Esta actividad procesa principalmente minerales con leyes (en oro y plata). Por un lado, recuperan el mineral aurífero a través de concentradores cianurados procesando entre 100 y 200 TM/día. Para esta situación necesitan técnicas de extracción específicas, como la amalgama para recuperar oro libre, además se han propuesto e implementado otros procesos como la flotación (Salager & Forgiarini, 2007) y la lixiviación. Se produce una solución de cianuro o de oro clorado, pudiendo obtenerse diferentes rendimientos en cada caso. Si bien en la actualidad se emplea la lixiviación con cianuro de sodio, recuperar el oro de la solución cianurada, es cada día más difícil y costoso desde la perspectiva económica. Por lo tanto, se estudian nuevos métodos que permiten dicha recuperación de manera eficiente y menos costosa, por eso en nuestro caso buscaremos cuales son las resinas más adecuadas para la recuperación de oro en soluciones cianuradas.

1.2. Problema de la investigación.

1.2.1. Problema general.

- ¿Cuáles son los criterios para evaluar el proceso de recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cuáles serán las resinas seleccionadas más adecuadas para evaluar el proceso de recuperación de oro en soluciones cianuradas?
- ¿Cuáles es la cantidad de captación de oro en el proceso de recuperación en soluciones cianuradas utilizando resinas seleccionadas?
- ¿Cuáles son las características del oro recuperado en soluciones cianuradas con el empleo de resinas seleccionadas?

1.3. Hipótesis de la investigación.

1.3.1. Hipótesis general.

- El empleo de las resinas seleccionadas para la recuperación de oro en soluciones cianuradas, requiere de una evaluación del proceso.

1.3.2 Hipótesis secundarias.

- Las resinas seleccionadas más adecuadas para realizar la recuperación de oro en soluciones cianuradas son diversas y dependerán de las características que se presenten.

- La capacidad de oro captado en soluciones cianuradas que tienen las resinas seleccionadas adecuadas para el proceso es alta.
- Las características del oro en soluciones cianuradas recuperado mediante el empleo de las resinas seleccionadas son de un producto de alta pureza.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General.

- Evaluar el proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Determinar qué tipos de resinas seleccionadas serán las más adecuadas para el proceso de recuperación de oro empleando resinas.
- Determinar la cantidad captada de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.
- Determinar las características del oro recuperado en soluciones cianuradas mediante el empleo de las resinas seleccionadas adecuadas para este proceso.

1.5. Justificación e importancia de la investigación.

La minería en su proceso de crecimiento tiene la necesidad de procesar mayores volúmenes de mineral y realizar extracciones cada vez más eficientes. No obstante, los métodos de purificación de oro también son contaminantes, como por ejemplo las emisiones de mercurio que ocasiona la calcinación de mineral, el mal manejo de los efluentes de la cianuración genera procesos de deforestación, erosión, deterioro de suelo y de efluentes.

En la técnica convencional de recuperación de oro a partir de soluciones cianuradas es utilizada comúnmente el carbón activado, esta técnica implica complejidad y alto costo de operación debido que en la etapa de desorción se realiza a temperaturas elevadas. En el proceso de recuperación de oro a partir de soluciones de cianuro, se ha reconocido el uso de carbón activado.

Sin embargo, las resinas de intercambio iónico tienen muchas ventajas sobre el carbón activado, como una carga superior, la regeneración de iones de cianuro para circular hacia el circuito de lixiviación y la eliminación periódica de la reactivación a alta temperatura, lo que significa mayores costos operativos.

Las ventajas mencionadas han motivado una mayor investigación sobre las resinas de débil base, base fuerte, quelantes y resinas adsorbentes para la recuperación de oro y plata, esto va a generar nuevas teorías sobre las resinas y su capacidad de captación en los minerales.

El presente estudio se justifica desde el punto de vista práctico, porque permitirá el tratamiento correcto de los minerales de acuerdo con la concentración de oro que posee, empleando para ello las resinas catiónicas, las cuales resultan ser más específicas y de mayor eficiencia en este proceso. Desde el punto de vista técnico nos da las posibilidades de desarrollar nuevas tecnologías que permitirán recuperar oro de manera más económica y eficiente.

El presente trabajo se justifica metodológicamente ya que, con la demostración y confiabilidad de los aportes a esta tecnología para la recuperación de oro en soluciones cianuradas con resinas catiónicas, se podrán utilizar en otros trabajos de investigación y en las plantas industriales competentes.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

A NIVEL INTERNACIONAL

- ❖ El artículo titulado: “Recuperación selectiva de metales en el tratamiento hidrometalurgico de minerales”.

Los estudios químicos de las muestras de minerales nos permiten establecer que metales son disueltos químicamente por un determinado reactivo, por lo que se pueden establecer métodos que permitan eliminarlos o recuperarlos a fin de que no interfieran en el proceso de extracción de otro metal y de esta manera dificultar el proceso. Las extracciones deben de realizarse primeramente a nivel experimental para fijar parámetros de trabajo. (Rodríguez, 2007).

- ❖ El artículo publicado en la revista Info Analitica titulado: “Carbón activado con mayor dureza y compósitos carbón activado resinas fenólicas o epóxicas para el tratamiento de minerales auríferos”.

En cuanto a la dureza del carbono producido, se determinó la influencia de las condiciones de carbonización. Pruebe el proceso de desgaste aumentando la dureza y la pérdida de carbono. Se producen compósitos carbón activado-resina fenólica o epóxica por impregnación y polimerización de las resinas en la superficie del carbón activado. Se obtiene carbón activado atricionado y compósitos con resinas fenólicas que tienen 99 % de dureza y que adsorben el 100% del complejo cianurado de oro soluble en un proceso cianuración - carbón en pulpa (ciP) ensayado con un mineral sulfurado

aurífero (9 g/ton au, 19% pirita, 75% cuarzo) del yacimiento de Portovelo, Ecuador. (De la Torre Ch.,2013).

- ❖ El siguiente artículo de información tecnológica titulado: “Uso de Resina de Intercambio Aniónico para la Recuperación del Complejo Oro Tiosulfato desde Soluciones Acuosas”.

Se utilizó la resina AuRIX®100 para estudiar la adsorción de oro en medio de tiosulfato de amonio y se evaluaron algunas variables que afectan la cinética del proceso, como temperatura, velocidad de agitación, pH, concentración de tiosulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ y oro. . La investigación se llevó a cabo en un reactor discontinuo y una columna de intercambio iónico. Los resultados muestran que el aumento de $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ ayuda a adsorber el 99% del oro en tres horas. (Chaparro Miriam, Valenzuela Jesús, Parga José, 2012)

A NIVEL NACIONAL

- ❖ El estudio técnico titulado: “Análisis técnico-económico para implementar un sistema de resinas para recuperar oro en soluciones lixiviadas”.

Con este sistema implementado se reducen las pérdidas de oro en las soluciones procesadas y se incrementara la eficiencia de la planta. Además, los reactivos de desorción van a reducirse puesto que las resinas permitirán adsorbiendo oro por tiempos más prolongados, Laurente Rodríguez, Percy (2009).

- ❖ La tesis para optar al título de Ingeniero Metalúrgico en la universidad Nacional de Ingeniería, titulada: “Ingeniería básica para la recuperación de oro de soluciones cianuradas con resinas”, elaborado por Cueva Camayo Leder concluye luego de su investigación que es realmente viable utilizar las resinas y poder recuperar oro de soluciones cianuradas de baja ley y que al mismo tiempo podrían utilizarse a nivel industrial, además se establecieron criterios en los que las resinas funcionan adecuadamente.

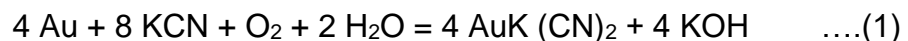
- ❖ La tesis para optar el título de Ingeniero Metalúrgico en la Universidad Nacional San Agustín, titulada: “Estudio de investigación para adsorción de oro usando el intercambio iónico en la empresa Consorcio Horizonte S.A.C” concluye lo siguiente.

Se puede deducir que se requiere una buena combinación de las variables de proceso, para manejar las resinas, como una alternativa tecnológica, eficiente y económica, donde se obtienen eficiencia del 99% de extracción para el oro. Layme Esquivel, Mario (2015)

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Cianuración.

El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa disolvente preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral. La reacción enunciada (J.Eschler 1946), es la siguiente:



El proceso químico involucrado en la disolución del oro y la plata en el proceso de cianuración de la batería es el mismo que el proceso químico que se aplica mediante agitación durante el proceso de cianuración

Al inyectar aire directamente en el tanque de disolución en la parte superior de la torre, mediante riego en forma de agua de lluvia y bombeando la disolución circulante, se introduce en la disolución de cianuro el oxígeno necesario para la disolución del oro y la plata. La velocidad de disolución de los metales preciosos en la solución de cianuro depende de la superficie del metal en contacto con la fase líquida, lo que hace que el proceso de disolución sea un proceso heterogéneo; la velocidad de disolución también depende de la velocidad de agitación, lo que indica que el proceso está bajo la presión de un fenómeno físico.

Otros factores que influyen en la velocidad de disolución son las siguientes:

- a) **Tamaño de la partícula.** – Cuando hay oro grueso libre en el mineral, es una práctica común capturarlo antes de la cianuración porque es posible que las partículas gruesas no se disuelvan durante el procesamiento. En condiciones consideradas ideales en términos de aireación y agitación, Barsky descubrió que la velocidad mínima de disolución del oro era de 3,25 mg / cm² / hora.

- b) **Oxígeno.** - Es un elemento importante para disolver el oro y la plata (aireación de la pulpa). La atmósfera es la fuente de oxígeno que se utiliza en el proceso de cianuración

- c) **Concentración de la solución de cianuro.** - De solución diluida a solución concentrada, aumenta la solubilidad del oro en solución CN.

Cuando es inferior al 0,005% de NaCN, la solubilidad es muy baja; cuando contiene 0,01% de NaCN, la solubilidad aumentará rápidamente y luego lentamente; cuando contiene 0,25% de NaCN, la solubilidad alcanza el máximo. La relación más eficaz es de 0,05 a 0,07% de NaCN. La concentración habitual de CN utilizada para procesar el mineral de oro es de 0,05% de NaCN, para el mineral de plata, para el concentrado de oro y plata, su concentración es de 0,3% y la fuerza del NaCN está entre 0,3-0,7%. El NaCN es el más utilizado en el proceso de cianuración, aunque también se utiliza KCN.

d) Temperatura. - La velocidad de disolución de los metales en una solución de NaCN aumenta con el incremento de la temperatura, hasta llegar a 85°C arriba de esta temperatura; las pérdidas por descomposición del cianuro es un problema grave.

e) Alcalinidad protectora. - Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis.
- Evitar pérdidas de cianuro por acción del CO₂ del aire.
- Neutralizar los componentes ácidos.
- Facilitar el asentamiento de las partículas finas de manera que pueda disociarse la solución rica clara de la mena cianurada.

f) Porcentaje de finos. - Esto es muy importante, porque cuando el porcentaje de polvo fino es muy alto, superior al 20% del polvo fino total (<-10 malla, 1,7 mm), estas partículas tienden a aglomerarse, por lo que no dejan pasar la solución de cianuro, por lo que estos minerales necesitan otro tratamiento que pueda solidificarse con cal, cemento o ambos para lograr la aglomeración y favorecer la percolación.

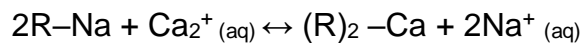
2.2.2. Propiedades de las Resinas

Las resinas de poliestireno selectivas y de intercambio iónico tienen las siguientes características generales:

- ✓ Alta estabilidad de la solución a alta temperatura.
- ✓ Posee una alta estabilidad a los reactivos químicos y solventes, pero los oxidantes fuertes (como HNO₃, KMnO₄) el cual pueden causar algún daño.
- ✓ El grado de reticulación entre resina y metal es fácil de controlar.

2.2.3. Principios generales del intercambio iónico con resinas.

Los intercambiadores iónicos suelen ser matrices sólidas que poseen sitios activos (también conocido como grupos iónico genérico) con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizada por un ion de carga opuesta (contra ion). Estos sitios activos tienen lugar la reacción de intercambio iónico. Esta reacción se puede ilustrar con la siguiente ecuación tomando como ejemplo el intercambio entre el ion sodio, Na⁺, que se encuentra en los sitios activos de la matriz R, y el ion calcio, Ca²⁺, presente en la disolución que contacta dicha matriz.



Cuando la solución pasa a través de la resina, los iones presentes en la solución reemplazan a los iones originalmente en el sitio activo. La eficacia de este método depende de muchos factores, como la afinidad de la resina por iones específicos, el pH de la solución (si los grupos activos son ácidos y básicos), la concentración de iones o la temperatura.

Obviamente, para provocar una reacción de intercambio iónico, los iones deben pasar de la solución a la resina y viceversa. Este movimiento se llama proceso de difusión. La difusión de iones es función de su tamaño, carga electrostática, temperatura y también se ve afectada por la estructura y el tamaño de los poros de la matriz. El proceso de difusión ocurre entre regiones de diferentes concentraciones de iones, de mayor concentración a menor concentración, hasta que tienen la misma concentración.

Cuando el sustrato es un portador de iones fijos con carga positiva, el intercambiador se denomina intercambiador de aniones porque puede intercambiar aniones con los contra-iones. Del mismo modo, un intercambiador catiónico es capaz de intercambiar cationes con sus contra-iones.

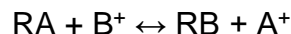
Para intercambios aniónicos: $R + X^- + A^- \leftrightarrow R + A^- + X^-$

O simplemente: $X^- (\text{resina}) + A^- (\text{solución}) \leftrightarrow A^- (\text{resina}) + X^- (\text{solución})$

Para un intercambio catiónico: $R-Y^+ + B^+ \leftrightarrow R-B^+ + Y^+$

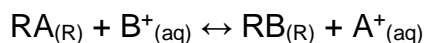
O simplemente: $Y^+ (\text{resina}) + B^+ (\text{solución}) \leftrightarrow B^+ (\text{resina}) + Y^+ (\text{solución})$

En general, si se tiene una resina R. con un grupo funcional reactivo uniforme de iones A^+ , entonces su forma es RA. En este caso, si la solución contiene otro catión B^+ entonces se podrá establecer un equilibrio del tipo:



2.2.4. Cinética de la reacción de intercambio iónico.

Las reacciones de intercambio iónico son heterogéneas y comprenden cinco etapas en serie; la más lenta aún determina la velocidad total de la reacción. Si se considera la siguiente reacción de intercambio iónico:



Las cinco etapas son:

1. Difusión de película del ion compuesto B^+ a través de una película estancada a la superficie de la partícula de la resina.
2. Difusión de la partícula del ion compuesto B^+ en la partícula de la resina.
3. Reacción de intercambio entre iones opuestos A^+ y B^+ en el grupo iónico fijo.
4. Difusión de partícula del ion opuesto intercambiado A^+ del interior a la superficie de la partícula.
5. Difusión de película del ion opuesto A^+ a través de la capa estancada a la fase de solución bulk.

La reacción química (etapa 3) misma controla la velocidad. Así las velocidades son normalmente dependientes de los fenómenos de difusión. En la totalidad de los casos de resinas de intercambio iónico modernas, la reacción de intercambio es reversible, la posición de equilibrio es reproducible y se adhiere la ley de acción de masas. Por lo tanto, para soluciones diluidas se puede determinar una constante de equilibrio, justificada en concentraciones en vez de actividades:

$$K = [R] [A^+] / [R] [B^+]$$

Ahora bien, se ha encontrado experimentalmente que la magnitud de la constante de equilibrio, K , depende fuertemente de la naturaleza química de los iones A^+ y B^+ así como de sus respectivas concentraciones. De esta manera la resina muestra prioridad por determinados tipos de iones sobre otros, lo cual da origen al fenómeno de selectividad en la etapa de carga del proceso de intercambio iónico. La constante de equilibrio, K , relaciona las concentraciones de los iones en la resina y en la solución acuosa.

Sin embargo, es muy difícil establecer las actividades de los respectivos iones en la resina.

2.2.5. Selectividad de la Resina

Se entiende por selectividad la preferencia de la resina por iones específicos. La selectividad depende de varios factores y encontraron que la selectividad cambia levemente con la temperatura y la variable de presión no se ha estudiado porque la tecnología no requiere este parámetro.

Las resinas de base fuerte tienen mayor afinidad por los aniones lineales pequeños; esto también se ve afectado por la estructura de la resina, por lo que la separación de cargas en la estructura determinará la preferencia de la resina con respecto a los aniones monovalentes de aniones multivalentes, incluso si estos son altamente polarizable.

Así un anión bivalente requerirá dos grupos cargados positivamente juntos y a medida que la separación entre estos grupos aumenta, la afinidad por este anión disminuirá mientras que la afinidad por el anión monovalente no será afectada ya que solo se necesita un grupo para adsorberlo. Adicionalmente, para las resinas de precedencia fuerte, la capacidad de polarización de los aniones está relacionada con su tamaño, para dos aniones con la misma carga y forma, el anión se volverá más polarizable y, debido a la mayor polarización, se unirá más firmemente para formar un par de iones.

Las aminas simples no son buenas recuperadoras de oro ya que no son lo suficientemente básicas para ser protonadas, es decir, tener sitios activos con cargas positivas fijas al pH de la solución proveniente de la cianuración, mientras que las aminas cuaternarias, por su parte, son bases extremadamente fuertes ya que poseen una carga positiva estable, lo que permite que estas resinas adsorban fuertemente los complejos de cianuro de oro

En comparación con los puntos de carga asociados con los grupos funcionales amino cuaternarios, la carga catiónica de la guanidina protonada (catión de guanidina) es más larga y su carga positiva está más dispersa. Aunque la protonación de este último solo ocurre en uno de los tres átomos de nitrógeno, en el grupo funcional guanidina la carga positiva se distribuye en todos los átomos de nitrógeno y el átomo de carbono central; en comparación con la resina básica fuerte, tiene un par La selectividad del cianuro de aluminio (Ortega, 2009).

2.2.6. Resinas usadas en la recuperación de oro desde soluciones cianuradas.

Las resinas sintéticas las podemos obtener por polimerización o poli condensación y desde que el Oro en las soluciones cianuradas está en forma de un complejo aurocianuro, $Au(CN)_2^-$, las resinas que se emplearán para la recuperación de este complejo deberán ser aniónicas tanto débiles como fuertes y ellas son las que se explican a continuación pero es interesante mencionar que las resinas catiónicas ácidas fuerte pueden usarse con el complejo oro tiourea pero su uso mayoritario es en metales con el Ni, Zn, Cu, etc.

➤ **Resinas sintéticas aniónicas de poli-condensación.**

Partieron de aminas aromáticas (como la m-fenilendiamina), condensadas con formaldehído (reaccionaban sobre el núcleo y los grupos $-NH_2$, B.A. Adam y E.L. Homes), y sintetizaron el primer tipo de resina con la siguiente composición en 1935, en la cual no poseen una definición no muy concreta.

➤ **Resinas sintéticas aniónicas de polimerización.**

Con el desarrollo de los intercambiadores de aniones de tipo estireno, se han realizado importantes avances y se han obtenido importantes

ventajas, ya que se pueden sintetizar resinas mono-funcionales fuertes y débilmente básicas, y se puede ajustar la reticulación de una manera relativamente simple y reproducible, sin causar efectos a las fuerzas básicas de los grupos iónicos. En contraparte, muchos de los polímeros que fueron condensados inicialmente son polis funcionales y tanto su reticulación como las fuerzas básicas son dependientes entre sí ya que el grupo amino toma parte en la condensación. Llegados a este punto, conviene recordar el concepto de reticulación, es decir, la formación de moléculas tridimensionales con la ayuda de agentes reticulantes. El grado de reticulación en el polímero DVB de estireno se refiere a la proporción de DVB que contiene. Por tanto, el 4% de resina reticulada tiene 4% de DVB y 96% de estireno y otros monómeros monovinílicos. El contenido de DVB de la resina tipo gel es del 8% y el contenido de DVB de la resina macroporosa es del 15% al 30%.

Las resinas poliméricas aniónicas tienen ventajas sobre las resinas de policondensación porque tienen una estabilidad que no posee la plasticidad superficial, y suelen tener mayor capacidad de intercambio, además, las resinas poliméricas se preparan en forma de suspensión para obtener esferas uniformes. (Esto los hace más fáciles de manejar), mientras que la reacción de policondensación obtenida al triturar y tamizar bloques sólidos es irregular.

La mayoría de los intercambiadores aniónicos se obtienen cuando el poliestireno con 6-8 % de divinilbenceno (DVB) se clorometila para obtener así un esqueleto aromático con una cadena lateral, en donde la introducción de una función amina es más fácil que en el núcleo, y donde puede presentar las propiedades de una base fuerte. Adicionalmente se pueden usar varios derivados del estireno como el metilestireno, etc. y otros agentes reticulantes como el vinylacrilato en lugar del DVB, pero esto no es muy común ya que la estructura formada por la polimerización del estireno y el DVB da una máxima resistencia a

la oxidación, reducción, fatiga mecánica, rompimiento y además es insoluble en solventes comunes.

En los intercambiadores de aniones, los grupos iónicos funcionales pueden cambiarse sistemáticamente mediante la introducción de diferentes sustituciones de átomos de nitrógeno, fósforo y azufre. Esta versatilidad es una gran ventaja de estas resinas, pero por otro lado, no tienen la estabilidad química o térmica de los intercambiadores de cationes.

➤ **Resinas Mixtas**

. Estas resinas son aquellas resinas débilmente básicas que han sufrido una reticulación adicional. Una resina débil con un contenido de base fuerte de 12 a 16% y una buena distribución en la matriz tendrá una excelente selectividad para el oro y la plata, pero esta selectividad disminuirá a medida que aumenta el sitio de base fuerte.

Las resinas de base fuertes tienen una mayor capacidad de carga y velocidad, pero poca selectividad (debido a la presencia de metales base) y son difíciles de eluir. Las resinas de base débil tienen una amplia selectividad y una elución más fácil, pero una carga más baja (25-50% de resinas de base fuerte) y una tasa o velocidad de extracción más baja. Existen varios tipos de resinas de base débil, pero tienen fuertes propiedades básicas. Se obtienen por la presencia de una pequeña cantidad (10-15%) de aminas cuaternarias, que son las mejores aminas para la extracción de oro.

2.2.7. Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico.

Este caso de aplicación corresponde a una alternativa paralela a la recuperación del aurocianuro por adsorción con carbón activado.

Esta tecnología alternativa ha sido desarrollada y aplicada, especialmente en Sudáfrica y Uzbekistán en la antigua Unión Soviética (planta de Muruntau).

La característica más destacada es que el proceso se aplica directamente a la pulpa de lixiviación mediante agitación. El proceso se denomina "resin in pulp", abreviado como RIP (en inglés: "rasin-in-pulp"). Similar al proceso CIP, pulpa de carbón.

La operación con resina es difícil de competir con el proceso de cianuración del oro porque enfrenta los problemas de baja selectividad, mayor fragilidad de las partículas de resina bajo ciertas condiciones de desgaste y la necesidad de procesos complejos. La elución y regeneración de resina. Sin embargo, desde un punto de vista químico, las resinas también tienen algunas ventajas.

Para adsorber oro y plata de la solución de cianuro, se pueden utilizar resinas alcalinas fuertes y débiles. Los metales fuertemente básicos tienen una alta capacidad y una cinética rápida, pero no son muy selectivos para otros metales y son difíciles de eluir. Las resinas débilmente básicas tienen menor selectividad y son más fáciles de eluir, aunque su capacidad de carga es menor, normalmente entre un 25% y un 50% menor que la capacidad de carga de las resinas fuertemente básicas. Además, debido a la alcalinidad débil, la alcalinidad débil solo se captura en un rango de pH estrecho: el valor de pH está entre 6 y 8, por encima de pH 8, su capacidad y cinética de adsorción se reducen significativamente.

Es posible producir resinas débilmente básicas con una pequeña cantidad (10% a 15%) de grupos funcionales amina cuaternaria, estas resinas les confieren ciertas características de resinas básicas fuertes, esta combinación es la combinación preferida en términos de obtener mejores resultados de recuperación de oro.

2.3. Marco conceptual.

1. **Cianuración:** Método de extracción de oro o plata expuestos de mena terrosa o molida disolviéndola en una solución débil de cianuro de sodio o de calcio. Puede ser llevada a cabo en tanques dentro de un Molino o en pilas de mena en el exterior. (J. Eschler, 1946).
2. **Cianuro de sodio:** Compuesto químico altamente tóxico usado para disolver oro y plata en la pulpa de molienda. (Layme E., 2015).
3. **Ley del mineral:** Se refiere a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, entre otros. Presente en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento. (Layme E., 2015).
4. **Resinas:** Es un polímero orgánico sintético que contiene sitios intercambiables de cationes o aniones de igual signo. (RAE).
5. **Intercambio iónico:** El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. (RAE).
6. **DVD:** Compuesto químico-orgánico llamado divinilbenceno. (Pineda Q., 2015).
7. **Reticulantes:** Compuestos que sirven para mejorar las propiedades físicas de un determinado elemento. (Pineda Q., 2015).

8. **Adsorción:** Fenómeno que posee un cuerpo y se expresa como la capacidad que tiene para poder retener determinados compuestos en distintos estados. (Pineda Q., 2015).
9. **Polimerización:** Proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes reaccionan para poder formar otras moléculas de mayor peso y distintas propiedades. (Chaparro M., 2012).
10. **Fenoplásticos:** Masa plástica prensada hecha con resina artificial compuesta por fenol y formaldehído. (Ríos N., 2017).
11. **Aurocianuro:** Compuesto de cianuro (proveniente de la industria minera por lo general) que en su composición tiene presencia de oro en grandes o pequeñas cantidades. (Justiniani S., 2015).
12. **Aniónico:** Componente de carga negativa, que ha ganado electrones.
13. **Catiónico:** Componente de carga positiva, que ha perdido electrones.
14. **Elución-eluir:** Químicamente se le denomina a la operación de retirar un líquido de una sustancia sólida.
15. **DORE:** Compuesto químico de metales preciosos, que contiene oro y plata al mismo tiempo.
16. **Copelación:** Se le denomina así a la operación que tiene como objetivo poder separar la plata del oro en un mismo compuesto. (RAE).

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Tipo y nivel de investigación.

- ❖ **Tipo de estudio:** El presente estudio, motivo de esta tesis es aplicativo experimental, puesto que, en primera instancia se busca ejecutar la práctica del proceso de recuperación de oro en soluciones cianuradas con resinas seleccionadas. Además, el aporte que se realiza a los métodos convencionales en este proceso industrial conlleva a que se realicen ensayos de laboratorio que conllevaron a la ejecución de ensayos químicos a nivel de laboratorio.
- ❖ **Nivel de la investigación:** se puede afirmar que es una tesis descriptiva-correlacional. Descriptiva, puesto que, en ella, se realiza la descripción de los métodos por los cuales se recupera el oro actualmente y también se describe el proceso que se está proponiendo para mejorar y hacer más eficiente. Además, se considera correlacional porque vamos a relacionar, las variables aplicadas en esta investigación.

3.2. Población y muestra de investigación.

- ❖ **Población:** para el caso de nuestra investigación se utilizó una población finita a estudiar, la cual está comprendida por soluciones cianuradas provenientes de la minería, específicamente las que resultan del proceso extractivo de oro; se ha seleccionado las muestras originarias de la región.
- ❖ **Muestra:** para la parte experimental se ha tomado un determinado volumen al azar, ya que la muestra presenta la misma concentración de metal precioso y también de concentración de cianuro, en su totalidad, lo que hace que la prueba tenga un grado de confiabilidad alto para la determinada solución cianurada.

3.3. Variables.

❖ **V. Independiente:**

- Empleo de las resinas seleccionadas adecuadas para el proceso.

❖ **V. Dependiente:**

- La evaluación del proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de investigación.

Para la recolección de datos de la investigación realizada se utilizó la técnica conocida como “ANALISIS DOCUMENTAL” en la que básicamente se recopila la información de fuentes como revistas, artículos científicos, folletos, entre otros; el instrumento característico en la aplicación de esta técnica es la FICHA DE REGISTRO DE DATOS.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de resultados.

Los datos experimentales y resultados serán procesados por medio de tablas o cuadros donde se agruparán de una forma ordenada y detallada para su mejor comprensión.

3.6. Método de Investigación.

3.6.1. Diseño del método de investigación.

En primer lugar, el diseño del método de investigación tuvo un enfoque experimental, puesto que está basado en la búsqueda de resultados mediante la experimentación en laboratorio, asimismo del análisis de las variables priorizando los resultados obtenidos.

Asimismo, la metodología que se ha empleado es cuasi experimental pues hemos observado los cambios que han sufrido las variables, tanto la dependiente como la independiente.

En segundo lugar, se ha definido la secuencia del diseño de investigación que corresponde a la siguiente:

- ❖ Se ha definido el problema concreto de nuestra investigación que refiere a la evaluación del proceso de recuperación de oro a partir de resinas seleccionadas, para ello se realizaron experimentos a nivel de laboratorio.
- ❖ También se formuló hipótesis que podrían ser las posibles respuestas a nuestro problema de investigación, asimismo se definió que variables fueron las medidas, controladas y cuál será el método de análisis.
- ❖ Para la parte experimental tuvimos que definir cuáles serían los materiales y equipos que garantizaron el correcto desarrollo de esta etapa:

Materiales y reactivos.

- Resina AuRIX 100.
- Resina Amberlite.

- Cianuro de sodio.
- Ácido clorhídrico.
- Yoduro de potasio.
- Nitrato de plata.
- Ácido nítrico.
- Hidróxido de sodio.
- Ácido sulfúrico.
- Ácido nítrico.
- Agua destilada.

Equipos.

- Horno de fusión eléctrico.
- Sistema de extracción de gases.
- Crisoles de arcillas de 40 y 50 g.
- Fundente pre-mezclado.
- Bolsas plásticas.
- Pinza porta crisol.
- Horno de copelación.
- Pinza porta copela.
- Equipo de extractor de gases.
- Crisoles de porcelana.
- Tubos de ensayo.
- Embudo.
- Porta embudo.
- Pizetas.
- Fiolas con tapa.
- Balanza analítica.
- Ph-metro.

- Estufa.
 - Bureta digital.
 - Termómetro.
 - Matraz de Erlenmeyer.
 - Frascos de vidrio de 50ml.
 - Vasos de precipitado.
- ❖ Terminada la etapa de experimentación se recopilaron todos los valores obtenidos en fichas de registro de datos (elaboración propia), para posteriormente presentar y discutir los resultados.

3.6.2. Métodos y procedimientos.

Los procedimientos a ejecutar en la parte experimental se basan en el proceso desde el origen que es el mineral en forma rocosa hasta su transformación en oro puro.

a) Recepción y preparación de muestras.

1. Las muestras provenientes de la región fueron recepcionadas en el área de laboratorio donde se realizó la parte experimental, respectivamente plastificadas y selladas para evitar contaminación cruzada.
2. Se realizó un chancado utilizando mallas para la correcta disposición de la muestra, asimismo con la técnica de cuarteos sucesivos se obtuvo una cantidad representativa.
3. A continuación, se procedió a realizar un secado para eliminar toda presencia de agua en la muestra empleando un horno a 160°C aproximadamente por 40 minutos, retirando las muestras cuando se encontraron totalmente secas y dejando que enfríen.

b) Fundición de muestras.

1. La balanza analítica fue calibrada con pesos patrones, luego se colocaron crisoles, con 200 gramos aproximadamente del fundente, sobre la balanza. **(Foto N°1)**

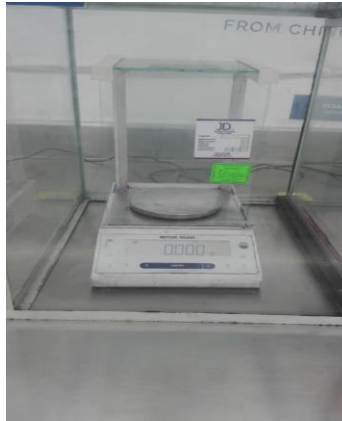


Foto N°1

2. Pesar 40 gramos de muestra del mineral, donde el peso y la codificación fueron anotados para poder monitorear los resultados de cada muestra.
3. Se procedió a mezclar cada muestra con el fundente y encender el equipo de extracción de gases.
4. Se colocaron los crisoles mencionados de forma secuencial dentro del horno de fundición el cual trabajó en un principio a 900°C hasta alcanzar los 1100°C en un tiempo de 20 a 25 minutos para que se genere la fundición. **(Foto N° 2)**



Foto N° 2

5. Luego de cumplido el tiempo retirar los crisoles con las pinzas y vaciar el contenido en lingoteras para dejar enfriar.

c) Copelación.

1. Se realizó el calentamiento de las copelas en un intervalo de 15 a 25 minutos, a la temperatura de 950 °C aproximadamente; además las copelas fueron enumeradas para mantenerlas identificadas.
2. Con la ayuda de pinzas se colocaron los regulos de forma ordenada en las copelas precalentadas (950 °C), al mismo tiempo se encendió el equipo de extracción de gases.
3. Culminada la copelación se deja enfriar alrededor de 10 minutos para continuar con el análisis.

d) Ataque químico.

1. El ataque químico tiene por finalidad eliminar el contenido de plata de la muestra ya que al ser muy afines está presente con el oro; por lo tanto, se procedió a colocar el Dore (oro y plata) en su respectivo crisol.
2. Seguidamente los crisoles fueron dispuestos en una plancha de calentamiento a 100 °C, se le añadió 4mL de solución de ácido nítrico al 15% y luego 5 mL de ácido nítrico concentrado; se ejecutó la reacción química de separación de plata.
3. Lavar la muestra de oro con agua destilada por 2 a 3 veces y luego se deja secar.
4. Finalmente dejamos enfriamos la muestra para poder calcular la ley de oro presente en la muestra global de mineral.

$$\text{Ley de mineral} = \text{mg de Au} \times 1.1667$$

Dónde: 1.1667 es el factor de conversión a ton corta.

Por ejemplo: de 40 gramos de muestra se obtuvo 0.657 mg de oro puro es decir que la ley fue:

$$\text{Ley} = 0.657 \times 1.1667 = 0.766 \text{ (baja ley)}$$

e) Proceso de adsorción de oro con las resinas seleccionadas.

El método experimental que se ha desarrollado durante la investigación tiene por finalidad la recuperación de oro por medio de resinas (AuRIX 100 y Amberlite), asimismo compara los resultados de efectividad en ambos casos.

Previamente las resinas deben ser preparadas, es decir pasar por una etapa de humectación y manejo de pH para que las resinas se encuentren en un estado de activación; cabe resaltar que el procedimiento será el mismo para ambas resinas.

f) Humectación e hinchamiento de la resina.

1. Se procedió a pesar una determinada cantidad de resina (1-3 gramos para diferentes pruebas) y transferir esa cantidad a un vaso precipitado de 100 mL con 20 mL de agua destilada. **(Foto N°3)**



Foto N°3

2. Dejar en reposo durante 20 horas aproximadamente, luego se separó la resina humectada por filtración, utilizando un papel filtro y también un embudo.

g) Activación de la resina.

1. La resina humectada se activa con una solución de NaOH, cuya solución se encuentra al 10%. **(Foto N° 4)**



Foto N°4

2. Se hizo un lavado con dicha solución hasta llevar el pH alrededor de 10.
3. Finalmente se lava con agua destilada una vez más y se vuelve a separar la resina por filtración quedando lista para poder adsorber el oro. **(Foto N°5)**

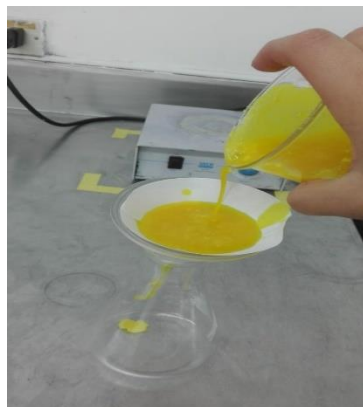


Foto N°5

h) Recuperación de oro.

1. Se preparó la solución cianurada en un vaso de precipitado de 250 mL, colocando 200 mL de líquido cianurado.
2. Se prepara una solución NaOH 1M para poder ajustar el pH de trabajo que oscila entre 10 y 11.
3. Una vez acondicionada la resina y la solución cianurada se procede a hacer contacto constante, en un vaso de precipitado de 400 mL se agrega 200 mL de solución cianurada y 1 gramo de resina acondicionada. **(Foto N°6)**

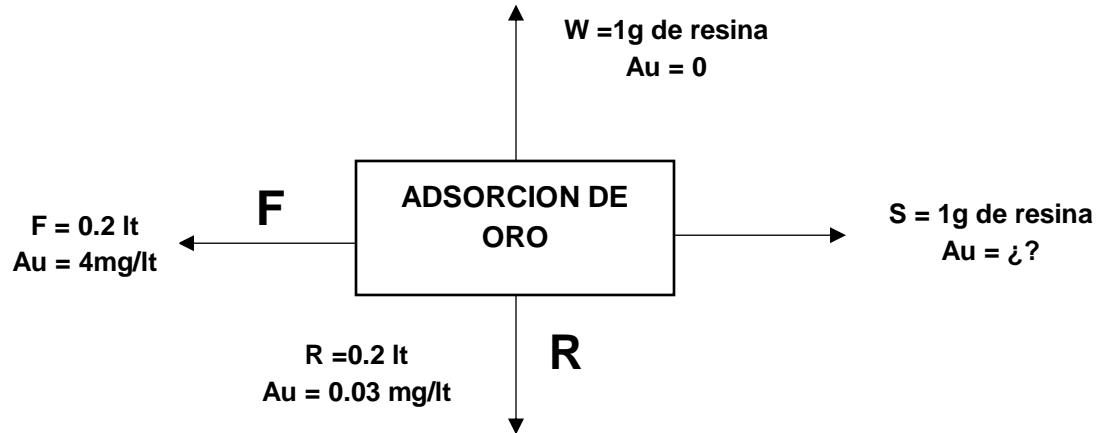


Foto N°6

4. Los parámetros de operación en esta etapa de la parte experimental son:
 - Tiempo de adsorción.
 - Temperatura.
 - Concentración de oro en la solución cianurada.
 - Ph.
 - Concentración de NaOH.

5. Finalmente, luego de transcurrir de 25 a 36 horas de prueba por cada corrida de muestras, se procede a un balance de materia y poder calcular la cantidad de oro captado por las resinas.

Balance de materia para el oro en la adsorción de resina.



Fuente: Elaboración propia

Balance global.

$$F + W = S + R \dots\dots\dots (1)$$

Balance por componente oro.

$$F \cdot X_F + W \cdot X_w = R \cdot X_R + S \cdot X_S$$

$$(0,2 \text{ Lt} \times \frac{4\text{mg}}{\text{Lt}}) + W_{(0)} = 1\text{g de resina} \times X_R + \frac{0,03\text{mg}}{\text{Lt}} \times 0,02 \text{ Lt}$$

$$0,8 \text{ mg} = X_R + 0,006$$

$$X_R = 0,794 \text{ mg de oro}$$

La resina termina cargada de 0,794 mg de oro.

Nota 1: Se repite el procedimiento para todas las pruebas experimentales.

Nota 2: Se realiza el cálculo para la primera prueba experimental de una resina y se mostró de ejemplo.

CAPITULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Resultados.

❖ RESINA AuRIX 100.

Tabla 1. Cantidad de resina empleada

Cantidad de resina (gr)	Solución (mL)	Cantidad de Au recuperado (mg)
1.0	200	350
1.5	200	369
2.0	200	387
2.5	200	396
3.0	200	397

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA Amberlite

Tabla 2. Cantidad de resina empleada

Cantidad de resina (gr)	Solución (mL)	Cantidad de Au recuperado (mg)
1.0	200	344
1.5	200	360
2.0	200	377
2.5	200	382
3.0	200	382

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AuRIX 100.**

Tabla 3. Intervalos de ph para la reacción de la resina.

pH	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
9.0	2.0	333
9.5	2.0	350
10.0	2.0	379
10.5	2.0	394
11.0	2.0	394

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AMBERLITE.**

Tabla 4. Intervalos de ph para la reacción de la resina.

pH	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
9.0	2.0	325
9.5	2.0	338
10.0	2.0	350
10.5	2.0	376
11.0	2.0	376

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AuRIX 100**

Tabla 5. Intervalo de pH de la solución cianurada.

pH	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10.0	2.0	333
10.5	2.0	355
11.0	2.0	378
11.5	2.0	391
12.0	2.0	391

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AMBERLITE.**

Tabla 6. Intervalo de pH de la solución cianurada.

pH	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10.0	2.0	330
10.5	2.0	345
11.0	2.0	358
11.5	2.0	385
12.0	2.0	386

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AuRIX 100**

Tabla 7. Concentración de cianuro en la solución

[CN] (mg/L)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
2.5	2.0	342
3.0	2.0	365
3.5	2.0	383
4.0	2.0	392
4.5	2.0	392

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AMBERLITE**

Tabla 8. Concentración de cianuro en la solución

[CN] (mg/L)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
2.5	2.0	339
3.0	2.0	361
3.5	2.0	378
4.0	2.0	381
4.5	2.0	381

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AuRIX 100

Tabla 9. Tiempo de adsorción

Tiempo (h)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10	2.0	347
15	2.0	368
20	2.0	388
25	2.0	395
30	2.0	395

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AMBERLITE.

Tabla 10. Tiempo de adsorción

Tiempo (h)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10	2.0	340
15	2.0	356
20	2.0	369
25	2.0	381
30	2.0	389

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AuRIX 100

Tabla 11. Tiempo de humectación

Tiempo (h)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10	2.0	341
15	2.0	354
20	2.0	371
25	2.0	389
30	2.0	389

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AMBERLITE

Tabla 12. Tiempo de humectación

Tiempo (h)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
10	2.0	336
15	2.0	349
20	2.0	366
25	2.0	380
30	2.0	380

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AuRIX 100

Tabla 13. Temperatura de trabajo

Temperatura (°C)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
20	2.0	336
25	2.0	354
30	2.0	379
35	2.0	388
40	2.0	388

Fuente: Elaboración propia

❖ RESINA AMBERLITE

Tabla 14. Temperatura de trabajo

Temperatura (°C)	Cantidad de resina (gr)	Cantidad de Au recuperado (mg)
20	2.0	335
25	2.0	352
30	2.0	375
35	2.0	386
40	2.0	386

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AuRIX 100**

Tabla 15. Mejores parámetros para recuperar oro

Parámetro	Unidad	Valor
Cantidad de resina	Gramos	3.0
pH de reacción de la resina	-	10.5
pH de la solución cianurada	-	11.5
[CN]	Gramos/litro	4.0
Tiempo de adsorción	Horas	25 – 30
Tiempo de humectación	Horas	30
Temperatura de trabajo	°C	35

Fuente: Elaboración propia

❖ **RESINA AMBERLITE**

Tabla 16. Mejores parámetros para recuperar oro

Parámetro	Unidad	Valor
Cantidad de resina	Gramos	2.5
pH de reacción de la resina	-	10.5
pH de la solución cianurada	-	12
[CN]	Gramos/litro	4.0
Tiempo de adsorción	Horas	30
Tiempo de humectación	Horas	25
Temperatura de trabajo	°C	35

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis y discusión de resultados.

Las pruebas experimentales realizadas con las resinas seleccionadas, en este caso, AuRIX 100 y Amberlite, para recuperar oro de soluciones cianuradas, han arrojado resultados favorables por lo que podemos decir que este proceso en ambos casos nos permite recuperar grandes cantidades del metal.

Luego hemos podido demostrar que ambas resinas recuperan oro debido a sus similitudes en propiedades, sin embargo, la resina AuRIX 100 supera los valores de recuperación que se obtienen al emplear la resina Amberlite; a pesar de presentar parámetros de proceso bastante similares como se detalla en los cuadros de resultados.

Dentro de los parámetros de operación más resaltantes es el tiempo de humectación de las resinas para que puedan reaccionar óptimamente y que sus centros activos puedan captar eficientemente las moléculas del metal precioso; dichos tiempos no varía mucho pues la resina AuRIX 100 lo hace en 30 horas mientras que la resina Amberlite en 32 horas. Asimismo, el pH en ambos casos se mantiene en el intervalo de 10 a 11, es decir muy básico.

CAPITULO V: PRUEBA DE HIPOTESIS

5.1. Prueba de hipótesis

- El estudio de investigación realizado comprueba nuestra hipótesis general pues el proceso de recuperación de oro de soluciones cianuradas con resinas seleccionadas requería una evaluación para poder comprobar que era un método adecuado y que nos permite innovar tecnológicamente en la industria.
- En cuanto a las hipótesis secundarias pudimos demostrar también que a pesar de ser resinas de características similares, la poca variación entre ellas influye en la recuperación de oro, asimismo se pudo comprobar la otra hipótesis pues el grado de recuperación de oro con las resinas es alto.

CONCLUSIONES

- ❖ Luego de realizado el estudio cuasi experimental, donde se evaluó el empleo de resinas seleccionadas para la recuperación de oro en minerales de baja ley (en este caso de estudio) demostrando que ambas resinas cuentan con muy buenas condiciones de adsorción, asimismo se demostró que una es más óptima para el procedimiento.
- ❖ La capacidad de recuperación de oro con la que cuentan las resinas seleccionadas (AuRIX 100 Y AMBERLITE) son de 85 a 95 %.
- ❖ También se pudo demostrar que ambas resinas trabajan en condiciones de operación determinadas y es necesario mantener las mismas para obtener buenos resultados.

RECOMENDACIONES

- ❖ En primer lugar, luego de observar los resultados obtenidos por la experimentación, se recomienda realizar estudios más profundos acerca de las resinas y su influencia en la recuperación de oro u otros metales.
- ❖ En segundo lugar, conociendo los resultados se recomienda emplear este método en la industria minera a nivel industrial, ya que se contribuiría con una tecnología más limpia y amigable con el medio ambiente.
- ❖ Se recomienda también emplear este método para minerales de alta ley de concentración y variar algunas sustancias para la activación de las resinas, verificando las condiciones de trabajo en conjunto de la eficiencia del proceso.

FUENTES DE INFORMACION

- ✓ Azañero A. (2001). *Recuperación de oro y plata de minerales por heap leaching*. Recuperado de:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v04_n7/recup_oro_plata.
- ✓ Pineda Q. (2015). “*Recuperación de oro por resina de intercambio iónico de so-luciones cianuradas*”. Recuperado de:
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2522/Pineda_Quispe_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ✓ Laurel G. (2015). *Perspectiva del empleo de agentes lixiviantes alternativos al cianuro para la recuperación de oro y plata*. Recuperado de:
<http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015-Laurel-GEO11-O10.pdf>
- ✓ Rios N. (2017). *Aumento de la recuperación de oro en la compañía refinadora del pacífico s.a.c*. Recuperado de:
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/634>
- ✓ Layme E. (2015) *Estudio de investigación para adsorción de oro usando resina de intercambio iónico en la planta del consorcio minero horizonte*. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/80>
- ✓ Rivera B. (2009). *Recuperación de oro de soluciones lixividas con thiosulfato*. Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2226>
- ✓ *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* (2018). Recuperado de: http://riiit.com.mx/apps/site/files/ec_immx_2_2_v1.pdf

- ✓ Adams B. (2013) Estudio de las propiedades adsorptivas de las resinas.
- ✓ Chaparro M., Valenzuela J. (2012) *Uso de la resina de intercambio anionico para la recuperación del complejo de oro Tiosulfato desde soluciones acuosas*. Recuperado de:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642012000200007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- ✓ Door J. (2006) *Cianuración y concentración de minerales de oro y plata*
- ✓ 911 metallurgist (2008) *Introducción a la lixiviación de oro y plata*. Recuperado de: <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/cianuracion-oro-plata/>
- ✓ Reyes Victor (2003) *Recuperación selectiva de Dore (Au-Ag) de disoluciones provenientes de la lixiviación de mineral*. Recuperado de: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/producto.php?producto=4555>
- ✓ Alvarez R. (2005) *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración de oro*. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/handle/10803/11120#page=1>
- ✓ Empresa SGS *Tecnologías de carbono y resinas para la extracción de oro*. Recuperado de: <https://www.sgs.mx/es-es/mining/metallurgy-and-process-design/cyanidation-technologies/cyanide-leaching/carbon-and-resin-technologies-for-gold-recovery>
- ✓ Jusitiniani S. (2015) *Estudio de investigación selectiva de oro de soluciones alcalinas en cianuración*. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/124>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General
¿Cuáles son los criterios para evaluar el proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas?	Evaluar el proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.	El empleo de las resinas seleccionadas para la recuperación de oro en soluciones cianuradas, requiere de una evaluación del proceso.
Variables - Indicadores		Tipo de investigación
<p><u>V. Independiente:</u></p> <p>- Empleo de las resinas seleccionadas adecuadas para el proceso.</p> <p><u>V. Dependiente:</u></p> <p>- La evaluación del proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del mineral - Pruebas de ph - Estudio de que resinas tienen mejor captación de oro - Cantidad de oro recuperado. 	Investigación experimental pura.
Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos
<p>¿Cuáles serán las resinas seleccionadas más adecuadas para evaluar el proceso de recuperación de oro en soluciones cianuradas?</p> <p>¿Cuáles es la cantidad de captación de oro en el proceso de recuperación en soluciones cianuradas utilizando resinas seleccionadas?</p> <p>¿Cuáles son las características del oro recuperado en soluciones cianuradas con el empleo de resinas seleccionadas?</p>	<p>Determinar qué tipos de resinas seleccionadas serán las más adecuadas para el proceso de recuperación de oro empleando resinas.</p> <p>Determinar la cantidad captada de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.</p> <p>Determinar las características del oro recuperado en soluciones cianuradas mediante el empleo de las resina seleccionadas adecuadas para este proceso.</p>	<p>Las resinas seleccionadas más adecuadas para realizar la recuperación de oro en soluciones cianuradas son diversas y dependerán de las características que se presenten.</p> <p>La capacidad de oro captado en soluciones cianuradas que tienen las resinas seleccionadas adecuadas para el proceso es alta.</p> <p>Las características del oro en soluciones cianuradas recuperado mediante el empleo de resinas seleccionadas es de un producto de alta pureza.</p>

Anexo 2: Matriz de operacionalización.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>V. Independiente:</p> <p>Empleo de las resinas seleccionadas adecuadas para el proceso.</p>	<p>Proceso operativo por el cual se emplea las resinas catiónicas para recuperar oro.</p>	<p>Resinas que tienen la capacidad de captar oro desde soluciones</p>	<p>Operativa</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis del mineral. 2. Pruebas de ph. 3. Velocidad de Reacción.
<p>V. Dependiente:</p> <p>La evaluación del proceso para la recuperación de oro en soluciones cianuradas empleando resinas seleccionadas.</p>	<p>Procedimiento cuantitativo por el cual se determinara la cantidad exacta de oro que se va recuperar.</p>	<p>Captación del oro que se encuentra en el mineral, en bajas concentraciones.</p>	<p>Cuantitativa</p>	<p>Cantidad de oro recuperado.</p>

Anexo 3: Presupuesto.

Bienes:	S/165.00
Libros	S/40.00
Separatas	S/10.00
Útiles necesarios	S/35.00
Otros	S/80.00
Servicios:	S/600.00
Fotocopias	S/30.00
Impresión	S/150.00
Folders y anillados	S/. 50.00
Recolección de información	S/20.00
Insumos químicos	S/. 350.00
Costos Total:	S/765.00

Anexo 4: Cronograma de actividades.

Actividad	Mayo 2018	Junio 2018	Julio 2018	Agosto 2018	Octubre a diciembre 2018	Enero a marzo 2019	Abril 2019	Mayo a julio 2019	Agosto 2019
Anteproyecto: Elaboración	X								
Anteproyecto presentado al asesor.	X								
Revisión y Correcciones		X		X					
Elaboración del Proyecto		X	X						
Recolección de datos	X	X	X			X	X		
Procesamiento de datos		X	X			X		X	
Elaboración de matrices y cronogramas					X	X			
Realización de parte experimental					X	X	X	X	
Últimas revisiones del borrador de tesis							X	X	X
Presentación y observaciones del asesor							X	X	X

ANEXO 5: Ficha de registro de datos. (Recolección de datos)

FICHA DE REGISTRO DE DATOS	
AUTOR:	
TITULO DE INVESTIGACIÓN	
FINALIDAD DE INVESTIGACIÓN	
INSTITUCIÓN /AÑO	
RESUMEN	