

**Universidad Nacional
“José Faustino Sánchez Carrión”**



“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL MEDIANTE LA
CINÉTICA EN LA CIANURACIÓN”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALÚRGICO**

Autor:

Bach: VASQUEZ ESCOBAR, ERICK DIEGO

Asesor:

Ing. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER.

C.I.P. N° 26627

Huacho - Perú

2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, que siempre ha sido una persona a seguir, en toda mi vida.

A mi hermana Inés Vásquez, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanos Rafael, Wilson Vásquez, que me formaron dándome el carácter suficiente para afrontar cualquier situación, adversa tanto en lo profesional como en la vida misma.

A mi hermano Luis Vásquez, a quien quiero como un padre, por compartir momentos significativos conmigo, gracias por ser más que un hermano, me enseñaste que todo se logra poco a poco.

A mi hija victoria quisiera dedicarle estas palabras: Victoria los sueños se logran, cuando decides soñarlo.

Nunca dejes tus sueños, será la mayor recompensa que te puedo dar.

A Cinthya que más que una pareja eres una compañera de vida.

AGRADECIMIENTO

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis Hermanos que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en su fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

De igual forma, agradezco a mi Asesor de Tesis, Dr. Berardo Ruiz Sánchez que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

PENSAMIENTO

“Cada vez que decimos; «No sé», nos cerramos la puerta de nuestra propia fuente de sabiduría, que es infinita”

Louise L. Hay

ÍNDICE GENERAL

CARATULA	1
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURA	ix
ÍNDICE DE TABLA.....	x
GLOSARIO DE ABREVIATURA.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Problema General.....	15
1.2.2. Problema Específico.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. Objetivos generales.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4.1. Justificación Práctica.....	17
1.4.2. Justificación Metodológica.....	17
1.4.3. Justificación Técnica.....	17

1.4.4.	Justificación Social.....	17
1.4.5.	Justificación Económica.....	18
1.5.	DELIMITACIÓN.....	18
1.5.1.	Delimitación Territorial.....	18
1.5.2.	Delimitación Tiempo y Espacio.....	18
1.5.3.	Delimitación de Recursos.....	18
1.6.	VIABILIDAD DE ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO II		20
MARCO TEÓRICO.....		20
2.2.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.2.1.	Investigación Relacionada con el Estudio.....	20
2.2.2.	Otras Publicaciones.....	28
2.3.	BASES TEÓRICAS.....	31
2.1.1	Compuestos cianurados.....	31
2.1.2	Lixiviación dinámica.....	31
2.1.3	Cinética de la lixiviación.....	33
2.1.4	El cianuro en solución.....	34
2.1.5	Cianuro libre.....	35
2.1.6	Proceso de cianuración.....	37
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	43
2.5.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	48
2.5.1.	Hipótesis General.....	48
2.5.2.	Hipótesis Específicas.....	48
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	48
CAPÍTULO III		50

METODOLOGÍA	50
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.	50
3.1.1. Tipo de Investigación.	50
3.1.2. Nivel de Investigación.....	50
3.1.3. Diseño de la Investigación.	51
3.1.4. Enfoque de la Investigación.	51
3.1.5. Estrategias o Procedimientos de Contrastación de Hipótesis o Cumplimiento de Objetivos Técnicos.....	51
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.	52
3.2.1. Población.....	52
3.2.2. Muestra.....	52
3.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	53
3.3.1. Técnicas.....	53
3.3.2. Instrumentos.	54
3.4. Técnica de procesamiento de la Información.	54
3.5. Aspectos Éticos.....	54
3.6. Matriz de Consistencia.	55
CAPÍTULO IV	57
RESULTADOS	57
4.1. Condiciones de trabajo del mineral.	57
4.1.1. Leyes de mineral.	57
4.1.2. Condiciones de las pruebas de cianuración por agitación.....	57
4.2. Resultados obtenidos.	59
4.2.1. Resultados de la primera prueba de cianuración por agitación.....	59
4.2.2. Resultados de la segunda prueba de cianuración por agitación.	62

4.2.3.	Resultados de la tercera prueba de cianuración por agitación.....	65
4.2.4.	Resultados de la cuarta prueba de cianuración por agitación.....	68
4.2.5.	Contrastación de las pruebas de cianuración por agitación.....	71
DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN		73
5.1.	Discusión.	73
5.2.	Conclusiones.....	74
5.3.	Resultados.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....		76
ANEXOS.....		78

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Equipo de Lixiviación dinámica por agitación mecánica y neumática.....	33
Figura 2. Equilibrio HCN/CN ⁻ en función del pH.	36
Figura 3. Variación del balance HCN/CN ⁻ con la salinidad.....	36
Figura 4 Esquema de experimento y variable	51
Figura 5 Recuperación del oro en función al tiempo 1 ^{era} prueba	61
Figura 6 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 1 ^{era} prueba.....	61
Figura 7 Recuperación del oro en función al tiempo 2 ^{da} prueba.....	64
Figura 8 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 2 ^{da} prueba.....	64
Figura 9 Recuperación del oro en función al tiempo 3 ^{era} prueba	67
Figura 10 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 3 ^{era} prueba.....	67
Figura 11 Recuperación del oro en función al tiempo 4 ^{ta} prueba	70
Figura 12 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 4 ^{ta} prueba	70

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Variables.....	49
Tabla 2. Matriz de consistencia general	55
Tabla 3. Matriz de consistencia específico.....	56
Tabla 4 Análisis químico de la primera prueba.....	57
Tabla 5 Condiciones de la cianuración para la primera prueba	58
Tabla 6 Resultado de la cianuración de la primera prueba de cianuración por agitación	59
Tabla 7. Recuperación del oro en función al tiempo 1 ^{era} prueba	60
Tabla 8 Resultado de la cianuración de la segunda prueba de cianuración por agitación	62
Tabla 9. Recuperación del oro en función al tiempo 2 ^{da} prueba	63
Tabla 10 Resultado de la cianuración de la tercera prueba de cianuración por agitación.....	65
Tabla 11 Recuperación del oro en función al tiempo 3 ^{era} prueba	66
Tabla 12 Resultado de la cianuración de la cuarta prueba de cianuración por agitación.....	68
Tabla 13 Recuperación del oro en función al tiempo 4 ^{ta} prueba.....	69
Tabla 14 Característica de los resultados de las pruebas de cianuración	71
Tabla 15 Cinética de la cianuración consumo de cianuro de sodio y recuperación %Au.....	72

GLOSARIO DE ABREVIATURA

%	:	Porcentaje
%S	:	Porcentaje de solido
&	:	y
°C	:	Grados centígrados
Ag	:	Plata
Au	:	Oro
cc	:	Centímetros cúbicos
G.E.	:	Gravedad especifica
g/L	:	Gramos por litro
h	:	Hora
kg/t	:	Kilogramo por tonelada
kg/TM	:	Kilogramo por tonelada métrica
M	:	Molar (mol por litro)
NaCN	:	Cianuro de sodio
Oz	:	Onza
oz/TC	:	Onza por toneladas cortas
Pág.	:	Página
Págs.	:	Páginas
pH	:	Potencia de hidrogeno
S.A.	:	Sociedad Anónima.
TC	:	Toneladas cortas
TM	:	Tonelada métrica.

RESUMEN

En el presente trabajo sobre, extracción de oro a nivel experimental mediante la cinética en la cianuración, se tiene como objetivo, evaluar en qué medida la cinética en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo, la metodología es una investigación experimental aplicada, predictivo, cuantitativo.

En la recuperación de oro a partir de minerales sulfurados se tiene una ley de cabeza de 0.406 oz/TC, y a condiciones de pH de 11.00, a una dilución de 3, tiempo de 40 horas, fuerza de CN⁻ 0.15%, y los resultados el consumo de 2.12 kg/TM de NaOH por tonelada, para el NaCN es de 21.26 kg/TM con ello una recuperación en promedio del 95.18%.

Palabra clave: Cianuración de oro, lixiviación de oro, cianuración en pulpa.

ABSTRACT

In the present work on, gold extraction at experimental level by kinetics in cyanidation, the objective is to evaluate to what extent the kinetics in the cyanidation of gold-bearing minerals will allow us to extract gold at a certain optimum time, the methodology it is an applied, predictive, quantitative experimental investigation.

In the recovery of gold from sulphide minerals we have a head law of 0.406 oz / TC, and at pH conditions of 11.00, at a dilution of 3, time of 40 hours, strength of CN^- 0.15%, and the results the consumption of 2.12 kg / MT of NaOH per ton, for the NaCN is 21.26 kg / MT, with this an average recovery of 95.18%.

Keywords: Gold cyanidation, gold leaching, pulp cyanidation

INTRODUCCIÓN

En el proceso de extracción de los elementos metálicos a partir de minerales oxidados como de sulfuros, es el proceso más complejo desde el punto de vista técnico económico y medio ambiente.

Ya que desde el los principios de su uso se emplearon métodos de gravitacional en principio luego el uso del fuego, hoy en día el medio acuoso más barato en el proceso económicamente y la biooxidación o biolixiviación para su oxidación y extracción siendo esto un control más detallado en el proceso a pesar que en la naturaleza ocurre este proceso de extracción.

La extracción por medio del cianuro de sodio para minerales preciosos es la más factible desde el punto vista técnico económico, y respecto a l tiempo permitiendo su extracción del oro en el menor tiempo posible, por ello es el proceso más conveniente en el proceso, pero no solo es el que influyen en la extracción signo existen una serie de factores para su recuperación, como liberación, agitación, densidad de pulpa, tiempo, pH, etc.

Por ello para nuestro estudio se buscó relacionar el tiempo en la recuperación y en el consumo de medio extraente que es el cianuro de sodio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En los procesos de la cianuración a nivel industrial por agitación es un proceso donde se tiene que tener en cuenta los variables que interviene en el proceso de extracción de los metales de interés, dentro de ello existe variables físicas, químicos, fisicoquímicos y termodinámicos y cinéticos que intervienen en la lixiviación, como la liberación, fuerza de cianuro, densidad de pulpa, mineralogía, agitación, etc.

Viendo estas condiciones para mejorar el proceso es necesario plantear el problema que nos permita mejorar el proceso de extracción y recuperación de elementos de interés como el oro en el tiempo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General.

¿En qué medida la cinética en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá extracción el oro en un determinado tiempo optimo?

1.2.2. Problema Específico.

➤ ¿En qué medida el tiempo, influirá en la recuperación de oro en la cianuración?

- ¿En qué medida la fuerza del cianuro, influirá en la extracción de oro en la cianuración?
- ¿Tendrá algún efecto la ley de cabeza, en la extracción de oro en la cianuración?

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivos generales.

Evaluar en qué medida la cinética en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar el tiempo optimo, en la recuperación de oro en la cianuración de minerales auríferos.
- Evaluar la fuerza del cianuro, en qué medida influirá en la extracción de oro en la cianuración de minerales auríferos.
- Evaluar el efecto la ley de cabeza, en la extracción de oro en la cianuración de los minerales auríferos.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Justificación Práctica.

Al llevar a cabo esta investigación se podrá entender que el proceso más factible en la cianuración de minerales auríferos para la extracción oro, nos permitirá recuperar oro en un determinado tiempo que este de acorde económicamente y rentables.

1.4.2. Justificación Metodológica.

Los Métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empelados en la investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizadas en otros trabajos de investigación.

1.4.3. Justificación Técnica

El presente trabajo sobre cinética en la cianuración de minerales auríferos para la extracción oro, nos permitirá elevar una recuperación óptima del elemento de interés.

1.4.4. Justificación Social.

Dentro de la investigación las actividades que se realiza fomentarán trabaja en la zona de influencia en un futuro.

1.4.5. Justificación Económica.

En el presente trabajo sobre la cinética en la cianuración de minerales auríferos para la extracción oro, nos permitirá el aumento de ingresos económicos de la empresa y los futuros trabajador de la zona de influencia y gobierno central.

1.5. DELIMITACIÓN.

1.5.1. Delimitación Territorial.

País	:	Perú
Departamento	:	Lima – Lima provincia
Provincia	:	Huaura
Distrito	:	Huacho
Lugar	:	Ciudad universitaria

1.5.2. Delimitación Tiempo y Espacio.

La investigación se realizará en el laboratorio metalúrgico del centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales, durante el periodo de 2018-2019.

1.5.3. Delimitación de Recursos.

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabalidad el trabajo de investigación.

1.6. VIABILIDAD DE ESTUDIO.

La realización de la presente investigación es viable, por cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe del laboratorio metalúrgico centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.2.1. Investigación Relacionada con el Estudio.

2.2.1.1. Tesis Internacionales.

Las investigaciones referentes al tema a tratar en el ámbito internacional se describen en los párrafos que a continuación se detalla para darle sustento a la investigación que se desarrollara.

Según (Hofmann) sobre aplicación del amoníaco como lixiviante ecológico de minerales auroargentíferos, concluye:

Los pobres resultados obtenidos en el método de lixiviación a presión atmosférica, bajo las condiciones desarrolladas, pueden atribuirse a una baja cinética de reacción por una insuficiencia de oxígeno en solución.

La presencia del ion cúprico en forma de complejos de amoníaco, ejerce una gran influencia en la velocidad de reacción, obteniéndose los mejores resultados en la lixiviación por ambos métodos, a una concentración de $[\text{Cu}^{2+}] = 0.25 \text{ M}$.

El mecanismo de reacción de la disolución del oro y la plata más adecuado para describir el comportamiento demostrado durante la lixiviación en equipo autoclave es el de tipo químico heterogéneo, dado el gran efecto de la temperatura y la concentración de los reactivos sobre la cinética,

El límite de estabilidad del equilibrio dinámico formado por el sistema de complejos amoniacales por las tres fases iónicas (Au^+), (Cu^+) y (Cu^{2+}) parece encontrarse entre los 150 y 175°C.

El comportamiento observado en ambos métodos de lixiviación desarrollados en esta investigación, parecen aproximarse al esperado, según el modelo a nivel electroquímico propuesto, dado el efecto en la cantidad de cobre y oxígeno disueltos en la cantidad de oro y plata lixiviados.

La mejor recuperación de oro obtenida mediante la lixiviación en equipo autoclave desarrollado en esta tesis fue del orden del 85 % en un lapso de 2 h, a una temperatura de 150°C y una concentración de $[\text{Cu}^{2+}] = 0.25 \text{ M}$.

El resultado de hacer una comparación entre esta tesis y la bibliografía revisada sobre los sistemas de lixiviación de minerales en soluciones amoniacales, es haber alcanzado a menor temperatura en el mismo lapso, recuperaciones de oro similares a las logradas en equipos autoclave, además de encontrar una similitud en la sensibilidad que presenta la disolución del oro, respecto a la concentración de los agentes oxidantes y la influencia de la temperatura en la cinética de reacción (Hofmann, 2008, pág. 60).

En su trabajo (Lopez) sobre, estudio comparativo de la lixiviación alcalina de una mena aurífera mediante el uso de cianuro de potasio contra el uso de tiosulfato de sodio. Concluye:

La muestra al no estar completamente oxidada y presentar un porcentaje de sulfuros, pudo haber generado degradación tanto del cianuro como por parte del tiosulfato.

La presencia de arcillas en las posibles variedades (montmorillonita sódica o cálcica, Illita, etc.), causa la adsorción irreversible del complejo cianuro de oro

entre las caras de las arcillas, no así la adsorción reversible en los cantos de la arcilla. Esto explica los marcados cambios de las pendientes en las gráficas de recuperación vs. tiempo, ya que se tiene un proceso de adsorción – desorción del complejo cianurado de oro en función del tiempo.

Se utilizaron sólo cantidades un poco mayores a la estequiometrica para la disolución del Au y Ag tanto en la cianuración (0.00095 -0.00314 % KCN, 9.5 a 31.4 ppm) como también en la lixiviación con tiosulfato, con lo cual parte de los reactivos pudieron haber reaccionado con otros elementos. En la práctica cotidiana se utilizan concentraciones diluidas entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón).

De los reactivos de lixiviación cianuro de potasio y tiosulfato de sodio, a pesar de sus bajas concentraciones se observó que el cianuro tiene un mejor desempeño que el tiosulfato de sodio para este mineral en particular (Lopez, 2013, pág. 99).

En su investigación(Carrillo) sobre estudio comparativo de la lixiviación de dos minerales auroargentíferos (oxidado y sulfurado) con cianuro y tiourea, concluye:

Se determinó que el origen de la refractariedad del mineral sulfurado obedece al efecto de atrapamiento de las partículas del metal por especies sulfuradas de pirita, enargita y calcopirita, y por la presencia de cianicidas como el Cu, Zn, As, S, Te y Sb. Por su parte, el mineral oxidado se clasificó como “fácilmente lixiviable”, dado que la mayor parte del oro y la plata se encontraba libre en la matriz mineralógica.

De las pruebas de lixiviación con tiourea se concluye que las condiciones operacionales adecuadas para obtener la mayor disolución de oro en ambos

minerales son: 6 g/L de tiourea, relación molar $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Tu}$ de 1/2, potencial redox = 510 mV/SHE y pH 1.5.

Valores de la relación molar $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Tu}$ superiores a 1/2, además de acelerar la degradación de la tiourea, generan la pasivación de la superficie de las partículas de los metales preciosos, posiblemente con azufre y productos de la hidrólisis del hierro.

Los altos requerimientos de tiourea (6 g/L) para la lixiviación de los minerales son debidos a la necesidad de estabilizar en el medio el disulfuro de formamidina, el cual es el principal responsable de la disolución de los metales preciosos.

Se concluye también, que se requieren potenciales redox altos (mayores a 500 mV vs SHE) para favorecer la estabilización tanto del complejo $\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)^+$ como del disulfuro de formamidina. Potenciales bajos son favorables para la disminución del consumo de tiourea, sin embargo, conllevan también a la disminución de la disolución de los metales preciosos.

Finalmente, se concluye que el proceso de lixiviación con tiourea para extraer oro resulta factible comparada con el cianuro, pero su costo elevado de operación debido a altos consumos de tiourea limita la aplicación del proceso a nivel industrial (Carrillo, 2013, págs. 62-63).

2.2.1.2. Tesis Nacionales.

Los trabajos referentes al tema a tratar en el ámbito nacionales se describen en los párrafos que a continuación se detalla para darle sustento a la investigación que se desarrollara.

Según (Manrique) en su trabajo sobre, manejo de pilas de lixiviación de oro en minera Yanacocha S.R.L. llego a la siguiente conclusión:

El manejo de una pila de lixiviación estática es muy complejo debido al incremento de inventario de oro.

El inventario de oro se incrementa debido a que el mineral no es removido de la pila, ni se cumple con el ratio de solución/mineral (S/O) que es necesaria para tener la recuperación de 72 % obtenida a nivel de laboratorio.

Reducir el porcentaje de mangueras obstruidas en una celda de lixiviación nueva de 10,000 m² de área, de 35% a 1% significa incrementar la lixiviación de aproximadamente 780 onzas de oro y no se quedaría como inventario.

Durante las pruebas la eficiencia de aplicación de la solución se incrementó de 78% a 92 % al usar las mangueras Leach Line.

Las mangueras Leach Line mantienen el coeficiente de uniformidad a medida que transcurren los días, mientras que en las otras mangueras se reduce.

Sin embargo, el dato más importante es el porcentaje de emisores obstruidos (tapados) en el período de 60 días (ciclo de lixiviación), en las pruebas con las mangueras Leach Line llegó solo al 10% mientras que con las mangueras OREMAX fue de 51 %.

El uso a nivel industrial de las mangueras Leach Line, dio como resultado que el porcentaje de taponamiento se reduzca a 1% de taponamiento en cada celda, permitiendo el re uso de las mangueras.

Actualmente el costo por consumo de manguera se ha reducido a 25%, esto es aproximadamente 250,000 dólares de ahorro por año.

El doble ciclo de lixiviación ha dado como resultado el menor consumo de cianuro de sodio.

La concentración de los metales disueltos en la solución rica se reduce sin afectar la recuperación del oro.

Es posible tener precipitados de mejor calidad al no precipitar mercurio y cobre.

Se reduce el consumo de zinc en la planta de precipitación Merrill Crowe al tener menor concentración de otros metales en la solución rica.

La reducción de mercurio en la solución rica mejora las condiciones de seguridad y medio ambiente en el área de retortas.

La reducción del consumo de reactivos en la fundición y retortas, reduce los costos de fundición.

A menor contenido de cianuro libre al final del proceso ocasionará menores gastos para destruir cianuro de los efluentes que van al medio ambiente.

Al regar con una solución de 30 ppm. de cianuro libre se reduce el inventario de oro, porque a esta concentración el cianuro es más selectivo con el oro y disuelve otros metales en menor proporción como lo haría con 50 ppm.

La recuperación depende de la cantidad de cianuro que ingresa a la pila, esto aproximadamente se cumple al alcanzar el ratio de 0.6 S/O.

El 50% de oro se recupera a los 21 días después del inicio del riego de la pila.

Esta es la etapa de mayor consumo de cianuro.

Lixiviar la pila con 50 ppm. después de los 30 días, no va a recuperar más oro, sin embargo, se disolverán más cobre, mercurio y otros metales (Manrique, 2005, págs. 90-91).

En su trabajo (Chavez) sobre, determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados, concluyo:

Del trabajo se puede afirmar que la recuperación de oro y plata en un proceso de lixiviación intensiva de concentrados se incrementa a medida que se incrementa la dosificación de cianuro.

La dosificación óptima de cianuro para alcanzar la mayor recuperación de oro es 168.42 kg/t.

La dosificación óptima de cianuro para alcanzar la mayor recuperación de plata es 171.72 kg/t.

La dosificación mínima de cianuro de 70 kg/t referida por la bibliografía ofrece recuperaciones de 91% para la plata y el oro sin embargo cada planta tiene condiciones diferentes del proceso.

Para la dosificación estándar de cianuro en planta de 187 kg/t se obtuvo recuperaciones de 93.18% de oro y 97.67% de plata.

La cinética de extracción de oro y plata de concentrados es mayor al inicio del proceso, obteniéndose recuperaciones mayores a 90% en las primeras 12 horas, luego se da un proceso de recuperación lenta hasta las 46 horas que finaliza el proceso de cianuración. Esto debido a una posible pasivación de las superficies de las partículas de oro y plata.

El consumo de cianuro es variable, tiende a incrementarse a medida que se incrementa la dosificación de cianuro.

Dosificaciones de cianuro mayores a 130 kg/t, con valores de: 4.72\$/kg cianuro; 1600\$/onza de oro; 28 \$/onza de plata, no son rentables debido a que

el costo de cianuro a incrementar es mayor que el beneficio correspondiente al aporte adicional de finos de oro y plata (Chavez, 2014, pág. 88).

Para (Flores, 2016) en su trabajo sobre, optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – minera Aruntani SAC. Concluye:

En la cianuración del mineral por agitación (N_1 , M_2), se obtiene una recuperación de oro 86.6%, 69.1%, por un periodo de tiempo de 24 horas. Es decir, durante el proceso de optimización por agitación neumática permite el mayor rendimiento en la recuperación de oro.

Los parámetros óptimos en los ensayos de N_1 , M_2 en el proceso de cianuración es de 7.88 kg/tn, 7.13 kg/ton de NaCN, 8.5 kg/ton, 8.5 kg/tn de CaO.

Se realizó el diseño de diagrama de flujo combinado de lixiviación dinámica de minerales auro-argentíferos, siendo el proceso de tratamiento apropiado para el mineral la cianuración convencional por agitación neumática, ya que la granulometría muy fina es apropiada para este tipo de cianuración, trabajando con una densidad de pulpa de 1300 kg/m³.

Durante el proceso de adsorción, en función del tiempo y la densidad, se observa que la máxima recuperación de Au es cuando la densidad de la pulpa es 1300 kg/m³ siendo el porcentaje de recuperación del 96 % en un tiempo de 24 h, y la mínima ocurre en un tiempo de 12 h con un 94 %.

De acuerdo a la tabla 19 de respuesta optimizada del índice de recuperación, el valor óptimo es 1,80621, a su vez nos muestra la combinación de niveles de factores que maximiza Y.

Por encima de la región indicada. Además, indica la región en la que se realizara la optimización.

Tomando como regencia solamente los puntos (...), se deduce que se obtiene una mejor recuperación para ambas pruebas luego de transcurridas las 24 horas, sin embargo cabe indicar que éstos puntos extremos de densidades no son aconsejables; se ha comprobado que en un circuito CIP el carbón en una pulpa con densidad baja tiende a flotar en la misma, evitando así el contacto de la pulpa con la superficie de éste, de igual manera cuando se trabaja con densidades de pulpas altas, como del orden de los 1550 Kg/m^3 , resultara dificultoso la agitación o aireación de la misma sumando a esto que el carbón no tendrá la suficiente libertad de movimiento evitando así exponer aleatoriamente su superficie en la pulpa para efectos de adsorción.

2.2.2. Otras Publicaciones.

Para (Figueredo, y otros) en su trabajo sobre, estudio de la cinética de lixiviación de oro y plata por cianuración de una mena cuarzosa de origen epitermal, concluyeron:

Se demostró la compatibilidad de las menas con el proceso de lixiviación con cianuro de sodio, alcanzándose una alta eficiencia de extracción para el oro de hasta un 95% y un tiempo de lixiviación óptimo de 12 horas.

El mineral de oro se observó cómo inclusiones muy finas en el cuarzo y el feldespato, con una granulometría que oscila entre 3 y $10 \mu\text{m}$.

Un aumento del grado de molienda hasta un 90%- $0,074\text{mm}$, incrementó en un 2% la extracción de oro con respecto a moler a un 80%- $0,074\text{mm}$.

El comportamiento de los cianocidos (Cu, As, Pb, Zn, Sb, Fe) en las menas reportó concentraciones muy bajas, que favorecen el proceso de lixiviación-adsorción y fundición.

Los consumos obtenidos para el cianuro (1,64kg/t) y la cal (2,2kg/t) son aceptables para el procesamiento industrial de las menas (Figueredo, y otros, 2015, pág. 9).

Para (Arias, Fernández, Sánchez, & Lasserra) en su trabajo sobre, influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba, concluyen:

No se cumple con la recuperación de oro según parámetro del proceso (63 %), que representa 12,87 kg de oro lográndose un 46,14 % (9,43 kg de oro) dejando de extraerse 3,44 kg de oro.

El mineral triturado y aglomerado (pellets), el pH y las concentraciones de cianuro de la lixiviación se mantienen dentro de los parámetros del proceso por lo que no constituyen la causa del problema en la recuperación de oro durante la lixiviación en la recuperación de oro.

El metal cobre es el que está afectando fundamentalmente la recuperación del oro durante la lixiviación ya que se observa un incremento notable de sus concentraciones desde 100 a 160 g/m³ debido a la cinética de disolución del cobre con el cianuro y al que se incorpora durante la recirculación de la solución de irrigación.

Para mantener dentro de parámetros las concentraciones de cianuro fue inevitable un sobreconsumo de este reactivo hasta 0,69 kg de cianuro por tonelada de mineral pasado a proceso, trayendo como consecuencia que se

alimentaran al proceso 1,39 t de NaCN por encima del planificado así como gastos no planificados de 8087,23 USD (Arias, Fernández, Sánchez, & Lasserra, 2016, pág. 475).

Para (Hidalgo, Diaz, Vazan, & Sarquis, 2013), sobre mejora en la recuperación de Au y Ag mediante cianuración en escorias de fundición, concluyeron:

Se concluye que para mejorar la recuperación de Au y de Ag, concentrados en la centrífuga Knelson, es necesario lixiviar las colas provenientes de este proceso a través de una lixiviación intensiva.

Se confirma que las mejores condiciones de lixiviación son: 4000 g/cm³ de NaCN, aireación artificial, en un tiempo de 98 horas, para obtener la mayor extracción de metales preciosos con una recuperación de 90.4 % Au y un 45.6% de Ag, del contenido residual de las colas gravitacionales.

A través del diseño experimental planteado, se encuentra que estas condiciones son favorables para recuperar 268.35 g/t de Au y 255.67 g/t de Ag, con concentración centrífuga y 5.66 g/t de Au y 41.53 g/t de Ag mediante la aplicación de la lixiviación intensiva en la cola gravitacional.

2.3. BASES TEÓRICAS.

2.1.1 Compuestos cianurados.

Una de las razones para el alto valor adjudicado al oro es su resistencia al ataque de la mayoría de los agentes químicos. Una excepción es el cianuro o, más específicamente, una solución que contiene cianuro y que disuelve el metal precioso.

Como se apuntaba en la introducción, el término “cianuro” sirve para designar a una familia de compuestos químicos inorgánicos que se caracterizan por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace triple. Algunos autores han descrito al cianuro como un pseudo-halógeno (Chatwin, 1990). Sin embargo, esta analogía no es siempre adecuada, especialmente en términos de formación de complejos metálicos (Cotton y Wilkinson, 1972).

Debido a sus propiedades químicas, el cianuro es importante tanto para la industria como para el medio ambiente. Su interés industrial deriva de que es un fuerte agente “ligante” en forma iónica, capaz de formar compuestos metálicos estables con casi cualquier metal pesado en bajas concentraciones. (Álvarez García, 2005)

2.1.2 Lixiviación dinámica.

Uno de los métodos de disolución de oro más utilizado en el mundo, es la cianuración por agitación o lixiviación contracorriente, debido a la elevada velocidad de reacción, las altas recuperaciones de oro obtenidas y porque funciona para una amplia variedad de minerales. En

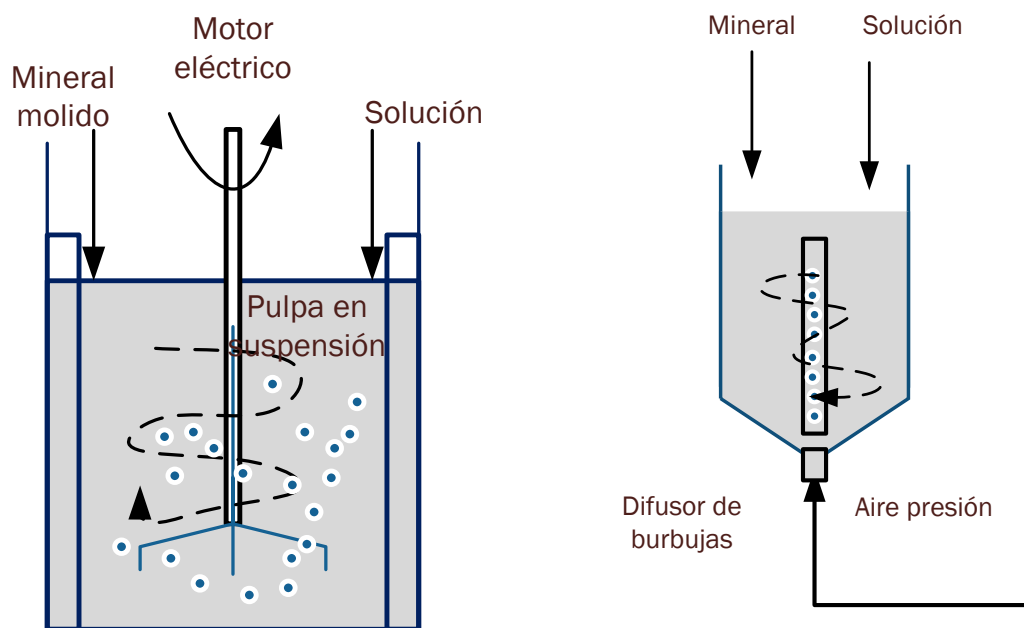
contraposición tiene costos más altos de instalación y operación respecto de los métodos en pilas, por lo que se aplica solo a menas que poseen leyes económicas. La elevada cinética de lixiviación de oro se debe primordialmente a la mejor liberación del oro, producto de una reducción de tamaño mayor.

El proceso de agitación funciona muy bien para minerales con tamaños inferiores a 150 μm , existiendo operaciones que trabajan con minerales a d_{80} inferiores a 45 μm . Tamaños mayores incrementan el desgaste de las paletas de agitación por efecto de la abrasión y existe mayor dificultad de mantenerlos en suspensión. (Alfonso & Silvana., 2009)

La densidad de pulpa utilizada varía entre 35–50% de sólidos, dependiendo del tamaño de las partículas, la gravedad específica y la presencia de minerales que incrementan la viscosidad de la pulpa, como las arcillas. El proceso de cianuración se inicia con la regulación del pH de trabajo entre 9,5 – 11,5, mediante la adición de la cal, previa a la adición de cianuro. Estas adiciones pueden realizarse en el tanque de cianuración o previamente en el molino. (Alfonso & Silvana., 2009)

La variante de lixiviación dinámica puede realizarse de manera discontinua esto se prefiere en el caso de tener altos valores metálicos en pequeños tonelajes, mientras que se busca la operación continua a gran escala. (Canales Juárez, 2013).

Figura 1. Equipo de Lixiviación dinámica por agitación mecánica y neumática



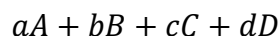
2.1.3 Cinética de la lixiviación

La velocidad con que se llega al estado de equilibrio de una fase, involucrada en un proceso de un determinado elemento se denomina cinética. En cinética se acostumbra a distinguir a dos tipos de reacciones; homogéneas y heterogéneas. El primer término se refiere a reacciones que ocurren dentro de una sola fase, es decir, entre las moléculas de un gas o en una solución. Una reacción se denomina heterogénea si hay más de una fase involucrada. Por ejemplo, la corrosión de un metal, disolución de un mineral o precipitación de un metal con hidrogeno puede incluir difusión en una solución.

En un sistema cinético complejo el progreso de la reacción puede seguirse ya sea midiendo la velocidad de desaparición de reactivos o la velocidad de aparición de productos. La cantidad de cada uno dependerá de la estequiometría global de la reacción. Esto se puede

expresar mejor en términos de la velocidad racional que es la velocidad de aparición o desaparición de un componente dado dividido por su coeficiente estequiométrico.

Reacción general:



$$r_r = \frac{dn_A}{a} = \frac{dn_B}{b} = \frac{dn_C}{c} = \frac{dn_D}{d}$$

En general, para reacciones heterogéneas la etapa controlante de la velocidad puede ser una sola o una combinación de las siguientes etapas:

- a Difusión de reactivos desde el seno de la solución a la superficie del sólido.
- b Reacción de los reactivos en o con la superficie sólida.
- c Difusión de productos desde la superficie al seno de la solución.
- d Si la reacción produce un sólido o deja un residuo sólido poroso hay dos etapas adicionales que son:
 - Difusión de reactivos a través de la capa de producto sólido.
 - Difusión de productos a través de la capa de producto sólido.

2.1.4 El cianuro en solución

Después de haber extraído el oro por medio de procesos hidrometalúrgicos, pueden estar presentes cuatro tipos principales de compuestos de cianuro en los efluentes residuales o en las soluciones de los procesos: cianuro libre, cianuro WAD, cianuro SAD y formas cianuradas

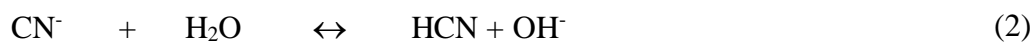
insolubles. Juntos, los cuatro tipos de compuestos constituyen el denominado “cianuro total”. El conocimiento de sus propiedades físico-químicas y de su comportamiento en solución será clave para comprender su importancia respecto de la seguridad y el medioambiente. Los compuestos cianurados existen a temperatura estándar (25°C) en fase sólida, líquida y/o gaseosa, y bajo diferentes formas moleculares e iónicas. (Álvarez García, 2005)

2.1.5 Cianuro libre.

“Cianuro libre” es el término utilizado para describir tanto al ión cianuro (CN^-) que se disuelve en el agua del proceso, como al ácido cianhídrico (HCN) que se forma en la solución. En los procesos de cianuración mineros, las briquetas sólidas de cianuro de sodio se disuelven en el agua para formar el anión de sodio (Na^+) y el ión cianuro (CN^-). El ión cianuro se puede combinar luego con el ión hidrógeno para formar HCN molecular, según la reacción:



En solución acuosa, sería más acertado considerar el siguiente equilibrio:



La medida en que esta reacción se desplace a uno u otro lado depende casi exclusivamente del pH de la solución. Si el pH no es muy elevado, la concentración de protones (H^+) en el agua será importante y la reacción (1) se encontrará desplazada a la derecha y de acuerdo con el principio de Le Chatelier. Así, a valores de pH bajos, predominará el ácido cianhídrico (fase estable) sobre el ión cianuro. En cambio, si el pH es elevado, la concentración

de protones será pequeña y la reacción (1) estará desplazada hacia la izquierda, predominando entonces la forma iónica. En condiciones normales de temperatura y presión, las concentraciones de HCN y CN^- son iguales a un valor de pH de aproximadamente 9,4. Las proporciones relativas de ambos compuestos en función del pH quedan reflejadas en la siguiente gráfica (modificada de Scott y Engles, 1981):

Figura 2. Equilibrio HCN/ CN^- en función del pH.

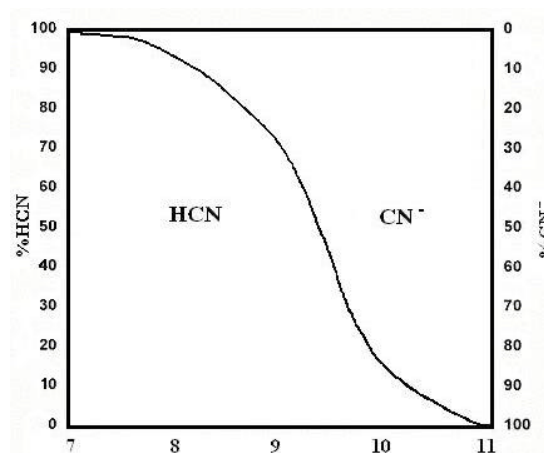
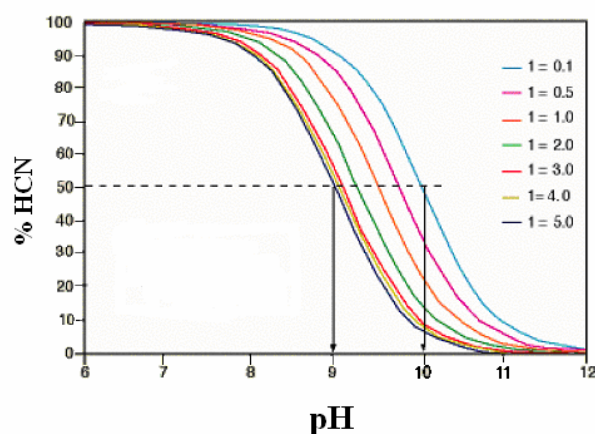


Figura 3. Variación del balance HCN/ CN^- con la salinidad



Sólo el CN^- forma complejos con metales y únicamente el HCN es volátil a partir de soluciones acuosas, razón ésta por la que los procesos de cianuración deben operar a valores de pH elevados; de otra forma, su reactivo ligante (CN^-) se perdería por volatilización, ya que el

punto de ebullición del ácido cianhídrico es de 25,7°C y posee una elevada presión de vapor (100 KPa a 25°C) (Meehan, 2001). Así, con el fin de retener el cianuro en la solución y controlar las emisiones de ácido cianhídrico en el lugar de trabajo, se agrega cal para que reaccione con los posibles protones que pueda haber en solución.

En la planta de extracción de oro, los operadores mantienen el pH de la solución a valores cercanos a 10,5 con el fin de impedir la volatilización. Esto preserva el cianuro en el sistema de extracción de oro, donde es necesario y, al mismo tiempo, limita el riesgo de inhalación por parte de los trabajadores de altas concentraciones de HCN gaseoso en un espacio cerrado. (Álvarez García, 2005)

2.1.6 Proceso de 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 por Elsher en su Journal Prakchen (1946), es la siguiente:



La química involucrada en la disolución de oro y plata en el proceso de cianuración en pilas es la misma aplicada en los procesos de cianuración por agitación.

El oxígeno, esencial para la disolución del oro y plata, es introducido en la solución de cianuro mediante la inyección directa de aire al tanque solución de cabeza, por irrigación en forma de lluvia y por bombeo de la solución recirculante.

La velocidad de disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida, lo que hace que el proceso de disolución sea un proceso heterogéneo; la velocidad de disolución depende también de la velocidad de agitación lo que indica que el proceso sufre la presión de un fenómeno físico. (Guerrero Escate, 2011)

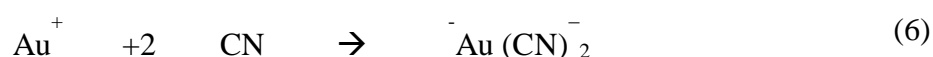
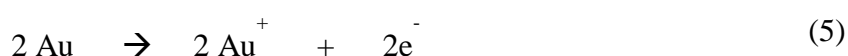
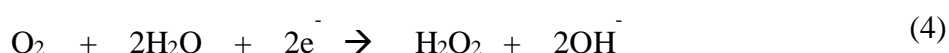
2.2.6.1 Termodinámica de la cianuración.

Los diagramas de Pourbaix que relacionan el potencial de óxido-reducción (Eh) del metal con el PH del Medio muestran que compuestos como: $\text{Au}(\text{OH})$; AuO_2 ; $(\text{HAuO}_3)^{-2}$ y también el ión $(\text{Au})^{+3}$ requieren elevados potenciales Redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. La lixiviación del oro metálico es, por lo tanto, muy difícil a causa de la gran estabilidad de este último.

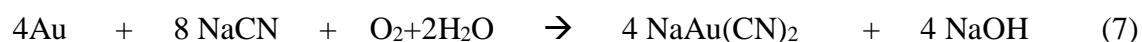
En el diagrama Au-H₂O-CN, no obstante, la reacción: $\text{Au}(\text{CN})_2 + e \leftrightarrow \text{Au} + 2 \text{CN}$, se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del agua. El campo de estabilidad del complejo aurocianuro está limitado por una recta que inicialmente muestra una pendiente pronunciada (efecto hidrólisis del cianuro a pH menor a 9) tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico, hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por formación de aurocianuros. En el mismo gráfico se puede observar que los compuestos $\text{Au}(\text{OH})_3$, Au^{+3} y $(\text{HAuO}_3)^{-2}$ son reducidos por la introducción del cianuro. (Coila Ramirez, 2012)

2.2.6.2 Mecanismo electroquímico

La disolución del oro está regida por los principios electroquímicos de la Corrosión, la explicación esquemática de este fenómeno se facilita (mediante la reacción 2), la reducción del oxígeno sobre la superficie metálica en la zona catódica va acompañada por la oxidación del oro en la zona anódica de acuerdo a las siguientes reacciones: (Coila Ramirez, 2012)



Ecuación fundamental de la Cianuración:



2.2.6.3 Cinética de disolución del oro.

Una reacción fisicoquímica en el cual se hallan involucradas una fase sólida y otra líquida se consume en las cinco etapas siguientes: (Coila Ramirez, 2012)

- 1) Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólido-líquido.
- 2) Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
- 3) Reacción en la superficie.
- 4) Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
- 5) Difusión de estos productos de la interfase sólido-líquido a la solución.

2.2.6.4 Factores que afectan la disolución de oro.

Los principales factores que se deben tener en cuenta en el proceso de cianuración son:
(Alfonso & Silvana., 2009)

a) Concentración de cianuro.

La razón de disolución del oro en soluciones cianuradas aumenta linealmente con la concentración de cianuro, hasta que se alcanza o se produce un máximo, más allá del cual un incremento en la concentración de cianuro no aumenta la cantidad de oro disuelto, sino por el contrario tiene un ligero efecto retardante.

b) Concentración de oxígeno.

La concentración de cianuro es relativamente fácil de controlar, no así la del oxígeno, debido a su escasa solubilidad en agua bajo condiciones atmosféricas, a nivel del mar y 25 °C se puede tener en solución 8,2 mg O₂/litro (0.082 g/litro).

Por esta razón se dice que la cianuración está controlada por fenómenos de transporte. El cianuro es fácil de adicionar, pero el oxígeno es difícil de controlar en solución.

Se ha determinado, con valores experimentales y prácticos, que es adecuado tener una relación [CN⁻]/ [O₂] cercana a 6, para tener la máxima velocidad de disolución de oro.

La máxima concentración de oxígeno en la solución podrá ser de 8 mg/l, entonces la máxima razón de disolución del oro sobre condiciones ideales de agitación y aireación pueden tener lugar en soluciones que contengan 0,0098% NaCN (0,098 g/l).

c) **Temperatura.**

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

d) **pH y alcalinidad**

Para prevenir pérdidas excesivas de cianuro por hidrólisis, el proceso de cianuración se lleva a cabo con valores de pH superiores a 9.4. El efecto del pH en la disolución de oro en valores mayores a 9,5 depende de los minerales que se encuentren como constituyentes de la mena, así como también del álcali empleado para su regulación.

En algunos casos, la velocidad de disolución del oro puede disminuir con el incremento del pH, ya que se aumenta la velocidad de las reacciones que interfieren en el proceso. El valor óptimo de pH en el que se debe trabajar deberá ser determinado de acuerdo a las características de cada mineral en particular.

En el proceso de cianuración es muy importante considerar que, para la disolución del oro, se requiere tener en solución, el ion CN^- . Si se opera a un valor de pH menor que 10, el cianuro libre estará en mayor proporción como HCN, que es muy volátil a temperatura ambiente, y genera problemas de salud por inhalación, ya que este es un gas venenoso. En la práctica se debe trabajar con valores de pH superiores a 10.5 para evitar la formación de HCN y favorecer la presencia del ion CN^- .

e) Área superficial y tamaño del oro.

La velocidad de disolución del oro es proporcional a la superficie expuesta del oro, la misma que dependen del tamaño de la partícula mineral y del grado de liberación del metal precioso. En general, la velocidad de disolución aumenta con el menor tamaño de partícula (mayor liberación de oro).

Sin embargo, al decrecer el tamaño de la partícula, se incrementan también las reacciones de competencia de otros elementos, por tanto, se debe encontrar un compromiso entre el tamaño de la partícula, el porcentaje de extracción del oro y el consumo de cianuro.

f) Efecto de la agitación.

La disolución de oro está usualmente controlada por el transporte de masa y depende del espesor de la capa de difusión, por esto si se incrementa la agitación, aumenta la velocidad de disolución, hasta un máximo sobre el cual este efecto ya no tendrá mayores beneficios.

g) Constituyentes de la mena o procedentes de otros procesos.

Ciertos constituyentes de la mena o reactivos de operaciones anteriores, pueden ejercer un efecto positivo o negativo sobre las reacciones de cianuración. Así, los reactivos de flotación ejercen un efecto inhibitor sobre dichas reacciones.

Los compuestos minerales de la mena, donde se incluyen algunas especies de cobre, hierro, zinc, plomo, arsénico, antimonio, entre otros, consumen cianuro y oxígeno, por consiguiente, se requiere mayor concentración en solución para lograr tasas aceptables de extracción.

Las sustancias carbonáceas adsorben el oro disuelto, lo que disminuye la extracción del metal precioso y el material arcilloso genera problemas de recuperación si el oro está asociado directamente a las arcillas en tamaños similares al de ellas, como se ha señalado anteriormente.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- a. **Agitación.** Acto o estado de agitar o sacudir mecánicamente (Metalurgia), a veces se consigue incorporando aire comprimido.
- b. **Alta calidad.** Mineral rico. Se refiere a la minería selectiva del mejor mineral existente en un depósito.

- c. **Cianuración.** Un método de extracción de oro o plata expuestos de mena terrosa o molida disolviéndola en una solución débil de cianuro de sodio o calcio. Puede ser llevada a cabo en tanques dentro del molino o en pilas de mena en el exterior.
- d. **Cianuro disociable en ácido débil o cianuro WAD** (*Weak Acid Dissociable*): es un término analítico utilizado para designar a los compuestos de cianuro que se disocian bajo reflujo con un ácido débil, normalmente a pH 4,5.
- e. **Cianuro disociable en ácido fuerte o cianuro SAD** (*Strong Acid Dissociable*): es otro término analítico utilizado para designar a compuestos cianurados que resisten el ataque de un ácido débil, pero se disocian en presencia de un ácido fuerte a bajo pH (en torno a 2).
- f. **Cianuro Total (TCN):** se denomina así a todos los compuestos de cianuro (disueltos o no) existentes en una solución acuosa.
- g. **Cianuro.** Es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. Los compuestos de cianuro contienen sustancias químicas (antropogénicas) que se encuentran presentes en la naturaleza o que han sido producidas por el hombre. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro sólido de sodio y de potasio. Debido a sus propiedades únicas, el cianuro se utiliza en la fabricación de partes metálicas y en numerosos productos orgánicos comunes como los plásticos, las telas sintéticas, los fertilizantes, los herbicidas, los tintes y los productos farmacéuticos.
- h. **Compuestos complejos de cianuro:** son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un anión que contiene al ión cianuro. El anión, denominado “complejo”, puede seguir disociándose, produciendo en última instancia un catión y varios aniones cianuro (por ejemplo, el $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$).

- i. **Compuestos simples de cianuro:** son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un ión cianuro. Son las sales que provienen de reacciones ácido-base como, por ejemplo, el cianuro de sodio (NaCN).
- j. **Contenido Metálico.** Cantidad que expresa el peso total del uno ó varios metales en una cantidad determinada de producto. Se calcula multiplicado el tonelaje de un producto por su ley y se expresa en toneladas, onzas, gramos, etc., dependiendo del metal en cuestión.
- k. **Drenaje.** Se llama drenaje a aquel método que se utiliza con el objetivo de realizar la desecación de un determinado terreno a través del empleo de conductos subterráneos. Entonces, una red de drenaje, tal como se denomina a la técnica, consiste en aquel transporte superficial, tales como lagos, ríos, que alimentarán con la lluvia o con la nieve una vez fundida y entonces permeabilizará aquellas capas superiores de un terreno, constituyendo más luego arroyos.
- l. **Ganga.** Material inútil que envuelve y acompaña a los minerales. Compuesto por sílice, alúmina, óxidos de calcio y otros materiales durante el proceso de fusión constituyen la escoria, material estéril que se desecha.
- m. **HCN (molecular):** el HCN molecular es una molécula neutra a la que se denomina ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno. Al grupo formado por el ión cianuro y el ácido cianhídrico se le conoce como “cianuro libre”.
- n. **Ión cianuro:** este término se refiere únicamente al anión CN^- en solución.
- o. **Ley.** Es el parámetro que expresa la calidad de un mineral, un concentrado, o cualquier producto que contenga especies metálicas. Normalmente la ley se expresa en porcentajes cuando se trata de metales básicos Onzas por tonelada corta (oz. /TC) o onzas por tonelada métrica (oz. /TM) o gr./TM cuando se trata de oro, plata u otro metal precioso.

- p. **Lixiviación.** La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.
- q. **Mena.** Se denomina así a toda acumulación de mineral con contenido valioso recuperable por algún proceso metalúrgico.
- r. **Mineral.** Sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza del globo, y principalmente aquella cuya explotación ofrece interés. Parte útil de una explotación minera.
- s. **Mineral.** Una sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definidas y que, si se forma en condiciones favorables, tiene una forma de cristal definida.
- t. **Optimización.** Es el proceso de modificación de un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.
- u. **Oro.** Metal precioso de color amarillo brillante muy dúctil y maleable, que es resistente a la corrosión por aire y por agua.
- v. **Oxidación.** Reacción química provocada por la exposición al oxígeno modificando la composición química de un mineral.
- w. **Óxido.** Compuesto que resulta de combinar oxígeno generalmente con un metal, o a veces con un metaloide. Capa, de diversos colores, que se forma en la superficie de los metales por oxidación, como el orín.
- x. **pH.** Manera de expresar la concentración de ión hidrógeno con términos de potencias 10, el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno.

- y. **Planta.** Instalación industrial. Figura que forman sobre el terreno los cimientos de un edificio o la sección horizontal de las paredes en cada uno de los diferentes pisos.
- z. **Plata.** Metal muy maleable que se encuentra naturalmente en un estado no combinado o con otros materiales.
- aa. **Proceso.** Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.
- bb. **Purificación.** La purificación permite eliminar las impurezas eliminar, aislando selectivamente los elementos valiosos. Se basa en extraer del lixiviado un metal que nos interesa, traspasándolo a un disolvente orgánico. De esta manera hacemos permanecer los demás metales en el lixiviado, a la vez que concentramos el metal deseado en un volumen menos de diluyente, ahora de naturaleza orgánica.
- cc. **Soluciones Ricas.** Son soluciones acuosas que tiene iones del metal valioso extraídos a partir del cual debe ser posible separar este metal y recuperarlo con un alto nivel de pureza, ya que también contiene una gama de impurezas.

2.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

2.5.1. Hipótesis General.

Realizando un estudio de la cinética en la cianuración de minerales auríferos, por consiguiente, nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo.

2.5.2. Hipótesis Específicas.

- Con un control del tiempo optimo, se tendrá una recuperación de oro en la cianuración de minerales auríferos
- Con una administración adecuado de la fuerza del cianuro, será posible una extracción de oro en un determina tiempo optimo en la cianuración de minerales auríferos.
- Con un control adecuado de la ley de cabeza, la extracción de oro será optimo en un determinado tiempo en la cianuración de los minerales auríferos.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Para las operaciones de las variables se tiene en cuenta en la cinética de la cianuración donde: el tiempo, fuerza y ley de cabeza tendrá una influencia en la extracción y recuperación del oro en el presente estudio.

Tabla 1. Variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
Independiente			
Cinética	Es la aceleración en la extracción de oro en el tiempo.	Parámetro	- Tiempo - Fuerza - Ley
Dependiente			
Extracción	Es el proceso de diluir al oro desde el estado sólido que se encuentra en los minerales, a la forma iónica en la solución.	Control	- Recuperación.
Intervinientes			
		Preparación	- Granulometría. - Densidad de pulpa. - pH. - Agitación

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.

3.1.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es experimental por que se caracteriza porque en ella el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (Bernal, 2010).

De acuerdo a su naturaleza: Experimental.

De acuerdo al propósito o utilización: aplicativa.

Se realiza investigación experimental y aplicativa, en este trabajo ya que se realiza experimental al nivel de laboratorio con un control mínimo a fin de encontrar las condiciones óptimas del estudio.

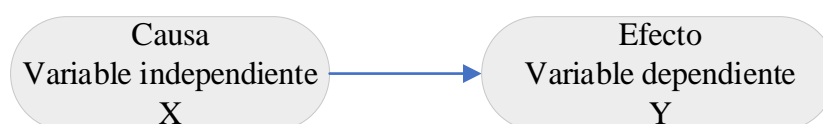
3.1.2. Nivel de Investigación.

Es una investigación nivel predictiva o experimental por que se aplicara métodos y técnicas para mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al estudio de investigación (Carrasco, 2005).

3.1.3. **Diseño de la Investigación.**

En el presente estudio se aplicará el diseño experimental, ya que se manipulará las variables independientes, para observar su efecto sobre la variable dependiente con una situación de control (Fernandez, 2014).

Figura 4 Esquema de experimento y variable



3.1.4. **Enfoque de la Investigación.**

El enfoque del presente estudio es cuantitativo, porque el estudio son variables o fenómenos cuantificables o fácilmente mensurables. “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría” (Fernandez, 2014).

3.1.5. **Estrategias o Procedimientos de Contrastación de Hipótesis o Cumplimiento de Objetivos Técnicos.**

Se aplicará las siguientes técnicas de investigación:

- **Técnica de Muestreo.**

Tipo de Muestreo estratificado (incremento).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

Estará representado por el mineral auríferos de la cancha de minerales.

3.2.2. Muestra.

La muestra para el trabajo de investigación se extraerá de la cancha de minerales y el muestreo se extraerá por el método estratificado por palas aproximadamente 100kg de minerales auríferos, posterior mente se preparará mineral de 1.0 kilo para las pruebas y 100 gramos para el análisis.

3.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. Técnicas.

a. Observación sistemática Directa.

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

b. Observación Sistemática Indirecta.

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

c. Observación experimental.

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo experimental para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

d. Otras Técnicas.

Técnica de cuestionario.

3.3.2. Instrumentos.

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

3.4. Técnica de procesamiento de la Información.

Se usará el análisis estadístico, usando programas de cálculo como Excel, SPSS, minitab 17; para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar y otros.

3.5. Aspectos Éticos.

Todo trabajo de investigación debe ser inédito.

3.6. Matriz de Consistencia.

Tabla 2. Matriz de consistencia general

Titulo		Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores
		Generales	General	General	Independiente	
EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL MEDIANTE LA CINÉTICA EN LA CIANURACIÓN		¿En qué medida la cinética en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo?	Evaluar en qué medida la cinética en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo.	Realizando un estudio de la cinética en la cianuración de minerales auríferos, por consiguiente, nos permitirá la extracción del oro en un determinado tiempo óptimo.	Cinética	- Tiempo. - Fuerza - Ley

Tabla 3. Matriz de consistencia específico

Título	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis H. Específicos	Variable Depend.	Indicad.
EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIMENTAL MEDIANTE LA CINÉTICA EN LA CIANURACIÓN	- ¿En qué medida el tiempo, influirá en la recuperación de oro en la cianuración?	- Evaluar el tiempo optimo, en la recuperación de oro en la cianuración de minerales auríferos.	- Con un control del tiempo optimo, se tendrá una recuperación de oro en la cianuración de minerales auríferos	Extracción	-Recuperación.
	- ¿En qué medida la fuerza del cianuro, influirá en la extracción de oro en la cianuración?	- Evaluar la fuerza del cianuro, en qué medida influirá en la extracción de oro en la cianuración de minerales auríferos.	- Con una administración adecuado de la fuerza del cianuro, será posible una extracción de oro en un determina tiempo optimo en la cianuración de minerales auríferos.		
	- ¿Tendrá algún efecto la ley de cabeza, en la extracción de oro en la cianuración?	- Evaluar el efecto la ley de cabeza, en la extracción de oro en la cianuración de los minerales auríferos.	- Con un control adecuado de la ley de cabeza, la extracción de oro será optimo en un determinado tiempo en la cianuración de los minerales auríferos.		

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Condiciones de trabajo del mineral.

4.1.1. Leyes de mineral.

En el análisis de mineral se tiene mineral sulfurado retenido a la malla 150 una muestra y dos muestras pasante a malla 150 y el resultado obtenido promedio para cada muestra se describe a continuación.

a. Análisis para las pruebas realizadas.

Tabla 4 Análisis químico de la primera prueba

Característica	(Malla + 150)	(Malla – 150) ₁	(Malla – 150) ₂	Ley promedio
Oz/Tc	0.052	0.355	0.352	0.406

Nota: Fuente laboratorio químico.

El promedio de las leyes obtenidos para las cuatro pruebas fue de 0.406 oz/Tc para el presente estudio minerales sulfurados.

4.1.2. Condiciones de las pruebas de cianuración por agitación.

En las pruebas realizadas se realizaron agitación por botellas, para las cuatro pruebas a minerales sulfurados durante 40 horas como regulador de pH hidróxido de sodio y medio lixiviador cianuro de sodio como se describe a continuación.

a. **Condiciones de cianuración por agitación para las pruebas realizadas.**

Tabla 5 Condiciones de la cianuración para la primera prueba

Característica	Valor	Unidad
Peso del mineral:	1000	g
Granulometría(-m200):	85	%
Relación L/S:	3.00	
Volumen de solución:	3.0	litros
pH natural:	6.5	
pH a mantener:	11.0	
Fuerza de CN ⁻ a mantener:	0.15	%

Nota: Fuente laboratorio metalúrgico de ensayo.

4.2. Resultados obtenidos .

En los resultados obtenidos en las pruebas de cianuración en agitación a nivel laboratorio se tiene 4 resultados en lo cual se detallan el consumo de hidróxido de sodio, cianuro de sodio, recuperación en función al tiempo.

4.2.1. Resultados de la primera prueba de cianuración por agitación.

Tabla 6 Resultado de la cianuración de la primera prueba de cianuración por agitación

		NaOH				NaCN			
Hora	Hora	gramos	Consumo Kg/TM		pH		Fuerza	Consumo Kg/TM	
Control	Acumul	Adición	Parcial	Acumul.	Inicio	Final	Final (%)	Parcial	Acumul.
0	0	2.13	2.13	2.13	6.5	11.0	0.150		
1	1	0.00	0.00	2.13		11.0	0.007	4.29	4.29
1	2	0.00	0.00	2.13		11.0	0.010	4.20	8.49
2	4	0.00	0.00	2.13		11.0	0.017	3.99	12.48
2	6	0.00	0.00	2.13		11.0	0.041	3.27	15.75
4	6	0.00	0.00	2.13		11.0	0.080	2.10	17.85
4	10	0.00	0.00	2.13		11.0	0.120	0.90	18.75
6	16	0.00	0.00	2.13		11.0	0.146	0.12	18.87
8	24	0.00	0.00	2.13		11.0	0.134	0.48	19.35
8	32	0.00	0.00	2.13		11.0	0.124	0.78	20.13
8	40	0.00	0.00	2.13		11.0	0.122	0.84	20.97

EXTRACCIONES:

Análisis del residuo: **0.019** OzAu/TC % Extracción: **95.31** **Au**

Nota: Procesada mediante Excel de los resultados obtenidos de la primera prueba de cianuración.

El resultado de la primera prueba de cianuración por agitación se obtiene consumo de NaOH 2.13 kg/TM, para el NaCN 20.97 gkg/TM en 40 horas de agitación con una extracción de 95.31% quedando en el residuo de 0.019 oz/TC.

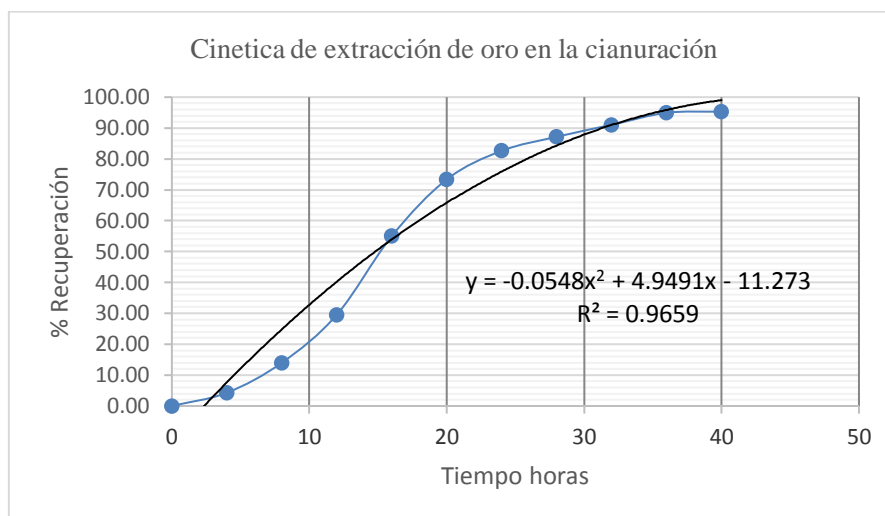
a. Cinética de recuperación de oro en la cianuración primera prueba.

Tabla 7. Recuperación del oro en función al tiempo 1^{era} prueba

Tiempo hora	g/L Au	g Au	%Recuperación
0	0.00000	0.00000	0.00
4	0.00020	0.00060	4.29
8	0.00065	0.00195	14.00
12	0.00137	0.00411	29.54
16	0.00255	0.00765	55.00
20	0.00340	0.01020	73.35
24	0.00383	0.01149	82.62
28	0.00404	0.01212	87.16
32	0.00422	0.01266	91.04
36	0.00440	0.01320	94.93
40	0.00442	0.01325	95.31

Nota: Procesada en Excel en función del tiempo y recuperación en la cianuración primera prueba.

Figura 5 Recuperación del oro en función al tiempo 1^{era} prueba

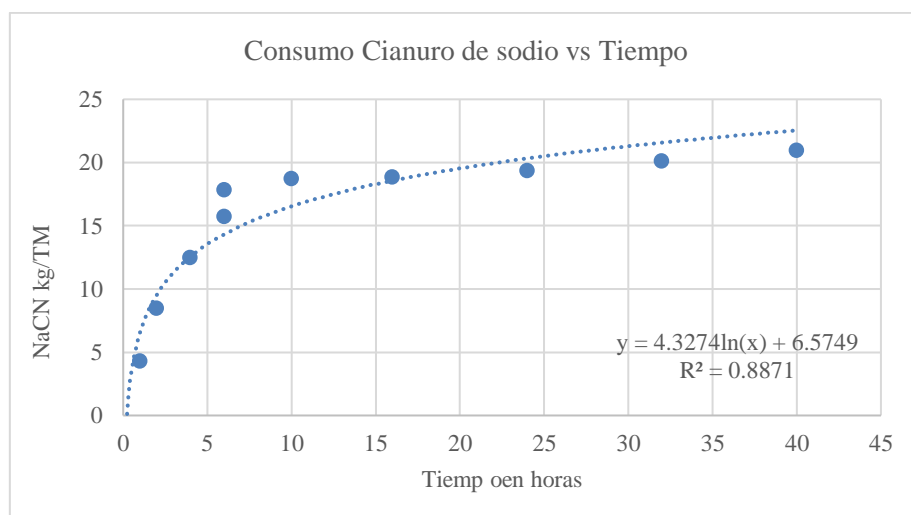


Nota: Fuente procesada en Excel curva de recuperación de oro en función del tiempo en la cianuración primera prueba.

La recuperación de oro tiempo para r^2 es de 0.9659 y una recuperación de 95.04% para 40 horas con una ecuación Recuperación (% Au) = $-0.0548(\text{hora})^2 + 4.9491(\text{horas}) - 11.273$.

b. Cinética de consumo de cianuro de sodio primera prueba.

Figura 6 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 1^{era} prueba



Nota: Fuente procesada en Excel curva de consumo de cianuro de sodio en función del tiempo en la cianuración primera prueba.

El consumo de cianuro en función al tiempo para r^2 es de 0.8871 y una recuperación de 95.31% para 40 horas con una ecuación Consumo NaCN(kg/TM) = 4.3279ln(hora) + 6.5749.

4.2.2. Resultados de la segunda prueba de cianuración por agitación.

Tabla 8 Resultado de la cianuración de la segunda prueba de cianuración por agitación

		NaOH				NaCN			
Hora	Hora	gramos	Consumo Kg/TM		pH		Fuerza	Consumo Kg/TM	
Control	Acumul	Adición	Parcial	Acumul.	Inicio	Final	Final (%)	Parcial	Acumul.
0	0	2.11	2.11	2.11	6.5	11.0	0.150		
1	1	0.00	0.00	2.11		11.0	0.007	4.29	4.29
1	2	0.00	0.00	2.11		11.0	0.010	4.20	8.49
2	4	0.00	0.00	2.11		11.0	0.015	4.05	12.54
2	6	0.00	0.00	2.11		11.0	0.039	3.33	15.87
4	6	0.00	0.00	2.11		11.0	0.080	2.10	17.97
4	10	0.00	0.00	2.11		11.0	0.120	0.90	18.87
6	16	0.00	0.00	2.11		11.0	0.121	0.87	19.74
8	24	0.00	0.00	2.11		11.0	0.124	0.78	20.52
8	32	0.00	0.00	2.11		11.0	0.124	0.78	21.30
8	40	0.00	0.00	2.11		11.0	0.123	0.81	22.11

EXTRACCIONES:

Análisis del residuo: **0.020** OzAu/TC % Extracción: **95.04** **Au**

Nota: Procesada mediante Excel de los resultados obtenidos de la segunda prueba de cianuración.

El resultado de la segunda prueba de cianuración por agitación se obtiene consumo de NaOH 2.11 kg/TM, para el NaCN 22.11 gkg/TM en 40 horas de agitación con una extracción de 95.04% quedando en el residuo de 0.020 oz/TC.

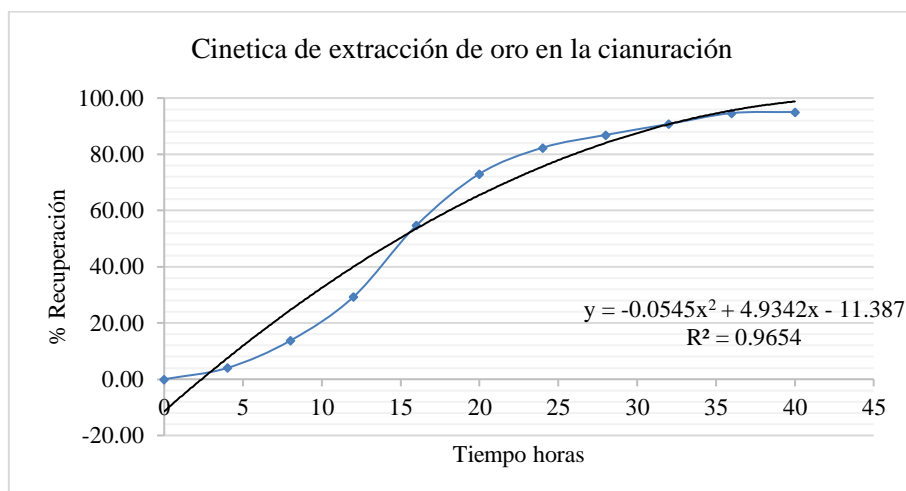
a. Cinética de recuperación de oro en la cianuración segunda prueba.

*Tabla 9. Recuperación del oro en función al tiempo
2^{da} prueba*

Tiempo hora	g/L Au	g Au	%Recuperación
0	0.00000	0.00000	0.00
4	0.00019	0.00056	4.01
8	0.00064	0.00191	13.73
12	0.00136	0.00407	29.26
16	0.00254	0.00761	54.73
20	0.00339	0.01016	73.07
24	0.00382	0.01145	82.35
28	0.00403	0.01208	86.89
32	0.00421	0.01262	90.77
36	0.00439	0.01316	94.65
40	0.00440	0.01321	95.04

Nota: Procesada en Excel en función del tiempo y recuperación en la cianuración segunda prueba.

Figura 7 Recuperación del oro en función al tiempo 2^{da} prueba

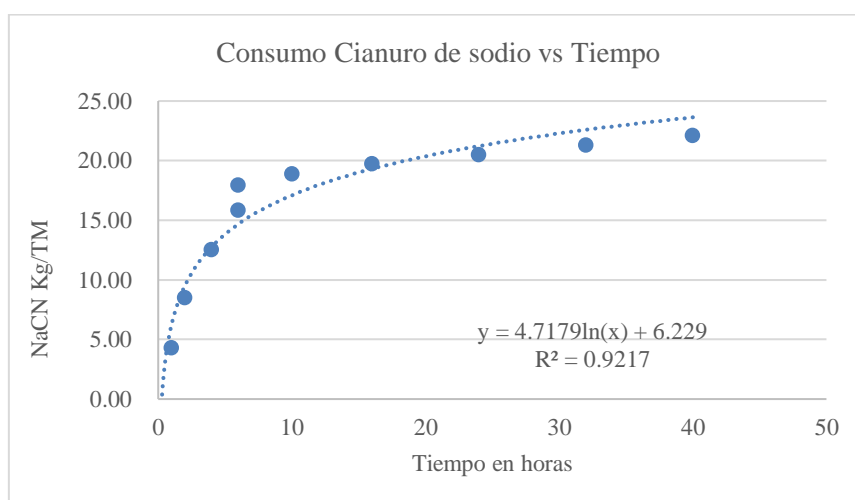


Nota: Fuente procesada en Excel curva de recuperación de oro en función del tiempo en la cianuración segunda prueba.

La recuperación de oro tiempo para r^2 es de 0.9654 y una recuperación de 95.04% para 40 horas con una ecuación Recuperación (% Au) = $-0.0545(\text{hora})^2 + 4.9343(\text{horas}) - 11.387$.

b. Cinética de consumo de cianuro de sodio segunda prueba.

Figura 8 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 2^{da} prueba



Nota: Fuente procesada en Excel curva de consumo de cianuro de sodio en función del tiempo en la cianuración segunda prueba.

El consumo de cianuro en función al tiempo para r^2 es de 0.9217 y una recuperación de 95.04% para 40 horas con una ecuación Consumo NaCN(kg/TM) = 4.7179ln(hora) + 6.229.

4.2.3. Resultados de la tercera prueba de cianuración por agitación.

Tabla 10 Resultado de la cianuración de la tercera prueba de cianuración por agitación

		NaOH				NaCN			
Hora	Hora	gramos	Consumo Kg/TM		pH		Fuerza	Consumo Kg/TM	
Control	Acumul	Adición	Parcial	Acumul.	Inicio	Final	Final (%)	Parcial	Acumul.
0	0	2.12	2.12	2.12	6.5	11.0	0.150		
1	1	0.00	0.00	2.12		11.0	0.007	4.29	4.29
1	2	0.00	0.00	2.12		11.0	0.010	4.20	8.49
2	4	0.00	0.00	2.12		11.0	0.017	3.99	12.48
2	6	0.00	0.00	2.12		11.0	0.041	3.27	15.75
4	6	0.00	0.00	2.12		11.0	0.078	2.16	17.91
4	10	0.00	0.00	2.12		11.0	0.120	0.90	18.81
6	16	0.00	0.00	2.12		11.0	0.146	0.12	18.93
8	24	0.00	0.00	2.12		11.0	0.134	0.48	19.41
8	32	0.00	0.00	2.12		11.0	0.124	0.78	20.19
8	40	0.00	0.00	2.12		11.0	0.122	0.84	21.03

EXTRACCIONES:

Análisis del residuo: **0.018** OzAu/TC % Extracción: **95.56** **Au**

Nota: Procesada mediante Excel de los resultados obtenidos de la tercera prueba de cianuración.

El resultado de la tercera prueba de cianuración por agitación se obtiene consumo de NaOH 2.12 kg/TM, para el NaCN 20.03 gkg/TM en 40 horas de agitación con una extracción de 95.56% quedando en el residuo de 0.018 oz/TC.

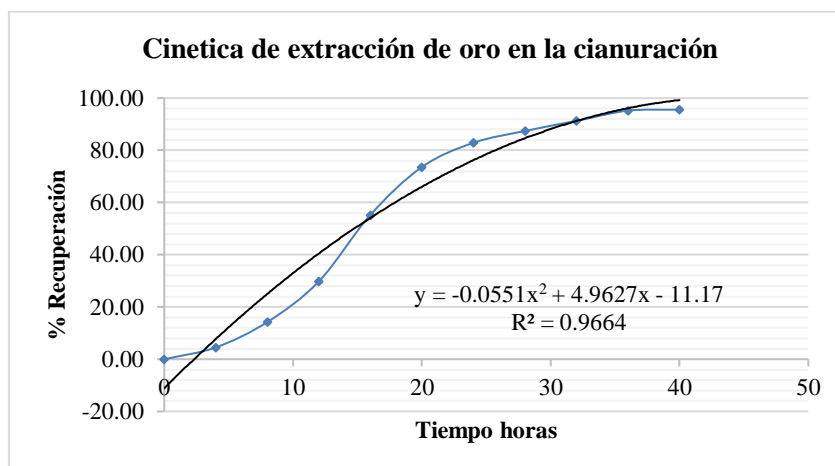
a. Cinética de recuperación de oro en la cianuración tercer prueba.

Tabla 11 Recuperación del oro en función al tiempo 3^{era} prueba

Tiempo hora	g/L Au	g Au	%Recuperación
0	0.00000	0.00000	0.00
4	0.00021	0.00063	4.53
8	0.00066	0.00198	14.24
12	0.00138	0.00414	29.78
16	0.00256	0.00768	55.25
20	0.00341	0.01023	73.59
24	0.00384	0.01152	82.87
28	0.00405	0.01215	87.40
32	0.00423	0.01269	91.29
36	0.00441	0.01323	95.17
40	0.00443	0.01328	95.56

Nota: Procesada en Excel en función del tiempo y recuperación en la cianuración tercera prueba.

Figura 9 Recuperación del oro en función al tiempo 3^{era} prueba

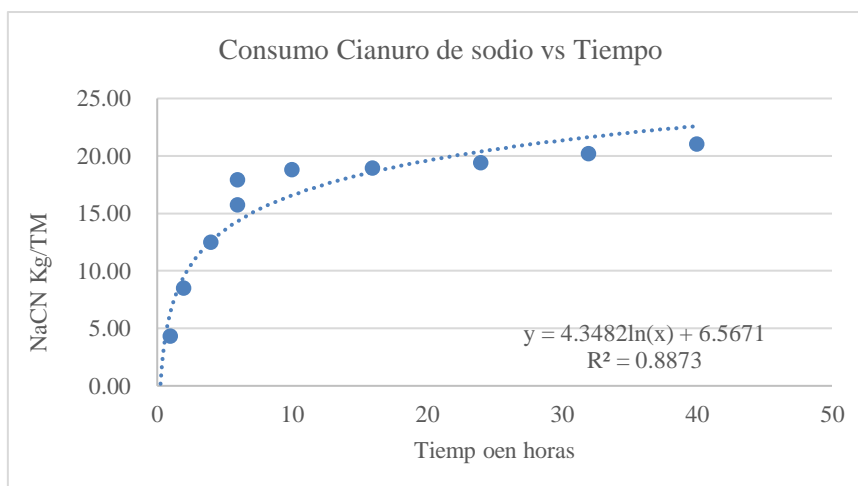


Nota: Fuente procesada en Excel curva de recuperación de oro en función del tiempo en la cianuración tercera prueba.

La recuperación de oro tiempo para r^2 es de 0.9664 y una recuperación de 95.56% para 40 horas con una ecuación Recuperación (% Au) = $-0.0551(\text{hora})^2 + 4.9627(\text{horas}) - 11.17$.

b. Cinética de consumo de cianuro de sodio tercera prueba.

Figura 10 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 3^{era} prueba



Nota: Fuente procesada en Excel curva de consumo de cianuro de sodio en función del tiempo en la cianuración tercera prueba.

El consumo de cianuro en función al tiempo para r^2 es de 0.8873 y una recuperación de 95.56% para 40 horas con una ecuación Consumo NaCN(kg/TM) = $4.3482\ln(\text{hora}) + 6.5671$.

4.2.4. Resultados de la cuarta prueba de cianuración por agitación.

Tabla 12 Resultado de la cianuración de la cuarta prueba de cianuración por agitación

		NaOH				NaCN			
Hora Control	Hora Acumul	gramos Adición	Consumo Kg/TM		pH		Fuerza Final (%)	Consumo Kg/TM	
			Parcial	Acumul.	Inicio	Final		Parcial	Acumul.
0	0	2.10	2.10	2.10	6.5	11.0	0.150		
1	1	0.00	0.00	2.10		11.0	0.007	4.29	4.29
1	2	0.00	0.00	2.10		11.0	0.012	4.14	8.43
2	4	0.00	0.00	2.10		11.0	0.015	4.05	12.48
2	6	0.00	0.00	2.10		11.0	0.041	3.27	15.75
4	6	0.00	0.00	2.10		11.0	0.080	2.10	17.85
4	10	0.00	0.00	2.10		11.0	0.120	0.90	18.75
6	16	0.00	0.00	2.10		11.0	0.146	0.12	18.87
8	24	0.00	0.00	2.10		11.0	0.134	0.48	19.35
8	32	0.00	0.00	2.10		11.0	0.124	0.78	20.13
8	40	0.00	0.00	2.10		11.0	0.123	0.81	20.94

EXTRACCIONES:

Análisis del residuo: **0.021** OzAu/TC % Extracción: **94.82** **Au**

Nota: Procesada mediante Excel de los resultados obtenidos de la cuarta prueba de cianuración.

El resultado de la tercera prueba de cianuración por agitación se obtiene consumo de NaOH 2.10 kg/TM, para el NaCN 20.94 kg/TM en 40 horas de agitación con una extracción de 94.82% quedando en el residuo de 0.021 oz/TC.

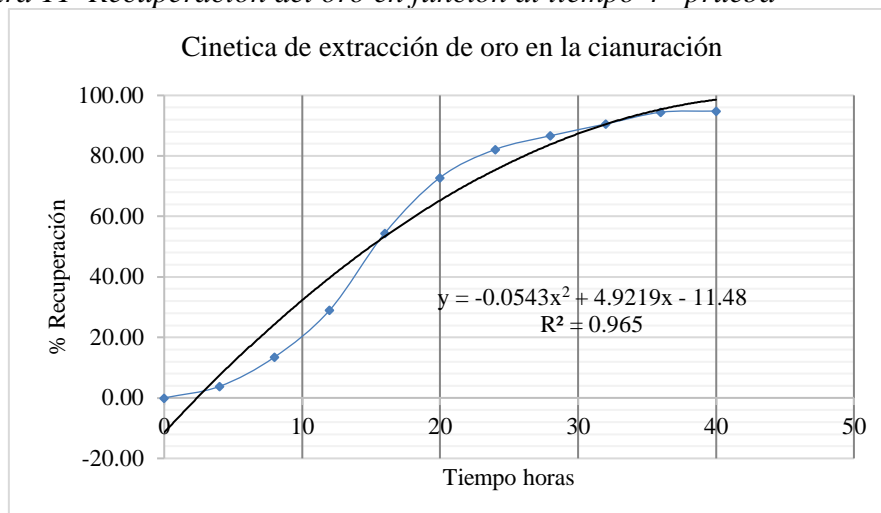
a. Cinética de recuperación de oro en la cianuración cuarta prueba

Tabla 13 Recuperación del oro en función al tiempo 4^{ta} prueba

Tiempo hora	g/L Au	g Au	%Recuperación
0	0.00000	0.00000	0.00
4	0.00018	0.00053	3.79
8	0.00063	0.00188	13.50
12	0.00135	0.00404	29.04
16	0.00253	0.00758	54.51
20	0.00338	0.01013	72.85
24	0.00381	0.01142	82.13
28	0.00402	0.01205	86.66
32	0.00420	0.01259	90.55
36	0.00438	0.01313	94.43
40	0.00439	0.01318	94.82

Nota: Procesada en Excel en función del tiempo y recuperación en la cianuración cuarta prueba.

Figura 11 Recuperación del oro en función al tiempo 4^{ta} prueba

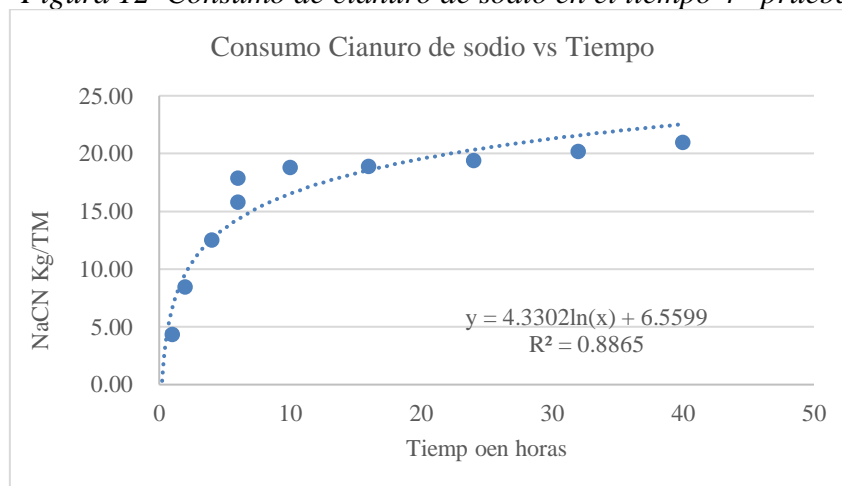


Nota: Fuente procesada en Excel curva de recuperación de oro en función del tiempo en la cianuración cuarta prueba.

La recuperación de oro tiempo para r^2 es de 0.965 y una recuperación de 94.82% para 40 horas con una ecuación Recuperación (% Au) = $-0.0543(\text{hora})^2 + 4.9219(\text{horas}) - 11.48$.

b. Cinética de consumo de cianuro de sodio cuarta prueba.

Figura 12 Consumo de cianuro de sodio en el tiempo 4^{ta} prueba



Nota: Fuente procesada en Excel curva de consumo de cianuro de sodio en función del tiempo en la cianuración cuarta prueba.

El consumo de cianuro en función al tiempo para r^2 es de 0.8865 y una recuperación de 94.82% para 40 horas con una ecuación Consumo NaCN(kg/TM) = $4.3302\ln(\text{hora}) + 6.5599$.

4.2.5. Contrastación de las pruebas de cianuración por agitación.

En el proceso de cianuración se realizaron cuatro pruebas con la finalidad de ver el efecto de los resultados sin tiene una coincidencia en los resultados para validar las condiciones de las pruebas realizadas.

Tabla 14 Característica de los resultados de las pruebas de cianuración

N°	Cabeza oz/TC	Ley cola oz/TC	NaOH (g/kg)	NaCN (g/kg)	% Recuperación
1	0.406	0.019	2.13	20.97	95.31
2	0.406	0.020	2.11	22.11	95.04
3	0.406	0.018	2.12	21.03	95.56
4	0.406	0.021	2.10	20.94	94.82
Promedio	0.406	0.020	2.12	21.26	95.18

Nota: Fuente resultado de las pruebas realizados mediante Excel.

Como los resultados está cerca se puede establecer como promedio de las pruebas de cianuración con una fuerza de 0.15% de cianuro a u pH de 11.00, para una ley de cabeza de 0.406 oz/TC de oro se obtuvo que el consumo de cianuro de sodio es de 21.26 kg/TM de cianuro de sodio por tonelada de mineral, para el hidróxido de sodio es de 2.12 kg/TM de hidróxido de sodio por tonelada de mineral, para una recuperación de 95.18%.

Tabla 15 Cinética de la cianuración consumo de cianuro de sodio y recuperación %Au

N°	Consumo NaCN(kg/TM) =	R ²	Recuperación de oro (%Au) =	R ²
1	4.3279ln(hora) + 6.5749	0.8871	-0.0548(hora) ² +4.9491(horas)-11.273	0.9659
2	4.7179ln(hora) + 6.229	0.9217	-0.0545(hora) ² +4.9343(horas)-11.387	0.9654
3	4.3482ln(hora) + 6.5671	0.8873	-0.0551(hora) ² +4.9627(horas)-11.17	0.9664
4	4.3302ln(hora) + 6.5599	0.8865	-0.0543(hora) ² +4.9219(horas)-11.48	0.9650

La proyección del consumo de cianuro de sodio y recuperación es de **NaCN(kg/TM)** =4.7179ln(hora) + 6.229 con R² de 0.9217 y la recuperación de oro es de **(%Au)** =-0.0551(hora)²+4.9627(horas)-11.17 con un R² de 0.9664.

CAPITULO V

DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1. Discusión.

En el proceso de trabajo de investigación realizados sobre, extracción de oro a nivel experimental mediante la cinética en la cianuración, se llegaron a lo siguiente las condiciones para un mineral sulfurado de ley de cabeza de 0.0406 oz/TC de mineral, a un pH de 11, con una fuerza de 0.15% de cianuro de sodio a un tiempo de 40 horas, con ello se obtuvieron los siguientes resultados consumo de NaOH de 2.12 kg/TM, para el NaCN de 21.26 kg/TM y una recuperación de 95.18% de oro.

El consumo de cianuro de sodio está relacionado con el tiempo para el cianuro de sodio $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = 4.7179 \ln(\text{hora}) + 6.229$ con R^2 de 0.9217 y la recuperación es de $(\% \text{Au}) = -0.0551(\text{hora})^2 + 4.9627(\text{horas}) - 11.17$ con un R^2 de 0.9664.

Para (Hofmann), “La mejor recuperación de oro obtenida en equipo autoclave es del 85 % en 2 h, a temperatura de 150°C y concentración de 0.25 M, respecto de agentes oxidantes y la temperatura en la cinética de reacción” (pág. 60).

(Lopez), “de los reactivos de lixiviación cianuro de potasio y tiosulfato de sodio, a pesar de sus bajas concentraciones se observó que el cianuro tiene un mejor desempeño que el tiosulfato de sodio para este mineral en particular” (pág. 99).

(Carrillo), “que el proceso de lixiviación con tiourea para extraer oro resulta factible comparada con el cianuro, pero su costo elevado de operación debido a altos consumos de tiourea limita la aplicación del proceso a nivel industrial”. (págs. 62-63).

(Chavez), “la dosificación de cianuro 70 kg/t por la bibliografía ofrece recuperaciones de 91% para la plata y oro, cada planta tiene condiciones diferentes del proceso. Las dosificaciones de cianuro mayores 130 kg/t, con valores 4.72\$/kg cianuro; no son rentables” (pág. 88).

(Flores), “Durante la adsorción, la máxima recuperación de Au es con densidad de pulpa de 1300 kg/m³, la máxima recuperación del 96 % en un tiempo de 24 h, y la mínima en 12 h con un 94%” (2016).

5.2. Conclusiones.

En el trabajo de investigación sobre, extracción de oro a nivel experimental mediante la cinética en la cianuración se llegan a las siguientes conclusiones.

Para una recuperación de oro a partir de minerales sulfurados en promedio del 95.18% el medio es cuando se trabaja para una ley de cabeza de 0.406 oz/TC, a un pH de 11.00, a una dilución de 3, tiempo de 40 horas, fuerza de CN⁻ 0.15%, 2.12 kg/TM de NaOH por tonelada, el consumo de NaCN es de 21.26 kg/TM, y un relave de 0.020 oz/TC.

Respecto a la cinética del porcentaje de extracción del oro en el tiempo para R^2 es 0.9664 está relacionado matemáticamente de $(\%Au) = -0.0551(\text{hora})^2 + 4.9627(\text{horas}) - 11.17$, influiría en esta relación la recuperación en el tiempo.

Respecto a la cinética del consumo del cianuro de sodio en la extracción del oro en el tiempo para R^2 es 0.9217 está relacionado matemáticamente de $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = 4.7179\ln(\text{hora}) + 6.229$, influiría en esta relación la recuperación en el tiempo.

5.3.Resultados.

Respecto a las recomendaciones se podría describir que para una mejor recuperación se podría evaluar la granulometría que influencia tendría en los resultados.

El uso de agentes oxidantes para la oxidar los minerales sulfurados y liberar al oro encapsulados, junto con la variación de las densidades de pulpa para buscar con que parámetros se tiene una óptima recuperación.

Realizar una cianuración por agitación para simular el proceso industrial más real para tener una mejor recuperación ya que a escala industrial se realiza en tanques y en tiempo más prolongados.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, T., Fernández, D., Sánchez, Y., & Lasserra, A. (2016). *Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba*. Obtenido de scielo cuba: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n3/rtq08317.pdf>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Chía: Pearson.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San marcos.
- Carrillo, M. (2013). *Estudio comparativo de la lixiviación de dos minerales auroargentíferos (oxidado y sulfurado) con cianuro y tiourea*. Bucaramanga. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/148325.pdf>
- Chavez, P. (2014). *Determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados*. Trujillo. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3954/IQchflpo040.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Esteban, M., & Domic, M. (2001). *Hidrometalurgia Fundamentos Procesos y Aplicaciones*. Santiago.
- Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .
- Figueredo, M., Bugallo, F., Castellanos, J., Montejo, E., Alcalá, R., Cabaleiro, Y., . . . Hidalgo, E. (2015). *Estudio de la cinética de lixiviación de oro y plata por cianuración de una mena cuarzosa de origen epitermal*. Obtenido de Red Cien: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015-Figueredo-plata%20y%20oro.pdf>
- Flores, F. (2016). *Optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – minera Aruntani SAC*. Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4626/Flores_Calli_Fred_Ruben.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Hidalgo, N., Diaz, A., Vazan, V., & Sarquis, P. (2013). *Mejora en la recuperación de Au y Ag mediante cianuración en escorias de fundición*. Obtenido de Concinet digital : http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/34797/CONICET_Digital_Nro.2aa996a4-1890-4afc-b298-b4f7a2eb7d72_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Hofmann, P. (2008). *Aplicación del amoníaco como lixivante ecológico de minerales auroargentíferos*. México, D.F. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/8369/1/Tesis_Completa.pdf
- Lopez, J. (2013). *Estudio comparativo de la lixiviación alcalina de una mena aurífera mediante el uso de cianuro de potasio contra el uso de tiosulfato de sodio*. México D.F. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/3661/1/Tesis.pdf>
- Manrique, J. (2005). *Manejo de pilas de lixiviación de oro en minera Yanacocha S.R.L.* Lima. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/manrique_mj/manrique_mj.PDF

ANEXOS

Anexo 1. Localización de la unjpsc



**“EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL EXPERIENTAL MEDIANTE LA
CINÉTICA EN LA CIANURACIÓN”**

.....
M(o). IPANAQUE ROÑA, JUAN MANUEL
Presidente

.....
M(o). COCA RAMIREZ, VICTOR RAUL
Secretario

.....
M(o). ABARCA RODRIGUEZ, JOAQUIN JOSÉ.
Vocal

.....
Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER
Asesor