

Universidad Nacional
"José Faustino Sánchez Carrión"



“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

TESIS

Título:

**“EFECTO DEL NITRATO DE PLOMO EN LA CIANURACIÓN DE
MINERALES AURÍFEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL
ORO EXPERIMENTALMENTE”**

Autor:

ULARIO CAMILLO, JHON ALEXIS

Asesor:

Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER

C.I.P. N° 26627

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

Mi más sublime aprecio a mis padres y hermanos, por su incondicional y fiel apoyo para conseguir mis objetos; a ello cada una de las líneas de este trabajo se las dedico.

AGRADECIMIENTO

Al Ser supremo por brindarme la vida,
y a mis queridos padres por haberme apoyado
en el logro de mi vocación profesional.

Un gran agradecimiento a todos los docentes
de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la
U.N.J.F.S.C. por su orientación, consejos y
orientaciones.

PENSAMIENTO

“Toma una idea. Hazla tu vida: piensa sobre ella, sueña sobre ella, vívela. Deja que tus músculos, cerebro, nervios y cada parte de tu cuerpo se llenen de esa idea. Luego deja todas las demás ideas solas. Ese es el camino hacia el éxito”

(Swami Vivekananda)

ÍNDICE

Caratula.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PENSAMIENTO	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLA	ix
ÍNDICE DE FIGURA.....	x
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I	15
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problema	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivos	16

1.3.2.	Objetivos.....	16
1.4.	Justificación de la investigación.	17
1.5.	Delimitación del estudio.	17
1.5.1.	Delimitación.....	17
1.5.2.	Delimitación.....	17
1.5.3.	Delimitación.....	17
1.6.	Viabilidad del estudio.	18
CAPITULO II.....		19
MARCO TEORICO.....		19
2.2.	Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1.	Antecedentes nacionales.	23
2.1.2.	Antecedentes internacionales.....	19
2.1.3.	Otras investigaciones.	25
2.2.	Fundamento teórico.	28
2.2.1.	Oxidación de minerales sulfurados.	28
2.2.1.1.	Tostación de menas de oro.....	28
2.2.1.2.	Tostación de menas conteniendo pirita y pirrotita.	28
2.2.1.3.	Principio fundamental de la biooxidación	29
2.2.1.4.	Mecanismos de oxidación bacteriana para la arsenopirita.....	29
2.2.2.	Cianuración	30
2.3.	Definiciones conceptuales.	31

CAPITULO III.....	33
METODOLOGÍA	33
3.1. Diseño metodológico.....	33
3.1.1. Tipo de Investigación.....	33
3.1.2. Nivel de Investigación.	33
3.1.3. Diseño de la Investigación.....	33
3.1.4. Enfoque de la Investigación.....	34
3.2. Población y muestra.....	34
3.2.1. Población.....	34
3.2.2. Muestra.	34
3.2.3. Tamaño de Muestra.....	34
3.3. Operacionalización de variables.	35
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	35
3.4.1. Técnicas a emplear.....	35
3.4.2. Descripción de los instrumentos.	36
3.5. Técnica para el procesamiento de la Información.	36
CAPITULO IV.....	37
RESULTADOS.....	37
4.1. Diseño de trabajo experimental.	37
4.1.1. Condiciones de cianuración.	37
4.1.2. Diseño factorial para la cianuración 2^3	37

4.2.	Resultados de la prueba experimental.....	39
4.2.1.	Resultados del diseño factorial experimentales.	39
4.2.2.	Regresión factorial.....	40
4.2.3.	Efectos de Pareto para Recuperación del Au en la cianuración.....	43
CAPITULO V		44
DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN		44
5.1.	Discusión.....	44
5.2.	Conclusión.	46
5.3.	Recomendación.....	47
BIBLIOGRAFÍA		48

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Operaciones de las variables de estudio.	35
Tabla 2 variables en el proceso de cianuración y el efecto del nitrato de plomo	37
Tabla 3 Diseño factorial para la prueba de cianuración escala codificada y natural	38
Tabla 4 Resultado de las pruebas experimentales del diseño factorial	39
Tabla 5 Análisis de Varianza	40
Tabla 6 Resumen del modelo.....	41
Tabla 7 Coeficientes codificados.....	41
Tabla 8 Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.....	42

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Biooxidación de minerales efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación del oro experimentalmente sulfuros	29
Figura 2 Efecto de Pareto en la recuperación de oro $\alpha=0.05$	43

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

#200	:	Malla N° 200
%	:	Porcentaje
&	:	y
"	:	Pulgadas
°C	:	Grados Celsius
µm	:	Micras
-200m	:	Pasante malla 200
g/h	:	Gramos por hora
g/t	:	Gramos por toneladas métrica
h	:	hora
kg/t	:	Kilogramos por toneladas métricas
kWh/t	:	Kilowatt hora por tonelada
mg/l	:	Miligramos por litro
oz/t	:	Onzas por toneladas métricas
pág	:	Página
pH	:	Potencial de hidrogeno
ppb	:	Partes por billón
ppm	:	Partes por millón
s/f	:	Sin fecha
USGS	:	Servicios geológicos de los estados unidos

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación del oro experimentalmente. Se trata de una investigación experimental básica, cuantitativa y predictiva; cuyos resultados, desarrollados en el centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, durante el año 2019. Las etapas del estudio constan de una preparación de muestra, molienda y cianuración. En consecuencia, se tiene una mayor recuperación en cuando se tiene 0.6 g/l de nitrato de plomo, 90% pasante a malla 200 en 36 horas, y en medios centrales se tiene 78.58% de recuperación. En el análisis de varianza, t student y efecto de Pareto se contrastar que la intervención del nitrato de plomo g/l, tiempo h y %-200m tiene un efecto significativo para $\alpha=0.05$ en las todas sus interacciones individuales y grupales, salvo en la interacción de %-200m y tiempo.

Palabra clave: Efecto de los oxidantes avanzados en la cianuración, oxidación y cianuración de minerales.

ABSTRACT

In the present investigation, the effect of lead nitrate in the cyanidation of gold minerals for the recovery of gold was evaluated experimentally. It is a basic, quantitative and predictive experimental research; whose results, developed in the center of research and technological development of materials of the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering of the National University José Faustino Sánchez Carrión, during the year 2019. The stages of the study consist of a sample preparation, grinding and cyanidation. Consequently, there is a greater recovery when you have 0.6 g/l of nitrate of lead, 90% through 200 mesh in 36 hours, and in central media you have 78.58% recovery. In the analysis of variance, t student and Pareto effect, it is contrasted that the intervention of lead nitrate g / l, time h and% -200m has a significant effect for $\alpha = 0.05$ in all its individual and group interactions, except in the % -200m and time interaction.

Key Word: Effect of advanced oxidants on cyanidation, oxidation and cyanidation of minerals.

.

INTRODUCCIÓN

En el efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación del oro experimentalmente, el objetivo del presente estudio es verificar de qué manera tiene inferencia el nitrato de plomo en el proceso de cianuración.

En el contexto internacional las reservas de minerales cada día se van agotando minerales de alta ley, quedando minerales sulfurados refractarios por lo que se busca de alternativas para su aprovechamiento, por ello se aplican métodos donde se debe realizar una oxidación para romper los enlaces de los sulfuros, usando oxidación avanzada tanto químicos, físicos y biológicos, donde muchos estudios han demostrado resultados óptimos en la cianuración con reactivos oxidantes.

En el Perú existe pocas minerías que aplican la oxidación avanzada, pero aplican la liberación que conllevan a un gasto excesivo de energía.

En la presente investigación se realizó una oxidación avanzada para con el nitrato de plomo para oxidar los minerales refractarios que está constituido por sulfuros donde se encuentran inter enlazados el oro para acceder a ello es necesario romper ese enlace, por ello se aplicó el nitrato de plomo para que el nitrato agente oxidante pueda oxidar a los sulfuros y su posterior dilución del oro con el cianuro.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática .

Cada día el mineral como materia prima se agotan, quedando minerales complejas como pirita aurífera o refractarios estos minerales son más difíciles su tratamiento, por ellos se buscan alternativas para su extracción de oro, y aprovechando la alza del costos del oro en las bolsas de valores internacional, es necesario realizar la parte experimental para encontrar el tratamiento adecuado de estos minerales, ya que cada mineral tiene un tratamiento particular, y de cada lugar por su composición mineralógico de formación.

Los minerales conocidos por su composición como refractarios están compuesto por sulfuros dentro de ello se encuentran el oro encapsuladas, para su liberación es necesario realizar una molienda fina, esto trae un consumo enorme de energía, por ello se busca otra alternativa de romper los enlaces por medio de la oxidación, por ello es necesario utilizar la oxidación química o biológica, en nuestro caso se realizara una oxidación química ya que es más sencilla su tratamiento, a comparación de la biológica ya que este proceso tiene unos parámetros más complejas.

En la búsqueda de las alternativas aplicables a este proceso es la oxidación química, mediante un nitrato ya que este reactivo tiene alto grado de oxidación a los minerales sulfuros.

En función a ello se plantea a una alternativa para la obtención del oro y plata, planteándose la incógnita en el problema general, para el presente estudio.

1.2. **Formulación del problema.**

2.4.1. **Problema general.**

¿Tendrá el efecto necesario el nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos, en la recuperación óptima del oro experimentalmente?

2.4.2. **Problema específico.**

- ¿Será posible el aditamento en una concentración adecuada de nitrato de plomo en el tratamiento de minerales auríferos, que nos permitirá elevar la recuperación de oro a nivel experimental?
- ¿Tendrá efecto el PbNO_3 y la reducción del tiempo en la cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, que permita una recuperación adecuada de oro a nivel experimental?

1.3. **Objetivos.**

2.4.1. **Objetivos Generales.**

Evaluar la consecuencia del nitrato de plomo (II) en la cianuración de menas auríferas, para una recuperación óptima del oro experimentalmente.

2.4.2. **Objetivos Específicos.**

- Analizar la adición adecuada de nitrato de plomo (II) en el tratamiento de minerales auríferos, para elevar la recuperación de oro a nivel experimental.
- Analizar el incremento de nitrato de plomo (II) y el tiempo en el proceso de cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, que permita una recuperación adecuada de oro a nivel experimental.

1.4. **Justificación de la investigación .**

La presente investigación es referente, el “efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación el oro experimentalmente”, se encontrarán las variables y parámetros en la cianuración de minerales de pirita auríferos y refractarios, para una recuperación de oro optima, a nivel experimental y posterior mente llevar a un nivel pilotaje y su aplicar al nivel industrial si fuera rentable económicamente.

1.5. **Delimitación del estudio.**

2.4.1. **Delimitación Territorial.**

Departamento	: Lima
Provincia	: Huaura
Distrito	: Huacho
Ciudad	: Universitaria

2.4.2. **Delimitación Tiempo y Espacio.**

La indagación se efectuó en el Centro De Investigación y Desarrollo Tecnológico De Materiales, durante el año 2019.

2.4.3. **Delimitación de Recursos.**

Entre las principales delimitaciones, está la de carácter financiero para poder realizar el estudio de investigación, por lo que se accedió a laboratorios de terceros y otros financiamientos.

1.6. Viabilidad del estudio.

Para realizar el presente estudio de indagación fue viable, porque se contó con las sapiencias doctrinarias, los medios técnicos, procedimientos 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 Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.2. Antecedentes de la investigación.

Para fundamentar la presente investigación, los antecedentes se dividen en tres aspectos fundamentales como antecedentes nacionales, internacionales y otras investigaciones relacionados al presente trabajo de investigación, por lo que se describe en los apartados a continuación.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Referente a las antecedentes internacionales de igual manera, de acuerdo los reglamentos establecidos de la universidad y de la facultad deben tener como mínimo tres investigaciones relacionadas al tema en estudio y estos estudios como de pre grado y posgrado se describen a continuación:

Para Salinas *et al.* (2004), en “Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono”, concluyeron que, la composición química del mineral estudiado, reveló la presencia de importantes cantidades de Ag y Au, lo cual hace del material ideal para su estudio de cianuración para la recuperación de tales valores de interés. Por otro lado, se aprecian cantidades importantes de Fe, Cu y Zn que pueden retardar el proceso de cianuración debido a su carácter cianicida.

Las especies minerales encontradas fueron; mayoritariamente, pirita y algunos contenidos de esfalerita, galena y cuarzo. Este resultado, indica que el mineral de estudio presenta de igual modo, ciertas características refractarias. Por lo que la naturaleza pirítica del mineral, la hace ideal para el tratamiento mediante una oxidación previa con ozono antes de la etapa de cianuración.

El mineral presenta granulometría bimodal, con un mayor porcentaje de un 38 % en peso, con partículas con diámetros menores a 37 μm . También presentan un 25,5 % en peso, con diámetros que van desde 74 hasta 53 μm ; lo que representa una opción al evaluar el porcentaje de liberación del metal en este mineral y probar otras condiciones de molienda y flotación que aumente la recuperación de los metales de interés.

Se encontró que con una oxidación previa del mineral, los valores de la solubilidad de la Ag mejoraron de manera notable, obteniéndose un 10,8 % de aumento en la disolución de la Ag en 72 horas.

En la disolución del Au, se encontró que con una oxidación previa del mineral con ozono, la disolución de Au aumento en un 53 % a las 72 horas de reacción. Teniendo en cuenta estos resultados sobre la identificación de los residuos de lixiviación, se pudo observar que la matriz del mineral se vio alterada de manera significativa cuando se oxidó con el ozono. Esto constituye la variable más fundamental con la que se logró una mejor disolución del Au y Ag.

En este sentido, la presente investigación logró cumplir su objetivo de mejorar el proceso de cianuración de un mineral que se consideraba refractario para dicho proceso. Con lo que se alcanzó un 10,8 % más de la disolución de Ag y un 53 % adicional de disolución de Au en comparación con la cianuración del mismo mineral sin una pre oxidación.

Para Gaviria *et al.* (2006), en su investigación sobre, “Refractarios auríferas y su efecto en la extracción del oro”, se evidencia una alteración en la cinética de reacción de los sulfuros cuando son expuestos a microondas, debido a que tienen un menor tiempo de oxidación que va de 3,5 a 10 minutos, en comparación con el tiempo que se requiere en una tostación convencional. Por esta razón la aplicación de microondas es representa una opción para tostar minerales de naturaleza refractaria de forma eficiente y rápida. No obstante, la producción de

gases como el SO_2 no disminuye, por lo que para establecer este tipo de pretratamiento a nivel industrial se debe tener en cuenta este factor en el diseño del recipiente para captación de gases.

Con estas consideraciones, un aumento en la disolución de oro por cianuración en el mineral concentrado de la empresa El Roble puede obtenerse cuando el cobre es extraído antes de la cianuración. Si bien, con los datos obtenidos no se puede realizar una valoración económica de carácter cuantitativo. Teniendo en cuenta las experiencias logradas en diversos países, no resulta desatinado asegurar que un tratamiento con microondas es económicamente posible y con bajos costos de operación que con el proceso convencional.

En conclusión, entre las variables de mayor trascendencia que se debe tener en cuenta en el tratamiento con microondas están la potencia, la frecuencia, masa del mineral, tamaño de partícula, tiempo de exposición y pérdidas dieléctricas de la muestra. Gaviria *et al.* (2006)

En su investigación Ospina *et al.* (2011) sobre, “Aplicaciones biotecnológicas en minería aurífera: Estado del arte sobre la oxidación bacteriana de arsenopirita (FeAsS)” considera que los procesos biotecnológicos tienen ciertas ventajas comparándolos con aquellos denominados tradicionales, por su gran manejabilidad cuando se trata de optar por que método emplear, el cual abarca desde una operación en el lugar, hasta reactores controlados cuya cantidad de mineral tratado es de 1000 t/día. Además de la no producción de contaminantes gaseosos, su facilidad al neutralizar y disponer de los desechos que pueden ser sólidos o líquidos, sumado a su simplicidad y diseño versátil, lo cual permite su uso en lugares alejados, sin requerir de una mano de obra muy calificada y una puesta en funcionamiento con bajos costos en cuanto al capital y a la operación. Además de poseer la facilidad de ser empleados en operaciones complejas, como una etapa adicional de los procesos físicos y químicos del proceso.

La minería que utiliza procesos biotecnológicos es considerada globalmente como una opción que utilizan las mineras, de naturaleza “más limpia”, con ventajas de naturaleza ambiental y económicas. Es por este motivo, que este tipo de tecnologías se presentan como una opción con un gran potencial de los problemas que se generan por la industria minero - metalúrgica, los cuales se utilizan a nivel mundial en diversos procesos como el pretratamiento por oxidación de materiales de característica refractaria en la recuperación de Au y Ag con una lixiviación y una ulterior recuperación de metales como el Zn, Cu, Pb, Co, Ni y Ti. Estas tecnologías de un tratamiento biológico representan una alternativa en el tratamiento en las industrias de la desulfurización de carbones, el blanqueo de caolines, etc.

En la oxidación biológica de la arsenopirita, los autores diseñaron un modelo de carácter cualitativo para entornos ricos en O_2 y Fe^{3+} . Concluyeron que la oxidación de carácter biológico, es un proceso electroquímico con un consumo de iones H^+ , seguido de una disminución en el potencial redox inicial. Además, el consumo de iones H^+ , mediante la protonación del mineral en su superficie, es un proceso en donde se combinan reacciones de oxidación del ion Fe^{2+} , una alta velocidad de reacción con la presencia del microorganismo *A. ferrooxidans*, y la disolución del mineral en presencia en medio ácido.

Estas reacciones muestran que el ion Fe^{2+} no se oxidada, pero el As y el S sí lo hacen. Lo que produce los denominados sitios activos en la capa superficial del mineral. Lo que llega a sugerir que la cinética de oxidación de la arsenopirita está subordinada a las concentraciones del oxígeno disuelto y del ion Fe^{3+} ; por lo que la etapa determinante en el proceso es intercambio electrónico entre el área superficial del mineral y el agente oxidante. La disminución progresiva del pH se inicia con la hidrólisis del ion Fe^{3+} seguido de la oxidación del SO, llevado a cabo por las bacterias hasta convertirlo a sulfato.

Además, se dan otras reacciones paralelas a la reacción de hidrólisis del hierro, por lo que se forman sulfatos básicos de hierro, los que son iniciadores de la jarosita. Estos

componentes formados, en presencia de cationes como K^+ , NH_4^+ , H_3O^+ , llegan a formar la jarosita.

Por último, la investigación presenta como propuesta un modelo de biooxidación por capas. Dicho modelo muestra la obtención de cinco capas que serían las siguientes: una capa de azufre elemental, otra de óxidos de As, una de óxidos de hierro, una de sulfoarsenatos de hierro y en la superficie más externa una capa de jarosita. Con estas velocidades de oxidación establecidas se puede diseñar un sistema de flotación por capas en una celda tipo Hallimond, donde se realizará una separación diferencial de los sulfuros como un pre-tratamiento oxidante.

2.1.2. **Antecedentes nacionales.**

Los antecedentes nacionales de acuerdo los reglamentos establecidos de la universidad y de la facultad debe tener como mínimo tres investigaciones relacionadas al tema en estudio y estos estudios como de pre grado y posgrado se describen a continuación:

Para Zaldaña (2016), en su investigación sobre “Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina (Na_2S y $NaOH$) de un mineral refractario con contenido de arsénico (As) procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración”, se determinó que los parámetros temperatura y granulometría del mineral en un tratamiento por lixiviación en medio alcalino de un mineral de naturaleza refractaria, con contenido de arsénico, afecta de manera significativa en la recuperación de oro. También se encontró que en el pre-tratamiento por lixiviación en medio alcalino, la temperatura del mineral de naturaleza refractaria con contenido de As, influye considerablemente en la obtención de Au, Obteniéndose una mayor recuperación a la temperatura de 90 °C. Se determinó también que en este tipo de tratamiento de un mineral refractario con un contenido de As, la granulometría influye de manera considerable en la recuperación de oro por cianuración, obteniéndose una mayor recuperación con una malla

menos 400. Y por último, se logró determinar que la interacción entre la temperatura y la granulometría en este tipo de tratamiento de un mineral de naturaleza refractaria con un contenido de arsénico influye de manera significativa sobre la recuperación de oro, alcanzándose una recuperación de oro de 28,22% a 90°C y de 80% a una malla menos 400.

En su trabajo de investigación Lovera *et al* (1998), en su trabajo sobre tostación y lixiviación de minerales de oro, tratados con cianicidas concluyó que un gran porcentaje de la muestra es goethita, la cual es un derivado de los minerales pirita y calcopirita, con un gran porcentaje de malaquita. Por otra parte, en el tiempo que duró la observación mediante el microscopio de barrido electrónico, se hallaron partículas de Au menores a 2 μm , contenidas en el interior de cristales de cuarzo y diseminados por la roca. Por otro lado, la cianuración para este mineral se complicó debido al contenido de Cu, consiguiéndose altos consumos de cianuro de sodio y una baja recuperación de Au, tanto para 12 y 24 horas de lixiviación. Los resultados indicaron que la lixiviación para Cu con ácido sulfúrico da excelentes resultados para una granulometría de 54% (malla -10) y para un tiempo de 5 horas, obteniéndose aproximadamente un porcentaje de recuperación de 70 %.

Por otra parte, la prueba de concentración gravimétrica en la mesa vibratoria fue insatisfactoria debido a que el mineral tiene poca cantidad de oro libre y fino, siendo la calidad del concentrado baja. En consecuencia, en base a las pruebas metalúrgicas realizadas, se recomendó realizar antes la lixiviación ácida para recuperar el cobre del relave, previa neutralización y molienda, para realizar el proceso de cianuración para recuperar el oro.

Para Arias *et al.* (2005), en su trabajo sobre la refractariedad de concentrados auríferos, concluyeron que la obtención de metales de valor comercial con bacterias de tipo quimiolitotróficas que actúan sobre minerales de sulfuros con baja ley. Además, resulta de interés en biohidrometalurgia para el aprovechamiento de menas, que por la baja ley del metal de interés no se tratan con métodos convencionales. Se conoce también, que el potencial de los

microorganismos *Thiobacillus* y *archeabacteria* para lixiviar minerales que hasta pueden ser de naturaleza radiactiva, *in situ* o en un reactor, establecen esperanzadoras opciones para la mejora de los procesos de recuperación de metales en la metalurgia extractiva; en especial si unen esfuerzos los diversos centros de investigación y la industria para realizar acciones en común. Por todo esto, la utilización de la electrooxidación como tratamiento de un mineral sulfurado de Au y Ag alcanza excelentes resultados al conseguir una mayor recuperación en la extracción de Au y de Ag.

Dicho lo anterior, la oxidación de la pirita está influenciada aparte del proceso químico, también por la transferencia de masa por difusión que ocurre en la fase gaseosa. Además, la aparición de sulfatos inclina a la tendencia de cerrar los poros en el óxido de hierro obtenido; por lo que la ausencia de porosidad se atribuye a la oxidación incompleta por la obtención del ion sulfato.

Igualmente, el producto de la tostación, llamado también calcinado puede ser tratado de diversas maneras, dependiendo de las condiciones de que se disponga. Por lo que se tiene etapas de enfriamiento que se pueden dar al aire o en medios acuosos, además de una disminución en el tamaño y recuperaciones de carácter gravimétrico como una primera fase en la concentración del metal de interés, además de tratamientos acuosos de carácter ácido o base y un proceso de cianuración tradicional.

2.1.3. **Otras investigaciones.**

Por otra parte, otros trabajos relacionados al tema como investigaciones publicados en revistas científicas también de acuerdo a los reglamentos establecidos por la Universidad, las cuales se describen a continuación:

Con respecto a los avances relacionados a las técnicas no tradicionales de flotación de minerales con partículas finas de sulfuros de Cu y Mo, Matiolo *et al.* (2017) concluyen que las al realizar la flotación en un acondicionamiento de alta intensidad y adicionando aceite diésel

emulsionado se aumentó significativamente la recuperación de Cu y Mo; con respecto a la recuperación por flotación real y con las constantes de la velocidad de la flotación, sobre todo de las fracciones finas y ultrafinas. Estos resultados se expresan en términos del aumento en la captura de agregados de partículas por las burbujas y se verifica que ambas técnicas tienen un posible potencial para ser ejecutadas en una planta a nivel industrial.

Chacón *et al.* (2005), en su trabajo titulado “Concentración por flotación de menas de oro-cobre con bajas recuperaciones de arsénico”, concluyeron que de todos los colectores probados, se determinó que el que más se adecuaba para la obtención de concentrados con un alto porcentaje de recuperación de Cu, además de una baja recuperación de As, el componente principal (Ditiofosfato) debe contener una dosis por debajo de 10 g/t.

Así mismo, en los ensayos efectuados con los tres agentes depresores en las dosis establecidas, no se alcanzaron los resultados esperados para la depresión del As. Concluyendo que los ensayos realizados en las pruebas con el colector comercial utilizado dieron excelentes resultados, con porcentajes de recuperación de As menores al 5 % en el concentrado y una ley de cobre superior al 18 %.

Para Valderrama *et al.* (2018), Sobre “recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación”, concluyen que del índice de Bond y del de la abrasión, se establece un valor de 23,7 kWh/t para la escoria del HR y para la escoria del CT un valor de 23,4 kWh/t. En el caso de la abrasión, el índice para la escoria del HR fue de 0,9119 g/h y para la escoria del CT fue de 0,7161 g/h.

Los resultados de la investigación, también mostraron que la granulometría óptima para el procesamiento de la escoria por flotación, tanto para el horno reverbero y para el convertidor es de 75 % menor a 75 micrómetros.

Así mismo, el análisis cinético arrojó un tiempo óptimo de flotación para la escoria HR en la etapa rougher, es de 6 minutos 12 segundos; y para la etapa cleaner, tiene un tiempo de 5 minutos; para la escoria CT el tiempo más adecuado en la etapa rougher fue de 10 minutos y en la etapa cleaner de 7 minutos y 30 segundos.

Estos resultados conseguidos, fueron empleados a nivel industrial en la Planta M.A. Matta, obteniendo resultados gratos. De esta manera, para la escoria HR se obtuvo una ley de 18,2% de Cu, con un porcentaje de recuperación de 56,1%, mientras que para la escoria CT se obtuvo una ley de 39,1% de Cu, con un porcentaje de recuperación de 91,4%. (Valderrama *et al.*, 2018, p. 48).

2.2. Fundamento teórico.

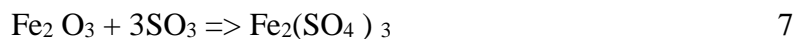
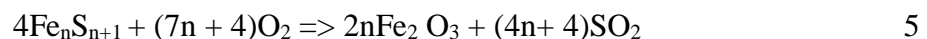
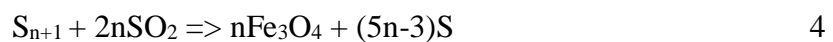
2.2.1. Oxidación de minerales sulfurados.

2.2.1.1. Tostación de menas auríferas.

El proceso de la tostación es la transformación de sulfuros en óxidos solubles, para su posterior disolución en solución ácida, básicas acuosa, luego nos permita la cianuración normal. La tostación se realiza a minerales auríferos que está asociados en sulfuros haciendo difícil su extracción de oro; por lo que se debe realizar una tostación de la mena antes del proceso de la cianuración para liberar el oro.

2.2.1.2. Tostación de menas con contenido de pirita y pirrotita.

De acuerdo a los estudios realizados por Norwood (1939), citado por Suero (2014), menciona que en la conversión de sulfuros (Pirita) de hierro a óxidos tienen a lugar las siguientes reacciones químicas:



Estas reacciones, influencia en la temperatura y las presiones parciales en diversas zonas del horno y los gases son determinantes para alcanzar los mejores resultados. Es frecuente el uso de materiales piríticos como una fuente de calor y como agente reductor.

2.2.1.3. Principio fundamental de la biooxidación

Para entender se fundamenta en que, “la biooxidación es un proceso de oxidación de sulfuros, por acción catalítica de bacterias. La bacteria para su metabolismo usa la energía liberada de transición de electrones entre compuestos de mayor energía potencial, a otros de menor energía potencial”. (Douglas, 2007)

La energía necesaria se genera por, “la fuerza motriz del mecanismo generada, por el compuesto donador de electrones, del sustrato a ser oxidado (Fe^{2+} o S^0), y otro compuesto que actúa como el receptor de electrones, para este caso el oxígeno”. (Douglas, 2007)

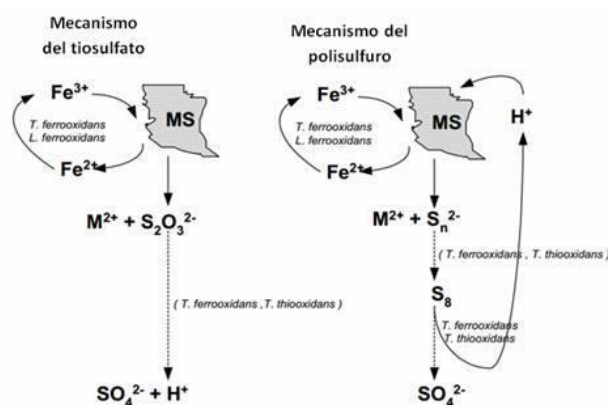


Figura 1. Biooxidación de minerales sulfuros

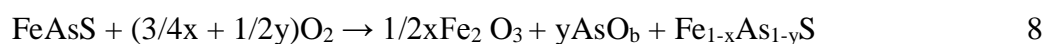
2.2.1.4. Mecanismos de oxidación bacteriana para la arsenopirita.

Dentro del proceso de oxidación por bacterias para el caso de, “la arsenopirita es la fuente mineral de arsénico más común en la superficie terrestre. Se puede encontrar en una variedad de sistemas tales como depósitos magmáticos, hidrotermales y pórfidos”. (Corkhill y Vaughan, 2009)

Por otra parte, “la arsenopirita es comúnmente asociada con el oro, lo que genera su amplia explotación y posterior descarga en los procesos mineros. Es un mineral estable en

condiciones reductoras, pero es oxidado durante condiciones de intemperismo, liberando H_2SO_4 , H_3AsO_3 y H_3AsO_4 ". (Nesbitt *et al.*, 1995), citado en Ziegler (2014).

Para Buckley y Walker (1988), en su trabajo sobre "superficies de arsenopiritas oxidadas en aire, en condiciones controladas de presión, en atmósferas de N_2 , sugieren mecanismo de reacción para la oxidación del mineral, donde las velocidades de oxidación para las fracciones molares de Fe, As y S son iguales", citado en (Ospina, 2010). En la expresión $y > x$; $b \leq 1,5$:



De la reacción, "los productos de la oxidación incluyen: As(I), As(II) y As(III) enlazados al oxígeno, Fe(II) en solución sólida con sulfoarseniuros, Fe(III) enlazados con oxígenos y disulfuros. No se observó la presencia de productos de la oxidación del compuesto S-O". (Courtney y Young, 2019)

2.2.2. Cianuración

Este reactivo fue establecido en el proceso de la disolución del Au fundamentándose en que, "el cianuro de potasio tiene poder disolvente del oro; para Hagen en 1805 y en 1840 Elkington patentó la reacción en galvanoplastia: disolvía el oro metálico en extrema división, en una solución al 20% de cianuro de potasio". (Bado, 1909)

En el uso industrial se puede mencionar, "Rae 1867 patentó para el tratamiento de los minerales auroargentíferos por medio del cianuro de potasio. Haciendo un método universalmente en la industria, Arthur y Forrest en 1887 anunciaron su procedimiento, aportando en la industria aurífera una transformación radical". (Llanos, 2019)

La cianuración presenta dos grandes ventajas sobre el procedimiento de la cloruración: permite el tratamiento de los minerales rebeldes. Los otros procedimientos y hace factible la explotación de los minerales que solo son parcialmente amalgamables. (Bado, 1909)

En la cianuración es necesario el cianuro y del oxígeno para la disolución del Au y la Ag y así poder liberarlos. Las reacciones que se producen son citadas en (Vargas, 2008):



2.3. Definiciones conceptuales.

- a. **Cal:** Compuesto inorgánico con pureza de 54% de CaO. Se usa en la cianuración, para subir el pH de la solución a un valor por encima de 11, para permitir que el ion cianuro siga presente en solución y minimizar la producción del gas cianuro de hidrógeno (Vargas, 2008).
- b. **Cianuración:** Es el proceso, por el cual se obtiene el oro y la plata mediante una disolución alcalina de cianuro de sodio.
- c. **Cianuro de Sodio:** Compuesto inorgánico usado en la cianuración para disolver el Au presente en el mineral.
- d. **Ley:** Es la cantidad del metal de interés presente por cada tonelada de mineral. Se puede expresar en onzas por tonelada para los elementos valiosos o también en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).
- e. **Lixiviación:** Mecanismo de disolución de un metal por medio de una solución lixivante.
- f. **Mineral:** Es un sustancia de composición homogénea que se encuentra en la naturaleza que presentan propiedades físicas y una composición química definidas. Se forman en condiciones favorables, y estructura cristalina definida.
- g. **Molienda:** Es la etapa del proceso de reducción del mineral a un tamaño definido para el siguiente proceso. Permitiendo la liberación de los minerales valiosas de la ganga.
- h. **Pulpa:** Es la mezcla del sólido o mena con respecto al agua.

- i. **Recuperación:** Es la obtención del metal valioso respecto a lo que está en el mineral.
 - j. **Relave:** Material estéril que se obtiene durante el proceso de cianuración y adsorción con carbón activado de los minerales.
 - k. **Solución Barren:** Llamada también solución pobre debido a que el contenido de oro en esta es poco, lo cual se recircula durante el proceso adicionándole cianuro de sodio.
- Solución Preñada:** Llamada también solución rica es la solución con alto contenido de oro esta solución proviene después del proceso de cianuración lo cual es filtrada para después agregarle carbón activo lo cual absorberá las partículas de oro disuelta en dicha solución.

2.4. Formulación de hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General.

La adición del nitrato de plomo tendrá efectos en la cianuración de minerales auríferos, que nos permitirá una recuperación óptima del oro experimentalmente.

2.4.2. Hipótesis Específicas.

- Una adición en una concentración adecuada de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ en el tratamiento del mineral con contenido de oro, permitirá elevar la recuperación de oro a nivel experimental.
- El incremento de nitrato de plomo el tiempo reducirá en la cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, permitiendo una recuperación adecuada de oro a nivel experimental.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de Investigación.

De acuerdo con Bernal (2010), en el estudio “el tipo de investigación es experimental ya que el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, el objetivo del estudio son conocer los efectos de producidos por el investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis”.

- ✓ Con respecto a su naturaleza: Experimental.
- ✓ Con respecto al propósito o utilización: aplicada.

La presente investigación es experimental y aplicada, porque se realizaron pruebas experimentales con un control a fin de encontrar las condiciones óptimas del estudio.

3.1.2. Nivel de Investigación.

Según Carrasco (2005), “una investigación es de nivel predictivo o experimental por que se aplican métodos y técnicas experimentales para mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al estudio de investigación”.

3.1.3. Diseño de la Investigación.

En esta investigación se aplicó un diseño de carácter experimental, debido a que se debe manipular la variable independiente, para observar el impacto que tienen en la variable dependiente bajo las mismas condiciones de trabajo.

3.1.4. **Enfoque de la Investigación.**

Respecto al sentido que tendrá el estudio, se trata de una investigación cuantitativa, en donde las variables o fenómenos son cuantificables. Es decir, “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”. (Fernández, 2014)

3.2. **Población y muestra.**

3.2.1. **Población.**

La población la constituye el mineral del distrito de Huambo, de la provincia de Recuay, en el departamento de Ancash.

3.2.2. **Muestra.**

Respecto a las muestras utilizadas en la investigación, se extrajeron por estratificación de las vetas de la exploración de la mina de Huambo.

3.2.3. **Tamaño de Muestra.**

El tamaño de muestra para el presente estudio se extrajo aproximadamente de 80 kg, se redujo por medio de una chancadora de quijada y se pasó malla 10, luego se cuarteo mediante rifle para cada prueba aproximadamente con 1 kg de mineral.

3.3. Operacionalización de variables.

Tabla 1: Operacionalización de las variables de estudio.

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
Efecto del $Pb(NO_3)_2$ en la cianuración	- Es la derivación de la descomposición de los sulfuros en óxidos, para luego ser disuelto en oro como cianuro áurico.	Factores	- Concentración $Pb(NO_3)_2(g/t)$ - Tiempo
Dependiente			
Recuperación de oro	- Proceso por el cual se obtiene una parte del oro que se encuentra en los minerales expresados en porcentaje.	Cuantificación	- Recuperación
Intervinientes.			
Componentes influyentes	- Son aquellos factores que influyen en el proceso de la disolución del Au en el proceso de la cianuración	Control	- Densidad de pulpa. - Agitación. - Granulometría - Tiempo

Nota: Diseñado por el autor de acorde las variables de estudio.

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas a emplear.

a. Observación sistemática Directa

Se empleó el método de observación directa de la realidad problemática en el proceso de investigación de la situación específica.

b. Observación Sistemática Indirecta.

Se utilizó este método para observar y estudiar los diversos documentos que contienen información relacionada al tema de investigación.

c. Observación experimental.

Con este método se hizo entender la manera como se relacionaban las variables de estudio en el proceso experimental de extracción de datos, a fin de procesarlos más adelante.

d. Otras Técnicas.

Utilización de cuestionarios.

3.4.2. Descripción de los instrumentos.

- a. Fichas de observación.
- b. Listas de cotejo.
- c. Libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora de audio.

3.5. Técnica para el procesamiento de la Información.

Se usó el análisis estadístico y matemático, utilizando softwares estadísticos como el Excel y Minitab 16, para posteriormente analizar la información, mediante tablas y gráficos de los diferentes resultados estadísticos.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Diseño de trabajo experimental.

4.1.1. Condiciones de cianuración.

En el proceso de diseño se tuvieron en consideración en función de los objetivos la intervención del nitrato de plomo, tiempo y liberación del mineral, lo cual se considera en la tabla 2.

Tabla 2 variables en el proceso de cianuración bajo la influencia del nitrato de plomo

	Variable	Nivel (-)	Nivel (+)	Nivel (Medio)
Z1	Pb(NO ₃) ₂ (g/l)	0,5	0,7	0,6
Z2	%-200m	85	90	87,5
Z3	Tiempo h	24	36	30

Nota: Fuente diseño del autor.

En la tabla 2 se tiene para el nitrato de plomo un nivel mínimo de 0.5 g/l y máximo de 0.7 g/l, mientras que para la liberación pasante a malla 200 se tiene 85% nivel mínimo y 90% nivel máximo. El tiempo empleado fueron 24 horas nivel mínimo y 36 horas como nivel máximo y niveles centrales de 0.6 g/l para el nitrato de plomo, 87.5% pasante a malla 200 y 30 horas.

4.1.2. Diseño factorial para la cianuración 2³.

En el diseño factorial se tiene en consideración 8 corridas y 3 corridas centrales como se muestra en la tabla 3, y que se describe a continuación.

Tabla 3 Diseño factorial para la prueba de cianuración escala codificada y natural

	ESCALA CODIFICADA			ESCALA NATURAL		
	X1	X2	X3	Z1	Z2	Z3
1	-1	-1	-1	0,5	85	24
2	1	-1	-1	0,7	85	24
3	-1	1	-1	0,5	90	24
4	1	1	-1	0,7	90	24
5	-1	-1	1	0,5	85	36
6	1	-1	1	0,7	85	36
7	-1	1	1	0,5	90	36
8	1	1	1	0,7	90	36
9	0	0	0	0,6	87,5	30
9	0	0	0	0,6	87,5	30
9	0	0	0	0,6	87,5	30

Nota: Fuente propio diseñado en Excel.

De la tabla 3 se detalla que para la escala codificada X1 para el nitrato de plomo, X2 para el %-200m y X3 para el tiempo en horas y de los datos se asignan el valor -1 para el nivel menor y +1 para el nivel mayor y para los centrales 0. Mientras que para la escala natural se asigna se asigna Z1 para nitrato de plomo, Z2 para el %-200m y Z3 para el tiempo en horas y los valores 0.5g/l nivel menor y 0.7 g/l nivel mayor para el nitrato de plomo, mientras que para el %-200m 85% para el nivel menor, 90% nivel mayor. Para el tiempo 24 horas nivel menor y 36 horas nivel mayor y los centrales de 0.6 g/l para el nitrato de plomo, 87.5% para el %-200m y 30 horas.

4.2. Resultados de la prueba experimental.

4.2.1. Resultados del diseño factorial experimentales.

Tabla 4 Resultado de las pruebas experimentales del diseño factorial

N°	ESCALA CODIFICADA			ESCALA NATURAL			Y (Obs)
	X1	X2	X3	Z1	Z2	Z3	
1	-1	-1	-1	0,5	85	24	76,37
2	1	-1	-1	0,7	85	24	78,29
3	-1	1	-1	0,5	90	24	82,44
4	1	1	-1	0,7	90	24	81,24
5	-1	-1	1	0,5	85	36	80,41
6	1	-1	1	0,7	85	36	82,98
7	-1	1	1	0,5	90	36	85,23
8	1	1	1	0,7	90	36	86,85
9	0	0	0	0,6	87,5	30	78,32
9	0	0	0	0,6	87,5	30	78,42
9	0	0	0	0,6	87,5	30	78,58

4.2.2. Regresión factorial: Recuperación de Au vs. PbNO_3 g/l; %-200m; tiempo h.

En el análisis de los datos para del efecto del nitrato de plomo liberación y el tiempo se detalla en la tabla 5.

Tabla 5 Análisis de la Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	106,639	13,3299	774,99	0,001
Lineal	3	78,899	26,2995	1529,04	0,001
PbNO ₃ g/l	1	3,014	3,0135	175,20	0,006
%-200m	1	39,206	39,2055	2279,39	0,000
Tiempo h	1	36,680	36,6796	2132,54	0,000
Interacciones de 2 términos	3	3,589	1,1964	69,56	0,014
PbNO ₃ g/l*%-200m	1	2,071	2,0706	120,38	0,008
PbNO ₃ g/l*Tiempo h	1	1,505	1,5051	87,51	0,011
%-200m*Tiempo h	1	0,014	0,0136	0,79	0,468
Interacciones de 3 términos	1	0,589	0,5886	34,22	0,028
PbNO ₃ g/l*%-200m*Tiempo h	1	0,589	0,5886	34,22	0,028
Curvatura	1	23,562	23,5624	1369,91	0,001
Error	2	0,034	0,0172		
Total	10	106,673			

Fuente: Procesado con minitab 18 en función de los datos experimentales.

De la tabla 5 se aprecia que en la intervención del nitrato de plomo, tiempo y %-200m tiene un efecto en el proceso de cianuración ya que 0.006, 0.000, 0.000 es menor que el valor de $p < 0.05$. Para las interacciones de nitrato de plomo %-200m y nitrato de plomo con tiempo es 0.008, 0.011 respectivamente menor $P < 0.05$ y la 5-200m con tiempo es 0.468 mayor $p > 0.05$. Mientras que las interacciones nitrato de plomo %-200m y tiempo es 0.468 y es mayor que $p > 0.05$.

Tabla 6 Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,131149	99,97%	99,84%	*

En la tabla 6 la variación estándar es 0.131149 R^2 99.97% R^2 ajustada de 99.84%

Tabla 7 Coeficientes codificados

Término	Efecto	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		Coef	coef.			
Constante		81,7263	0,0464	1762,55	0,000	
PbNO ₃ g/l	1,2275	0,6137	0,0464	13,24	0,006	1,00
%-200m	4,4275	2,2137	0,0464	47,74	0,000	1,00
Tiempo h	4,2825	2,1413	0,0464	46,18	0,000	1,00
PbNO ₃ g/l*%-200m	-1,0175	-0,5088	0,0464	-10,97	0,008	1,00
PbNO ₃ g/l*Tiempo h	0,8675	0,4337	0,0464	9,35	0,011	1,00
%-200m*Tiempo h	-0,0825	-0,0412	0,0464	-0,89	0,468	1,00
PbNO ₃ g/l*%-200m*Tiempo h	0,5425	0,2712	0,0464	5,85	0,028	1,00
Pt Ctral		-3,2863	0,0888	-37,01	0,001	1,00

Nota: Elaboración propia, y realizada con Minitab 18 en función de los resultados experimentales.

De la tabla 7 valor T para PbNO₃ g/l es de 13.24, %-200m de 47.74, Tiempo h de 46.18, PbNO₃ g/l*%-200m de -10.97, PbNO₃ g/l*Tiempo h 9.35, y PbNO₃ g/l*%-200m*Tiempo h 5.85 mayor que 2.6 mientras que %-200m*Tiempo h -0.89 es menor 2.6 para un valor de $\alpha=0.05$.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas para la recuperación está dada por:

$$\begin{aligned} \text{Recup Au} = & -396,0 + 637,2 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} + 5,444 \% \text{-}200\text{m} + 9,66 \text{ Tiempo h} \\ & - 7,460 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \% \text{-}200\text{m} - 15,10 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \text{Tiempo h} - 0,1113 \% \text{-} \\ & 200\text{m} * \text{Tiempo h} + 0,1808 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \% \text{-}200\text{m} * \text{Tiempo h} \end{aligned}$$

Tabla 8 Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

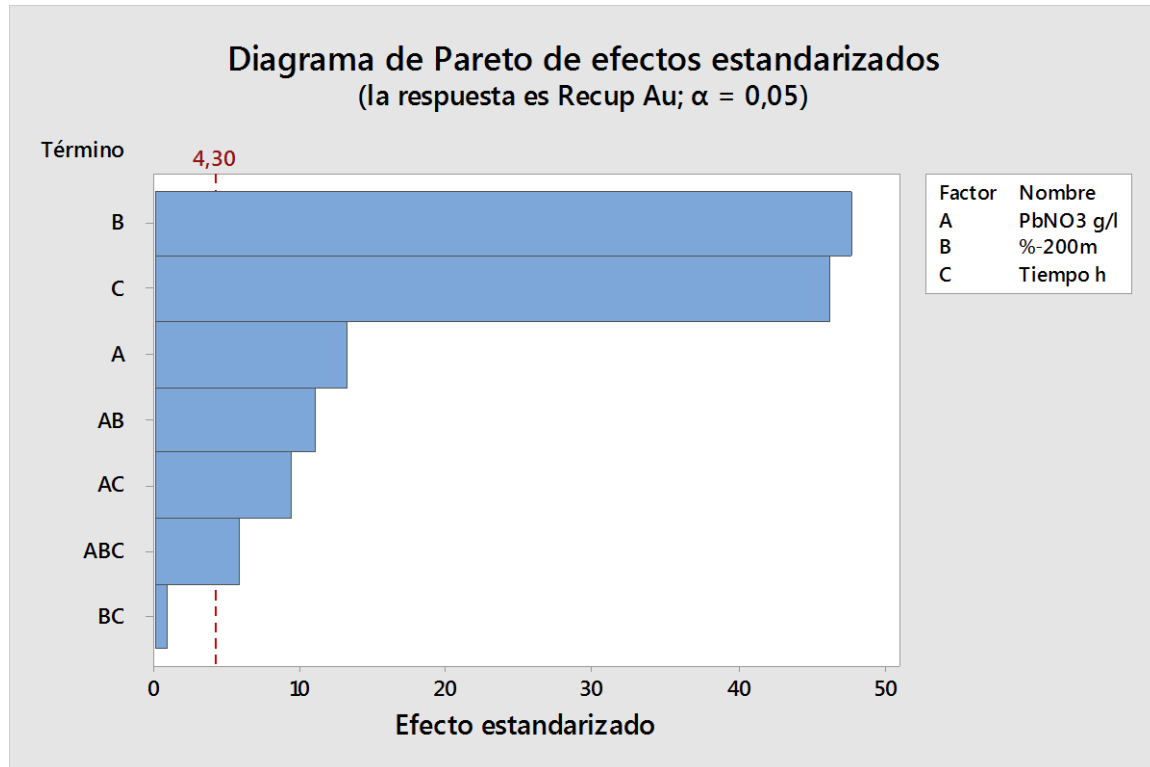
Obs	Recup Au	Ajuste	Resid	Resid est.
1	76,370	76,370	-0,000	* X
2	78,290	78,290	-0,000	* X
3	82,440	82,440	0,000	* X
4	81,240	81,240	0,000	* X
5	80,410	80,410	0,000	* X
6	82,980	82,980	-0,000	* X
7	85,230	85,230	-0,000	* X
8	86,850	86,850	0,000	* X

Estructura de alias

Factor	Nombre
A	PbNO ₃ g/l
B	%-200m
C	Tiempo h

4.2.3. Efectos de Pareto para Recuperación del Au en la cianuración

Figura 2 Efecto de Pareto en la recuperación de oro $\alpha=0.05$



Nota: Fuente minitab 18 procesado en función de datos experimentales.

De la figura 2 el efecto de Pareto para la recuperación de oro cuando $\alpha=0.05$ con la intervención del nitrato de plomo, %-200m y tiempo solo no tiene efecto en el proceso para la interacción de %-200m con el tiempo h por ser menor que 4.30 en los otros casos son mayor a ello tiene un efecto sobre la cianuración.

CAPITULO V

DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1. Discusión.

Para el caso del efecto del nitrato de plomo (II) en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación del oro experimentalmente, el mineral tratado tenía una ley de 13.5 Au g/t y 150 Ag g/t, el tratamiento del mineral se realizaron en 11 corridas, 8 corridas con variación de las variables y 3 con medidas centrales, las cuales para el nitrato de plomo eran de 0.5g/l y 0.7 g/l, para la liberación del mineral pasante a la malla 200 fueron 85% y 90% %-200m por otra parte el tiempo de 24 horas y 36 horas , las medidas centrales fueron de nitrato de plomo 0.6 g/l, %-200m 87.5% en 30 horas.

Como resultado de las pruebas experimentales se obtuvo con mayor recuperación en el caso de 0.6 g/l de nitrato de plomo, 90% pasante a malla 200 en 36 horas, mientras que en los medios centrales se obtuvieron 78.58% de recuperación.

En las intervenciones de las variables en el análisis de varianza se tiene que la intervención del nitrato de plomo, tiempo y %-200m tiene un efecto en el proceso de cianuración ya que 0.006, 0.000, 0.000 es menor que el valor de $p < 0.05$. Para las interacciones de nitrato de plomo %-200m y nitrato de plomo con tiempo es 0.008, 0.011 respectivamente menor $P < 0.05$ y la %-200m con tiempo es 0.468 mayor $p > 0.05$. Mientras que las interacciones nitrato de plomo %-200m y tiempo es 0.468 y es mayor que $p > 0.05$.

Mientras que el efecto que tiene el t student para $PbNO_3$ g/l es de 13.24, %-200m de 47.74, Tiempo h de 46.18, $PbNO_3$ g/l*%-200m de -10.97, $PbNO_3$ g/l*Tiempo h 9.35, y $PbNO_3$ g/l*%-200m*Tiempo h 5.85 tiene significancia, y para él %-200m*Tiempo h -0.89 no tiene significancia para $\alpha = 0.05$.

En el efecto de Pareto se logra evaluar sobre la recuperación de oro cuando $\alpha=0.05$ con la intervención del nitrato de plomo, %-200m y tiempo solo no tiene efecto en el proceso para la interacción de %-200m con el tiempo h por ser menor que 4.30 en los otros casos son mayor a ello tiene un efecto sobre la cianuración.

En la intervención de las variables tiene una relación matemático $\text{Recup.}(\text{Au}) = -396,0 + 637,2 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} + 5,444 \text{ \%}-200\text{m} + 9,66 \text{ Tiempo h} - 7,460 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \text{\%-200m} - 15,10 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \text{Tiempo h} - 0,1113 \text{ \%}-200\text{m} * \text{Tiempo h} + 0,1808 \text{ PbNO}_3 \text{ g/l} * \text{\%-200m} * \text{Tiempo h}$, para $R^2 = 0.9997$, para la recuperación del oro con una desviación estándar de s 0.131149.

Por otra parte, para Zaldaña (2016), “logró determinar, que la temperatura y la granulometría en pre-tratamiento por lixiviación alcalina de un mineral refractario con contenido de arsénico, influye significativamente sobre la recuperación de oro”.

Mientras que para Lovera *et al.* (1998), “El proceso de cianuración, para este mineral se complica por la presencia de cobre, obteniéndose altos consumos de cianuro de sodio y bajas recuperaciones de oro, tanto para 12 y 24 horas de lixiviación”.

Para Arias *et al.* (2005), “La oxidación de la pirita está determinada no por el proceso químico, sino por la difusión de la fase gaseosa y que la formación de sulfatos tiende a cerrar los poros del óxido de hierro producido; deteniendo, la reacción”.

Para Salinas *et al.* (2004), “El mineral tiene cantidades de significativa de Ag y Au, para su estudio de cianuración para la recuperación de tales valores de interés. Se pudo observar que la matriz del mineral fue alterada significativamente cuando se preoxidó con ozono”.

Para Gaviria *et al.* (2006), “Se evidencia en este trabajo la interacción positiva, de los sulfuros con las microondas, ya que se oxidan en un tiempo corto, entre 3.5 y 10 minutos, comparado con el necesario en una tostación convencional”

Mientras que para Ospina *et al.* (2011), “La biooxidación es un proceso electroquímico que inicialmente consume ácido, con disminución inicial del potencial redox. El decline del pH tanto por la hidrólisis del Fe^{3+} como por la oxidación del S_0 , mediada por las bacterias, convirtiéndolo a sulfato”.

5.2. Conclusión .

Sobre efecto del nitrato de plomo (II) en la cianuración de minerales auríferos para la recuperación del oro experimentalmente, se llega a las siguientes conclusiones más relevantes: Para el presente estudio el mineral tratado tenía una ley de 13.5 Au g/t y 150 Ag g/t, el tratamiento del mineral se realizaron en 11 corridas, 8 corridas con variación de las variables y 3 con medidas centrales, las cuales para el nitrato de plomo eran de 0.5g/l y 0.7 g/l, para la liberación del mineral pasante a la malla 200 fueron 85% y 90% %-200m por otra parte el tiempo de 24 horas y 36 horas , las medidas centrales fueron de nitrato de plomo 0.6 g/l, %-200m 87.5% en 30 horas.

La mayor recuperación en cuando se tiene 0.6 g/l de nitrato de plomo, 90% pasante a malla 200 en 36 horas, mientras que en los medios centrales se obtuvieron 78.58% de recuperación. En el análisis de varianza en la intervención del nitrato de plomo, tiempo y %-200m, se encontró un efecto positivo en el proceso de cianuración, salvo cuando las interacciones nitrato de plomo %-200m y tiempo es 0.468 y es mayor que $p > 0.05$.

En el efecto que tiene el t student tiene significancia, salvo en %-200m*Tiempo no tiene significancia para $\alpha = 0.05$, comprobándose con el efecto de Pareto para la recuperación de oro es cuando $\alpha = 0.05$ con la intervención del nitrato de plomo, %-200m y tiempo solo no tiene efecto en el proceso para la interacción de %-200m con el tiempo h por ser menor que 4.30 en los otros casos son mayor a ello tiene un efecto sobre la cianuración.

5.3. Recomendación .

En función de los resultados obtenidos sobre efecto del nitrato de plomo (II) en la cianuración de minerales auríferos en la recuperación del oro experimentalmente en el estudio de investigación se recomienda realizar los siguientes:

Es necesario realizar pruebas de cinética de cianuración para ver el tiempo de recuperación de oro para luego predecir a nivel planta piloto e industrial.

Realizar pruebas de consumo de cianuro de sodio y hidróxido de sodio o cal con detalle para ver el parte económico del presente estudio como complemento del estudio.

En función de los datos obtenidos se debe realizar una prueba de cianuración completa para establecer el dimensionamiento a escala industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, V., Coronado, R., L, P., & Lovera, D. (2005). *Refractariedad de concentrados auríferos*.

Obtenido de

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a01.pdf

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Chía: Pearson.

Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San marcos.

Chacón, L., Ruiz, E., & Zapico, R. (2005). Concentración por flotación de menas de oro-cobre

con bajas recuperaciones de arsénico. *Revista metalurgia*, 394. Obtenido de

[http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/](http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1062)

1062

Corkhill, C., & Vaughan, D. (12 de 12 de 2009). *Arsenopyrite oxidation – A review*. Obtenido

de ScienceDirect Elsevier:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292709002406>

Faro, J. (2015). Evaluación metalúrgica a nivel laboratorio del yacimiento tipo porfido cobre-

oro, procedente de la región pasco. *Título profesional de Ingeniero Metalúrgico*.

Univesidad nacional san agustin de arequipa, Arequipa. Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2663/IMfoyajl.pdf?sequence=1>

&isAllowed=y

Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .

Gaviria, A., Gonzalez, J., & Mora, H. (07 de 06 de 2006). *Refractarias auríferas y su efecto en*

la extracción del oro. Obtenido de Digital portal de revista UN:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/831/1278>

Gutierrez, L. (2017). Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante

procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración

para la recuperación de oro. *Título Profesional de Ingeniero Químico*. Universidad

- Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6616/Gutierrez_fl.pdf?sequence=1
- Kumar, C. (2003). *Chimical metalurgy*. Mumbai: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Lovera, D., Quiñones, J., Aramburú, V., Gagliuffi, P., Puente, L., & Flores, R. (1998). *Procesos de tostación – lixiviación de minerales auríferos con metales cianicidas*. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2294/1998>
- Matiolo, E., Capponi, F., Rodrigues, R., & Rubio, J. (2007). Técnicas no convencionales de flotación de partículas finas de sulfuros de cobre y molibdeno. *Scientia et technica*, 848. Obtenido de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5063>
- Misari, F. (2010). *Metalurgia del oro*. Lima: San Marcos.
- Ospina, J., Osorno, L., Giraldo, J., Mejía, E., & Márquez, M. (08 de 04 de 2011). *Aplicaciones biotecnológicas en minería aurífera: Estado del arte sobre la oxidación bacteriana de arsenopirita (FeAsS)*. Obtenido de Sistema de Bibliotecas Portal de revista: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/20/25
- Palomino, A., & Ramos, O. (2008). evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo: Minera Koricolqui. *Título profesional de Ingeniero Metalúrgico*. Univesidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi_blog/r/Evaluacion_en_la_recuperacion_del_oro_y_plata_a_partir.pdf
- Salinas, E., Rivera, I., Carrillo, R., Patiño, F., J, H., & Hernández, L. (10 de 12 de 2004). *Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurados con ozono*. Obtenido de Scielo Revista de la Sociedad Química de México: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v48n4/v48n4a21.pdf>

- Valderrama, L., González, M., & Santander, M. (2018). Recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación. *Instituto federal de educación ciencia e tecnología*, 48. Obtenido de <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7118/pdf>
- Yamashiro, A. (2012). Cianuración de concentrados pirrotíticos auríferos con etapa de pre-tratamiento de oxidación con aire. *Titulo profesional*. Universidad de ingeniería, Lima. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1333/1/Yamashiro_ba.pdf
- Zaldaña, E., & G., Z. (2016). *Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina (Na₂S y NaOH) de un mineral refractario con contenido de arsénico (As) procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración*. Obtenido de Repositorio Institucional UNITRU: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8793/Zalda%C3%B1a%20Berm%C3%BAdez%20Esmil%20Mijail%20Zavaleta%20Dom%C3%ADnguez%20Gerson%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXO

02 INSTRUMENTOS PARA LA TOMA DE DATOS

Anexo 3 Dosificación y consumo de reactivos

REACTIVO	Laboratorio		Planta	
	mL	g/t	g/t	mL/min
CNNa				
Pb(NO ₃) ₂				

Anexo 4 Pesos y leyes de las pruebas de cianuración

Tiempo (hr)	g	g	g	g
	Pb(NO ₃) ₂	CNNa	Au	Ag
0				
4				
8				
12				
16				
20				
24				
28				
32				
36				

Matriz de consistencia

Anexo 1 Matriz de consistencia general

Título		General					
		Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores	
EFECTO DEL NITRATO DE PLOMO EN LA	CINURCIÓN DE MINERALES AURIFEROS PARA LA	ORO	¿En qué medida el efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos nos permitirá una recuperación optima del oro experimentalmente?	Evaluar el efecto del nitrato de plomo en la cianuración de minerales auríferos, para una recuperación optima del oro experimentalmente.	La adiciona del nitrato de plomo tendrá efectos en la cianuración de minerales auríferos, que nos permitirá una recuperación optima del oro experimentalmente.	Efecto del nitrato de plomo en la cianuración	- Concentración PbNO ₃ (g/TM) - Tiempo

Anexo 2 Matriz de consistencia específico

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	Indicadores
<p>EFEECTO DEL NITRATO DE PLOMO EN LA CINURCIÓN DE MINERALES AURIFEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL ORO EXPERIMENTALMENTE</p>	<p>¿En qué medida la adición en una concentración adecuada de nitrato de plomo en el tratamiento de minerales auríferos, nos permitirá elevar la recuperación de oro a nivel experimental? ¿Tendrá efecto la adición de nitrato de plomo y la reducción del tiempo en la cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, que permita una recuperación adecuada de oro a nivel experimental?</p>	<p>Evaluar la adición en una concentración adecuada de nitrato de plomo en el tratamiento de minerales auríferos, para elevar la recuperación de oro a nivel experimental. Evaluar la adición de nitrato de plomo y el tiempo en la cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, que permita una recuperación adecuada de oro a nivel experimental.</p>	<p>Una adición en una concentración adecuada de nitrato de plomo en el tratamiento de minerales auríferos, permitirá elevar la recuperación de oro a nivel experimental. Con la adición de nitrato de plomo el tiempo reducirá en la cianuración en el tratamiento de minerales auríferos, permitiendo una recuperación adecuada de oro a nivel experimental.</p>	<p>Recuperación de oro</p>	<p>- Recuperación</p>

**“EFECTO DEL NITRATO DE PLOMO EN LA CIANURACIÓN DE
MINERALES AURIFEROS PARA LA RECUPERACIÓN DEL
ORO EXPERIMENTALMENTE”**

.....
M(o) COCA RAMIREZ, VICTOR RAÚL
Presidente

.....
M(o). RODRIGUEZ ESPINOZA
RONALD FERNANDO
Secretario

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

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