



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA E INGENIERIA
METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**“EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO, POTENCIAL
HIDRÓGENO Y TIEMPO DE CIANURACIÓN DE MINERALES
OXIDADOS, EN EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ORO
DE LA MINA ANTORCCOÑA – VELILLE”.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOEL WEDMIR MAMANI BORDA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIA
NURO, POTENCIAL HIDRÓGENO Y TIEMP
O DE CIANURACIÓN DE MINERALES OXI
D**

AUTOR

JOEL WEDMIR MAMANI BORDA

RECuento de palabras

17503 Words

RECuento de caracteres

89741 Characters

RECuento de páginas

108 Pages

Tamaño del archivo

7.7MB

Fecha de entrega

Sep 12, 2024 10:20 AM GMT-5

Fecha del informe

Sep 12, 2024 10:21 AM GMT-5

● 5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)


Ing. Hipólito Córdova Gutiérrez
Asesor
DOCENTE



Resumen



DEDICATORIA

A mi querido abuelito, dichosos los años de mi vida, le dedico y agradezco el esfuerzo de dar lo mejor a tu familia, por tu apoyo desde mi infancia hasta ahora, gracias por haber sido la inspiración por la lucha de los sueños anhelados, que un día decidí alcanzar y gracias a tu apoyo pude haberme convertido en el profesional que soy ahora.

A mis padres, que siempre estuvieron al pendiente de mi formación educativa, inculcándome los valores para ser primero una persona de bien y finalmente un buen profesional, sin vuestro trabajo, sin vuestro sacrificio no sería quien soy ahora.

Al amor de mi vida por el apoyo incondicional en todo momento.

Y a todas las personas que siempre estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas apoyándome.

Joel Wedmir Mamani Borda



AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a Dios por protegerme, por haberme brindado la sabiduría, fortaleza y salud, gracias por llenar de bendiciones mi camino, por la fuerza y el coraje para no darme por vencido y pese a las adversidades seguir en pie y luchar día con día.

A mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por la dicha y oportunidad de haberme podido forjar profesionalmente.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y a toda su plana docente, por la formación profesional que recibí en los años de permanecía, por haberme cobijado en sus aulas, para adquirir conocimientos y desempeñarme como futuro profesional ingeniero metalurgista.

A mi director/asesor Dr. Hipólito Córdoba Gutiérrez, durante mi formación profesional y desarrollo de este proyecto de investigación

A los miembros del jurado, por todos los alcances, correcciones y recomendaciones para el mejor desarrollo de este proyecto.

Joel Wedmir Mamani Borda



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1.1 Problema general.....	18
1.1.2 Problemas específicos	18
1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.2.1 Hipótesis general.....	19
1.2.2 Hipótesis específicas	19
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1 Objetivo general.....	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES.....	22
2.1.1 Internacionales	22



2.1.2	Nacionales.....	25
2.1.3	Locales:.....	28
2.2	BASES TEÓRICAS:	29
2.2.1	Mineralogía.....	29
2.2.2	Generalidades del oro.....	31
2.2.2.1	El oro.....	31
2.2.2.1.1	Contenido de oro.....	33
2.2.3	El cianuro en la extracción aurífera.	33
2.2.4	Fundamentos básicos de la cianuración.....	34
2.2.4.1	Definición de cianuración.....	34
2.2.4.2	Termodinámica de la cianuración.....	34
2.2.5	Generalidades sobre la disolución del oro	36
2.2.5.1	Disolución de oro.....	37
2.2.6	Métodos de Cianuración	39
2.2.6.1	Método de Cianuración en botaderos o Dump Leaching	39
2.2.6.2	Método de Cianuración en pilas o Heap Leaching.....	40
2.2.6.3	Método de Cianuración en bateas inundadas o Vat Leaching	40
2.2.6.4	Método de Cianuración dinámica o con agitación.....	41
2.2.7	Procesos de recuperación de soluciones ricas con carbón activado – CIP, CIL, CIC.....	42
2.2.7.1	Carbón en pulpa (CIP)	42
2.2.7.2	Carbón en lixiviación (CIL).....	42
2.2.7.3	Carbón en columna (CIC).....	43
2.2.8	Proceso de Cianuración por agitación.....	43
2.2.9	Variables y/o parámetros de control en el proceso de Cianuración.....	44
2.2.9.1	Efecto de la concentración de cianuro	44



2.2.9.2	Velocidad de disolución.....	45
2.2.9.3	Efecto del tamaño de partícula.....	46
2.2.9.4	Efecto densidad de la pulpa	47
2.2.9.5	Tiempo de cianuración.....	48
2.2.9.6	Alcalinidad.....	49
2.2.9.7	Efecto de la temperatura	49
2.2.9.8	Efecto del oxígeno sobre la disolución del oro.....	50
2.2.9.9	Efecto de la velocidad de agitación	51

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL AREA DE ESTUDIO	52
3.1.1	Ubicación:	52
3.1.2	Ubicación política:	52
3.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.2.1	La investigación experimental puro.....	53
3.2.2	Diseño experimental en la investigación	53
3.2.2.1	Investigación experimental	53
3.3	METODOLOGÍA.....	55
3.3.1	Operacionalización de las variables.....	55
3.3.2	Población y muestra de la investigación	56
3.3.2.1	Población	56
3.3.2.2	Muestra	56
3.3.3	Instrumentos para la investigación.....	56
3.3.4	Pruebas Experimentales de los objetivos específicos	57
3.3.4.1	Concentración de cianuro:	57
3.3.4.2	Potencial de Hidrogeno:.....	58



3.3.4.3	Tiempo	58
3.3.5	Pruebas metalúrgicas por agitación.....	59
3.3.5.1	Preparación de reactivos.	59
3.3.5.2	Determinación de la concentración de cianuro de sodio.	60
3.3.5.3	Determinación de cianuro a reponer durante la prueba	60
3.3.5.4	Resultados de pruebas metalúrgicas	60
3.3.5.5	Procedimiento	61

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS OBJETIVOS SEGÚN EXPERIMENTO	68
4.1.1	Concentración de cianuro:	68
4.1.2	Potencial de Hidrogeno:.....	69
4.1.3	Tiempo:	70
4.2	RESULTADO PRUEBAS METALURGICAS.....	72
4.3	CONTROL Y DETERMINACION DE CONSUMO DE NaCN Y NaOH	73
4.4	DISEÑO FACTORIAL 2^K	77
4.5	EVALUACION DE LOS RESULTADOS	79
4.5.1	Validación De Modelo De Efectos Estimados.....	79
4.5.2	Prueba de hipótesis según efecto	80
4.5.2.1	Análisis de varianza para recuperación de oro – diseño factorial 2 ³	80
4.5.3	Modelo matemático y Resultados de porcentaje de recuperación	81
4.5.3.1	Formulación y evaluación.....	81
4.5.4	Análisis de residuos Para Recuperación de Oro	82
4.5.5	Respuesta optimo y Resultados de porcentaje de recuperación.....	83



VI. CONCLUSIONES.....	87
VII.RECOMENDACIONES	88
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	93

Área : METALURGIA EXTRACTIVA

Tema : HIDROMETALURGIA

Fecha de sustentación: 13 de septiembre del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Diagrama de estabilidad potencial – pH.....	36
Figura 2: Tipos de Agitación.....	43
Figura 3: Porcentaje de extracción en función del tiempo	48
Figura 4: Ubicación Geográfica del Distrito de Velille.	52
Figura 5: Mineral de Velille	62
Figura 6: Chancado y cuarteado.....	62
Figura 7: Secado de mineral muestreado	63
Figura 8: Pulverizadora	64
Figura 9: Toma de Muestra	65
Figura 10: Banco de 4 agitadores con capacidad de 90 rpm por cada balde en prueba, presenta un motor de 1.5 hp.....	65
Figura 11: % de recuperación, Según % de concentración de Cianuro	68
Figura 12: % de recuperación, Según pH.....	70
Figura 13: % de recuperación, Según Tiempo.	71
Figura 14: Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (Concentración de cianuro al 0.04%)	74
Figura 15: Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.25%)	75
Figura 16: Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.04%)	76
Figura 17: Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.25%)	77
Figura 18: Porcentaje de recuperación según análisis químico metalúrgico	78
Figura 19: Efectos principales.....	79



Figura 20: Efectos principales.....	84
Figura 21: Superficie de respuesta estimada.....	85



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Contenido de oro en diferentes tipos de rocas.....	33
Tabla 2 Resumen de diferentes técnicas de lixiviación de minerales.....	41
Tabla 3 Tamaño de algunos minerales para la lixiviación por agitación	47
Tabla 4 Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución de oro	51
Tabla 5 Plantilla de pruebas.....	54
Tabla 6 Plantilla de Variables.....	55
Tabla 7 Concentración de cianuro para cada experimento.....	58
Tabla 8 Potencial de hidrógeno para cada experimento	58
Tabla 9 Tiempo para cada experimento	59
Tabla 10 Plantilla de valores de pruebas	59
Tabla 11 Condiciones para pruebas metalúrgicas.	67
Tabla 12 Resultado de recuperación según NaCN (%)	68
Tabla 13 Resultado de recuperación según pH	69
Tabla 14 Resultado de recuperación según tiempo	71
Tabla 15 Resultado de Análisis Químico Metalúrgico.....	72
Tabla 16 Control de la Prueba para 0.04% NaCN, pH:10.....	73
Tabla 17 Consumo de Reactivos para 0.04%NaCN.....	73
Tabla 18 Control de la prueba para 0.25%NaCN, pH:10.....	74
Tabla 19 Consumo de reactivos para 0.25% NaCN	75
Tabla 20 Control de la prueba para 0.04% NaCN, pH:11.5.....	75
Tabla 21 Consumo de reactivos para 0.04% NaCN	76
Tabla 22 Control de la prueba para 0.25% NaCN, pH11.5.	76
Tabla 23 Consumo de reactivos para 0.25% NaCN	77



Tabla 24	Resultados para diseño factorial 2^3	78
Tabla 25	Prueba de Efectos estimados	79
Tabla 26	Análisis de Varianza.....	80
Tabla 27	Coefficientes codificados para modelo matemático	81
Tabla 28	Análisis de valores.....	82
Tabla 29	Camino de máximo ascenso respuesta optima.....	84



ACRÓNIMOS

pH	: Potencial Hidrógeno
g	: Gramos
L	: Litro
μ	: Micra
ρ	: Densidad
ml.	: Mililitros
°C	: Grado Centígrado
Km	: Kilometro
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
rpm	: Revolución por minuto
cm²	: Centímetro cuadrado
h.	: Horas
Au	: Oro
%	: Porcentaje
Kg	: Kilogramo
CIP	: Carbón en pulpa
mg	: Miligramo
ppm	: Partes por millón
NaCN	: Cianuro de sodio
NaOH	: Hidróxido de Sodio
CaO	: Oxido de calcio



RESUMEN

El presente estudio consiste en mejorar la recuperación del oro a partir de los minerales oxidados en un proceso de lixiviación por agitación de la mina Antorccoña – Velille. De acuerdo a las pruebas de lixiviación por agitación se determinó el efecto de las variables de concentración de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo, en ese sentido las condiciones del proceso permitirán obtener un mayor % de recuperación de oro. El objetivo de la investigación es determinar y analizar la influencia de la concentración de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo de cianuración de minerales de oro. El diseño de la investigación es cuantitativo y de nivel descriptivo explicativo. La metodología a aplicar se dio mediante el análisis de la influencia sobre las variables a través del diseño experimental de análisis factorial 2^3 , de modo que se mejorará el nivel de recuperación de oro en mayor porcentaje mediante lixiviación por agitación. El resultado de las pruebas metalúrgicas según diseño factorial obtenida en su máximo acenso es de 93.092%, y en la determinación de confianza a 95% en promedio de porcentaje de recuperación de oro. En conclusión, según prueba de efectos las variables influyen significativamente en el porcentaje de recuperación de oro y como respuesta optima de las variables están en su nivel alto tanto concentración de cianuro y tiempo de residencia, en cambio potencial de hidrógeno influye en un intermedio y se recomienda trabajar según parámetros de esta investigación con concentración de cianuro 0.244% y pH 10.75 a una granulometría de -200 (90.85 % - 91.95%) manteniendo estos parámetros por un periodo de 72 horas. ya que el beneficio de recuperación será en mayor porcentaje.

Palabras claves: Cianuración, Concentración de cianuro, Extracción, Minerales oxidados de oro, Lixiviación.



ABSTRACT

The present study consists of improving the recovery of gold from oxidized minerals in an agitation leaching process at the Antorccoña - Vellido mine. According to the agitation leaching tests, the effect of the variables of cyanide concentration, hydrogen potential and time was determined, in that sense the conditions of the process will allow obtaining a higher % of gold recovery. The objective of the research is to determine and analyze the influence of cyanide concentration, hydrogen potential and cyanidation time of gold ores. The research design is quantitative and descriptive and explanatory. The methodology to be applied was given by analyzing the influence on the variables through the experimental design of factorial analysis 2^3 , in order to improve the level of gold recovery in higher percentage by agitation leaching. The result of the metallurgical tests according to factorial design obtained in its maximum increase is 93.092%, and in the determination of confidence at 95% in average percentage of gold recovery. In conclusion, according to the effects test the variables significantly influence the percentage of gold recovery and as optimal response of the variables are in their high level both cyanide concentration and residence time, on the other hand hydrogen potential influences in an intermediate and it is recommended to work according to the parameters of this research with cyanide concentration 0.244% and pH 10.75 at a particle size of -200 (90.85 % - 91.95%) maintaining these parameters for a period of 72 hours, since the recovery benefit will be in a higher percentage.

Keywords: Cyanidation, Cyanide concentration, Extraction, Oxidized gold ores, Leaching.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En las actividades desarrolladas en el campo minero-metalúrgico, a través del tiempo y la búsqueda de los yacimientos con un rentable proceso se viene desarrollando este proyecto de investigación para el beneficio de los mineros artesanales que están en proceso de formalización los cuales son participes directos en la producción del mineral; y para luego hacer el respectivo proceso de cianuración, ya sea maquila para luego en proceso de construcción de planta de cianuración, ya que el beneficio de recuperación será en mayor porcentaje.

Para extracción aurífera los mineros artesanales utilizan mercurio pero buscando una alternativa utilizan posas para la lixiviación lo cual demora su proceso y con las prohibiciones del uso del mercurio para su respectivo movimiento rápido del comercio del oro y la necesidad económica para los mineros hace que el mineral que extraen se vende generalmente, y por ultimo vieron por optar de maquilar plantas pero para ello necesitan los parámetros necesarios, las plantas de beneficio generalmente son en proceso de CIP, en dicho proceso de cianuración se deben mantener factores y variables muy importantes para la solubilidad del oro como; la concentración del cianuro, tiempo de residencia, tamaño de la partícula, densidad de la pulpa, pH, oxígeno.

Este trabajo pretende determinar y cuantificar el efecto de la concentración de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo de cianuración en la recuperación de oro. Es necesario determinar estos factores para hacer el uso racional de la economía, ya que desde la perspectiva económica supone un porcentaje muy importante en la inversión y en el uso de cianuro, soda caustica y tiempo.



Durante las pruebas de agitación en baldes que se realizarán, se obtendrán diversos resultados. Estos resultados se procederán a analizar estadísticamente los efectos a estudiar y de esta manera encontrar los valores más adecuados de cada uno de estas variables, para su proceso en la planta de procesamiento de minerales a maquilarse, y así beneficiarse económicamente, y posteriormente construir una planta de beneficio.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de recuperación de oro, la extracción del mismo usualmente es a base de amalgamación, sin embargo en cuanto a costo, tiempo y nivel de recuperación aproximadamente es menos del 45% lo cual indica baja recuperación, además de llegar a altos niveles de contaminación, a diferencia de procesos de cianuración la recuperación se obtiene aproximadamente más de 90 % es así que en la mina Antorcoña – Velille, aún no existe los estudios que determinen el tiempo optimo, potencial de hidrógeno y la concentración de cianuro de sodio necesario para obtener esta elevada recuperación de oro, razón por la cual surge el problema general:

1.1.1 Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la concentración de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo de cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro de la mina Antorcoña – Velille?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo determinar el efecto de la concentración de cianuro de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?
- ¿Cómo evaluar el efecto de potencial hidrógeno en la cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?



- ¿Cuál será el efecto de tiempo en la cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?

1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Hipótesis general.

- Determinando el efecto de la concentración de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo de cianuración de minerales oxidados, mejora el porcentaje de recuperación de oro en la mina Antorccoña – Velille.

1.2.2 Hipótesis específicas

- Al determinar el efecto de la concentración de cianuro, mejora el porcentaje de recuperación de oro.
- La evaluación del efecto de potencial hidrógeno en la cianuración de minerales oxidados, influye positivamente en el porcentaje de recuperación de oro.
- El efecto de tiempo en la cianuración de minerales oxidados, influye positivamente en el porcentaje de recuperación de oro

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Conforme avanzan los años, la extracción de los minerales ha ido cambiando sustancialmente, llevando distintos procesos de extracción de los minerales preciosos, los cuales llegan a ser usados en áreas que van desde la joyería, hasta llegar al uso de tecnologías. Por lo que la investigación se justifica por que busca la mejora del nivel de recuperación de oro a través de procesos de cianuración mediante parámetros que influyan en su máximo porcentaje de recuperación. El estudio metalúrgico también consiste en el desarrollo del proceso de lixiviación en carbón en pulpa por agitación sobre un mineral



aurífero de la zona de Velille, tomando los factores de mérito de extracción de oro soluble. Ya que este proceso ayudara a reducir, los niveles de contaminación sobre el medio natural.

Desde la perspectiva teórica es posible sostener que, al determinar el efecto de cianuro, potencial de hidrógeno y tiempo en el proceso de cianuración buscando óptimos parámetros para elevar el porcentaje de extracción de metales de oro y bajando el consumo de reactivos, a través de las pruebas metalúrgicas de lixiviación por agitación, por lo cual este proyecto podría resultar tanto beneficioso para la mina Antorcoña Velille, como modelo de trabajo para otras empresas más.

En tal sentido también abarca la justificación práctica, debido a que el proceso de carbón en pulpa, es reconocido por su capacidad para recuperar oro de soluciones de cianuro, siendo una de las tecnologías más avanzadas en la industria minera, sin embargo, la eficiencia de este proceso puede llegar a variar significativamente dependiendo de factores como potencial de hidrogeno, tiempo y concentración de cianuro, motivo por el cual es importante la evaluación y optimización de estas variables para asegurar la máxima recuperación de oro.

La investigación se justifica socialmente debido que, en la minería artesanal, los mineros optan por procesos de amalgamar y en algunos casos en vender el mineral a las plantas acopiadoras, sin embargo, con esta investigación se pretende explicar de manera práctica, que el uso del cianuro mejora el porcentaje de recuperación de oro, además de contar con bajos costos de producción lo que elevará el nivel de vida en los pobladores de la localidad, De esta manera los mineros artesanales podrán optar de maquilar una planta para su respectivo proceso ya que contarán con parámetros óptimos y en un futuro poder instalar una planta de cianuración, además de generar mejores ofertas laborales.

Por otro lado, también aborda la justificación económica de este estudio porque la fluctuación en los precios del oro hace que la optimización de los procesos de recuperación



sea aún más importante, por lo que se pretende mejorar el porcentaje de recuperación de oro, ya que desde la perspectiva económica supone un porcentaje muy valioso en la inversión, en el uso de cianuro, hidróxido de sodio y tiempo, lo que a su vez puede tener un impacto directo en la rentabilidad para la mina Antorcoña – Velille.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general.

- Determinar y analizar la influencia de la concentración de cianuro, potencial hidrógeno y tiempo de Cianuración de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro, en la mina Antorcoña – Velille.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la concentración de cianuro en la efectividad de la Cianuración en el propósito de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.
- Evaluar el potencial hidrógeno óptimo de Cianuración a efecto de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.
- Evaluar el periodo de tiempo óptimo de Cianuración a efecto de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

En 2001, el Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (ICME), en la publicación muestra, donde la historia de manejo de cianuro en minería muestra públicamente en los últimos años preocupaciones medio Ambientales, efectivamente el uso y manejo de cianuro hay una larga historia en procesos metalúrgicos y en diferentes procesos a nivel mundial. Dippel y Diesbach descubrieron el “azul de Prusia” en el año 1704. Las investigaciones de scheele sobre la solubilidad del oro en soluciones cianuradas fue el primer trabajo bien documentado en Suecia del año 1783. A mediados del siglo XIX Faraday, Elsner y Elkington y Bagration, llevaron a cabo investigaciones activas sobre la química del cianuro de oro. Aproximadamente en los años de 1840, Elkington logra la patente para galvanoplastiar Au y Ag, por medio de la utilización de soluciones de cianuro de potasio. El alemán, a través de la “ecuación de elsner”, fue quien encabezó la evaluación del uso del oxígeno en el proceso de disolución del oro a través de soluciones cianuradas y en 1846 se conoció la extracción del oro del mineral con cianuro.

En 1887 patentaron los hermanos Forrest y McArthur y en 1888 llegan a establecer el proceso de cianuración, a su vez el uso del resultado de la disolución del cianuro y también la precipitación por medio del zinc. No obstante, con anterioridad existían algunas patentes las cuales se encontraban relacionadas con el proceso de lixiviación con cianuro (Rae en 1869) además de la extracción de oro sobre la base de soluciones cloradas haciendo uso del carbón vegetal. En 1889 a



escala comercial la primera planta de cianuración empieza su funcionamiento en Nueva Zelanda en la mina Crown, es así que en los años 1904 los procesos de cianuración en países de Sudáfrica, Australia, Estados Unidos, México y Francia, también estaban encaminados al mismo proceso. Logsdon M., Hagelstein K., y Mudder T. (2001).

En la revista metalúrgica 2013 N°3, detalla que la creciente demanda de oro en el mercado mundial ha llevado a que la búsqueda de yacimientos sea cada vez más compleja hablando operativamente, en donde sean aplicadas nuevas técnicas para casos en donde resulta antieconómico o simplemente no era posible la recuperación del oro. Los minerales de oro requieren un procesamiento metalúrgico complejo y detallado porque presentan comportamientos diferenciados dependiendo del tipo de mineralogía.

Algunos minerales requieren un mayor consumo de cianuro para mantener la recuperación mientras que otros minerales pueden incluso provocar la pérdida de oro de las soluciones de PLS (Pregnant Leach Solution) debido a la adsorción de oro en los microporos del carbón orgánico del mineral, haciendo que el tratamiento sea antieconómico en muchos casos. Entre ellos, por métodos de lixiviación convencionales (Felipe, C. 2013)

Logsdon, Hagelstein y Mudder; detallan que el contenido técnico que utiliza el cianuro, uno de los pocos reactivos capaces de disolver el oro en agua, resulta ser una sustancia química industrial de fácil disponibilidad además de su precio económico. Por lo tanto, desde un punto de vista técnico y económico, el cianuro se convierte en la sustancia elegida para recuperar oro de los minerales. Su uso en la extracción de metales se remonta a 1887 y actualmente es utilizado y se realiza el proceso de recuperación de forma segura a nivel mundial. La producción para la



extracción de oro implica el uso de soluciones de cianuro de sodio muy diluidas, típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón (ppm)). (Logsdon, Hagelstein y Mudder, 2001).

En el sitio de la página web del Código Internacional para el Manejo del Cianuro en la Minería del Oro. Hace mención de como el oro es un metal noble que no es soluble en agua, por lo tanto, para llegar su disolución es imprescindible el uso de una sustancia química como el cianuro, que permite establecer complejos y consolidar el oro en las soluciones, o de un agente oxidante como el oxígeno. Para obtener la dilución del oro se necesitan 350 miligramos por litro (mg/L) o 0.035% (como 100% NaCN) de cianuro; es por tal motivo que se llega a comprender y entender por qué el cianuro se comporta llega a ser el reactivo extraordinario para la lixiviación de oro desde que se inició su uso en los años antes de que culmine el siglo XIX.

En la parte de lixiviación con soluciones líquidas de cianuro nos menciona sobre: Las concentraciones de cianuro más usuales y estas llegan a oscilar y variar entre los 300 y los 500 mg/L (de 0.03 a 0.05% como NaCN) y estas son dependientes de acuerdo al tipo de mineral, por lo cual el oro se recupera por lixiviación en pila o lixiviación por agitación. (Uso del Cianuro, 2016).

La revista latinoamericana de metalurgia y materiales del año 1983, indica que el oro en su forma nativa resulta soluble sobre soluciones aireadas de cianuros de sodio o potasio en cianuros alcalinos.

Miranda y Suarez nos explican que el mineral molido fino se agita con soluciones de cianuro diluidas durante un período de 6 a 72 horas. Para evitar el desprendimiento de -HCN , la solución debe permanecer alcalina. Esto se debe a que las soluciones de cianuro tienen concentraciones de 0,2 a 1,0 g/L de NaCN y 0,1 g/L



de CaO. La velocidad de disolución del oro nativo depende de una variedad de factores, incluido el tamaño del grano, el grado de liberación, el contenido de plata y cualquier agente que altere la superficie. (Miranda y Suárez, 1983).

En cuanto al tiempo de cianuración, el investigador Barsky, descubrió que la velocidad máxima de disolución del oro llegaba a ser 3.2mg/cm²/hr. Por lo que estos cálculos muestran que, es igual a una penetración de 1.68 micra (μ) en cada lado de una partícula plana de oro, o una reducción total de espesor de 3.36 μ por hora. De tal manera una pieza de 44 μ de espesor (malla 325) llegaría a tomar no menos de 13 horas y una partícula que pase la malla 100 tardaría un tiempo no mayor de 44 horas para disolver. (Barsky G. 1934).

2.1.2 Nacionales

En cuanto al efecto de la concentración, Misari señaló que, en la práctica, la gran parte de las plantas de cianuro que procesan minerales de oro utilizan soluciones con un contenido de cianuro de sodio inferior a 0.05%, sin embargo, el promedio general posiblemente llega a estar más cerca de 0.02 a 0.03% de NaCN. (Misari, 2010, p. 26).

Medo (2016), en su tesis de grado titulado: Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación. Cachachi – Cajamarca; obtuvo un mayor porcentaje de recuperación de oro, con la concentración del cianuro de sodio, con la recuperación más elevada de 92.37% con 0.08% NaCN, logrando como resultado que los niveles de granulometría no ascienden linealmente con el resultado de la recuperación de oro, en la fecha que se llevó a cabo el estudio, logro recuperar a una malla #140 que en lo cual muestra que su hipótesis no se efectúa. (Medo, 2016).



Para Valenzuela, Aguayo Parga; la alcalinidad de la solución de cianuro se debe observar con mucho cuidado a si llevar un buen control, el objetivo principal es lograr una alta dilución del oro y la plata. En lo habitual, el valor mínimo y el máximo de pH esta entre 10.5 y 11.5. para mantener el pH en la operación es de 10.5 y 11.5 en las plantas de procesamiento de minerales, se puede disponer cal o soda caustica (NaOH) para alcalinizar. (Valenzuela, Aguayo Parga, 2011).

En la investigación de tesis los autores mencionan en su conclusión la importancia de potencial hidrógeno (pH), ya que influye de manera más relevante en el porcentaje de extracción de oro para minerales oxidados por lixiviación en agitación, de esta manera alcanzar el porcentaje de extracción más alto a un pH 11. (Heras M. Quispe N. 2018).

El trabajo realizado por el autor es la influencia del pH en la disolución de los metales en soluciones cianuradas la disolución aumenta significativamente el pH Cada que se eleva, de esta manera su potencial hidrogeno óptimo es de 10.5 a 11. Con una recuperación de por encima de 90%. (Arce, Cano, 2015).

En el Centro de Investigaciones del Níquel se llevó a cabo un estudio del tiempo de retención en un sistema de lixiviación industrial. Según los autores, el tiempo de retención es igual al tiempo de permanencia en el que sale el 50% de la carga de un sistema, por lo que es diferente para las diferentes fracciones de volumen que ingresan en el tiempo $t=0$; por lo que es necesario estudiar la distribución del tiempo de retención para determinar cómo se distribuye el volumen de pulpa. (Rojas A. García A. 2010)

Como se puede ver en la investigación de este autor, que trabajó con un tiempo de lixiviación de setenta horas, la curva disminuyó a las 48 horas y la



recuperación de oro, en las siguientes horas hasta concretar la investigación aumentó de una manera muy lenta. (Mas, Aguirre y Amaya. 2005)

En la tesis: Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au – Ag en la compañía Minera Ares Castilla – Arequipa, según las pruebas experimentales de la investigación se llegaron a los siguientes parámetros operativos para realizar el estudio: pH 10.5, concentración de cianuro 0.25% (2.5 g/l) y a un tiempo de agitación de 72 horas. Se inicia con tiempo de molienda 0 a 27 horas con 51 min, la partícula se reduce a malla -270 al 74% y las pruebas de cinética fijaron un tiempo de cianuración de 72 horas a concentración de cianuro de sodio 0.30% con un pH 10.5 con las cuales se llegó recuperar a mayor porcentaje de 96% de oro. (Gomez J. Morales M. 2012)

De similar forma en la tesis: Influencia del potencial de hidrógeno en la recuperación de oro y plata en los procesos de lixiviación, de pruebas de cianuración por agitación se tiene en cuenta diversos factores tales como la granulometría -200m al 80%, la densidad de pulpa 1250g/l, la temperatura, el porcentaje de concentración de cianuro al 0.1% - 0.2%, el tiempo de cianuración; de dicha investigación, se concluyó que la recuperación de 90% que se obtuvo de los metales preciosos está fuertemente influenciados por factores como la granulometría y el tiempo de residencia en el proceso de cianuración. (Arce L. Cano F. 2015).

En un trabajo de investigación, en la lixiviación por agitación, la mena molida con un tamaño inferior a 105 μ , es agitado con solución cianurada por un periodo de 6 hasta las 72 horas; en la que se aprecia que el periodo de agitación ideal para una mejor recuperación. (Morales E. 2016).



2.1.3 Locales:

Este proyecto realizado según sus pruebas al determinar la granulometría cambia desde su nivel bajo (80% - #200) hasta su nivel alto (90% -# 200) lo cual es de suma importancia mantener este nivel de malla ya que se trabaja mineral de acopio lo cual contiene entre sulfuros y óxidos, de esta manera logra su mejor recuperación de 92.301%. con una concentración de cianuro de sodio óptimo de 0.20%, y a un tiempo de agitación de 36 horas a un pH entre 10.5 a 11.5. (Quispe, 2024)

Para flores en sus pruebas experimentales según sus condiciones óptimas realiza con parámetros de concentración de cianuro de 0.077 a 0.14%, pH 11 y a un tiempo de residencia de 24 a 72horas. Según su diseño el tiempo óptimo de proceso de cianuración es de 72 horas a una concentración de cianuro libre 0.110657% con un pH 11, llegando a si a una recuperación de 88.284%. Realizando la evaluación el efecto de la concentración del cianuro libre en porcentaje 0.11 % CN^- con una recuperación baja de 57.3267, pero al incrementar 72 horas y a una concentración 0.11066 % CN^- obtiene una recuperación del 88.4323% de oro, pero si se sigue incrementando el tiempo de residencia a 76.5454 horas y a una concentración 0.11077% de cianuro libre se obtendría una recuperación de 94.142 % de oro, al evaluar la concentración del cianuro libre cada que se eleva la concentración en 0.00011 % cada 4.078 horas se refleja un porcentaje de incremento de recuperación de 5.259%, de tal manera cuando se realiza el aumento de la concentración la recuperación aumenta notablemente. (flores, 2019).

Díaz propone llevar un control del pH entre 10.5 y 11 en promedio para una mejor recuperación en su camino de máximo ascenso determina sus parámetros concentración de cianuro de sodio de 1 g/l, y aun pH 10.5 para una obtención y/o recuperación de 84% de oro. (Díaz E. 2014)



En el estudio de investigación realizada según sus análisis indica en una de sus conclusiones define los parámetros apropiados para la disolución del oro: se trabaja con granulometría al 91% m-200 con una concentración de cianuro de al 0.192% NaCN con una residencia de 60 horas, donde se observa el trayecto de mayor ascenso para una mejor recuperación más efectiva. (Apaza Y. 2018).

Presenta este proyecto el tiempo de retención en lo cual realiza una comparación de tiempos de agitación de 24, 30, 40 y 48 horas, determinándose el tiempo de agitación óptima de 48 horas, con una recuperación de 75.70% de extracción de oro, cabe indicar a mayor tiempo tiene un incremento de recuperación de 14.7%. teniendo datos de las pruebas con una granulometría -#200 a 90.86%, pH 11 y a una concentración de 0.15%. (Choquehuanca F. 2023)

2.2 BASES TEÓRICAS:

2.2.1 Mineralogía

La mineralogía, inmersa en la ciencia de los minerales es una de las ramas de la geología cuyo propósito es estudiar las propiedades físico-químicos de los minerales que se hallan en la tierra en sus distintos estados de agregación. Actualmente se designan minerales a los componentes de las menas y rocas, las cuales llegan a especificarse por su composiciones químicas y propiedades físicas tales como: brillo, dureza, y su color.

Los minerales de mina, y resaltando aún más los de cada veta, cuentan con propiedades especiales que deben ser determinadas como punto de inicio en cualquier proceso minero-metalúrgico, por lo cual se precisa que ciertos minerales pueden considerarse como “valiosos”, “no valiosos” mientras que otros pueden considerarse “indeseables”, estos términos son los que llegan a variar según la



ubicación, precio, minerales asociados, otras circunstancias de depósito en particular y los cambios en la tecnología y la economía.

En mineralogía, la trascendencia no depende de la detección e identificación de ciertas especies minerales presentes en un determinado mineral, sino de entender y evaluar el potencial económico de cada mineral. El primer paso importante en la mineralogía es identificar las especies minerales, y aunque estos estén compuestos por un mineral simple, la mayoría de los yacimientos y vetas llegan a estar constituidos de 3 a 20 minerales, lo cual resulta lógico puesto que llegan a existir de 100 a 200 minerales metálicos conocidos, que pueden formar millones de combinaciones diferentes. Afortunadamente muchas combinaciones teóricas son genéticamente improbables en el entorno natural al que pertenecen. (Betejin,1970)

- **Mineralogía de las menas auríferas**

Desde la perspectiva del proceso de cianuración, las menas se clasifican en los grupos:

- Las menas de óxidos simples son los que contienen finas partículas de oro nativo, ganga de piedra caliza o cuarzo.
- Las menas de sulfuros simples son aquellas donde el oro está asociado con mínimas cantidades de pirita y arsenopirita.
- Material aluvial o placer
- Menas complejas de metales comunes en las que los metales preciosos son componentes económicamente importantes.
- Menas refractarias complejas en las que los minerales que contienen oro no se disuelven sencillamente en cianuro.



- Menas de metales comunes, en los que el metal precioso tiene un valor menor y es un subproducto del procesamiento de minerales.

En general, los tres primeros grupos se presentan para la lixiviación en pilas por consecuencia las siguientes características son indispensables en las menas:

- El valor del oro y la plata son tratables mediante cianuración.
- La mena es libre hasta cierto punto debido a cianicidas o sustancias que destruyen el cianuro o interfieren con la interacción básica de la lixiviación del oro, tales como minerales sulfuros parcialmente oxidados con contenidos de antimonio, zinc, hierro, cobre y arsénico.
- Las partículas de oro son de tamaño muy fino y la roca encajonada es porosa para la cianuración y se mantiene permeable en el transcurso de todo el tiempo que dura la lixiviación.
- En las menas de bajo nivel de porosidad, las partículas de oro presentes son liberadas con mayor facilidad por trituración.
- La mena es libre de constituyentes que forman ácido debido a un alto consumo de cal.
- La mena y/o mineral no contiene cantidades exceso de arcilla ni finos que impidan la percolación de la solución. (Vargas, 1990)

2.2.2 Generalidades del oro

2.2.2.1 El oro

El metal precioso “oro”, ha atraído la atención de la gente porque se utiliza especialmente con fines económicos. Su rareza e inmutabilidad se han vuelto representativas de riqueza y poder. (Misari,1993)



La atención que atrae este elemento se basa en principio en sus propiedades fisicoquímicas, tales como: color amarillo dorado, además de ser el metal más dúctil y maleable, tiene altos niveles de conductividad eléctrica y térmica, es el más inerte de todos los metales y además cuenta con buena estabilidad y resistencia a la corrosión.

Agregando a las características mencionadas, este elemento, juega un rol primordial en el avance tecnológico para el desarrollo humano, ya que ha sido un factor decisivo en la evolución económica de la humanidad y naciones a lo largo de la historia.

Por todo lo antes mencionado se hace necesario resaltar la importancia del oro, desde hace años, empero, su proceso de extracción empieza a ser realmente importancia cuando logra adquirir valor en la industria, como resultado de sus propiedades ya sean químicas y físicas que lo llevan a ser un elemento único además por su aspecto y escasez en el medio natural.

Con respecto a las características químicas del oro, de símbolo Au, cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras con una dimensión de célula de 4,07001 Å. Además de contar con una dureza de 2.5 a 3 en la escala de Mohs y densidad de 19.32 g/cm³. Su punto de fusión es a 1064.18 °C y la ebullición a 2856.85°C. (Ros A. 2017)

Su concentración en la litósfera superior es de 0.005ppm.



2.2.2.1.1 Contenido de oro

Tabla 1

Contenido de oro en diferentes tipos de rocas

Roca	ppm
Gabro, basalto	0.007
Diorita-andesita	0.005
Granito-riolita	0.003
Arenisco-conglomerados	0.03
Lutita	0.004
Caliza	0.003

FUENTE: Paz M, M. Exploración y muestreo en depósitos aluviales - INGEMET Pag.20

En el Perú el oro es presentado en yacimientos primarios como:

- 1) Vetas de cuarzo que contienen pirita y oro en rocas intrusivas y/o metamórficas.
- 2) Mantos con presencia de cuarzo, arsenopirita, pirita y oro en esquistos.
- 3) Depósitos de skarn los cuales llegan a contener auríferos.
- 4) Vetas de oro y plata como metales base, en rocas volcánicas (metales base)
- 5) Disseminaciones y stockwork de oro-plata en rocas volcánicas.
- 6) Yacimientos de tipo pórfido de oro-plata.
- 7) Oro como subproducto en vetas polimetálicas y depósitos del tipo pórfido de cobre-oro. (Paz M.)

2.2.3 El cianuro en la extracción aurífera.

El Cianuro se forma a partir de un átomo de carbono y un átomo de nitrógeno, los mismos que son aplicados a un grupo de sustancias que se hallan en el medio natural o fueron producidos por el ser humano. De la misma manera más de 2.000



fuentes naturales de cianuro son encontradas en insectos, bacterias, algas, hongos y plantas superiores, a su vez el hombre produce HCN, NaCN y KCN.

El cianuro en consecuencia es uno de los pocos reactivos con carácter químico que puede llegar a disolver el oro en medio acuoso, en tal sentido ya sea por temas económicos o técnicos, resulta ser el producto químico utilizado con más frecuencia para disolver el oro, en tal magnitud, a nivel mundial más del 90% de oro es extraído con cianuro

En los procesos metalúrgicos el NaCN es el reactivo más usado ya que hidroliza fácilmente en presencia de agua, seguida del KCN, aunque existen variedad de especies de cianuro que disuelven al oro, pero no se utilizan en operaciones metalúrgicas. (López, 2014)

2.2.4 Fundamentos básicos de la cianuración

2.2.4.1 Definición de cianuración

Es el proceso hidrometalúrgico que se basa en hacer el tratamiento de disolución de minerales que contiene metales preciosos, utilizando una solución diluida de cianuro de sodio o potasio, en medio fuertemente básico, para impedir la formación de ácido cianhídrico. La cianuración permite la recuperación de las especies valiosas aplicando operaciones y procesos adicionales como la absorción desorción, deposición electrolítica, destilación y fundición.

2.2.4.2 Termodinámica de la cianuración

Para reconocer los mecanismos tanto físicos como químicos del proceso de lixiviación de oro, es imprescindible acudir a una revisión de sus principales características termodinámicas, además de la revisión de sus



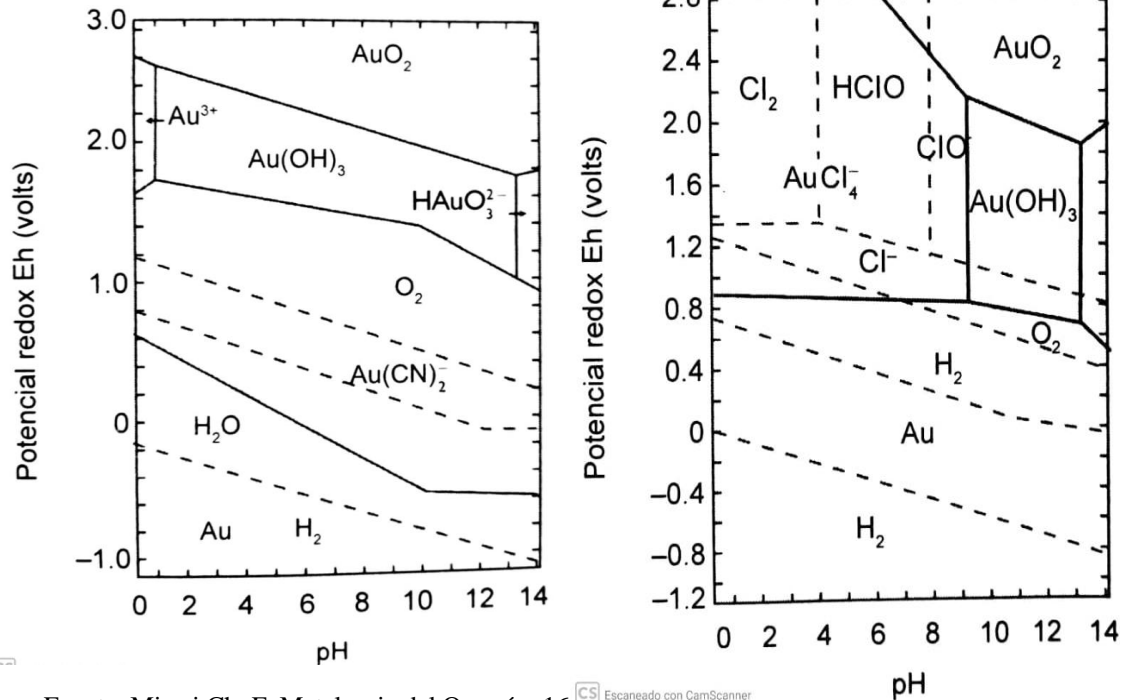
estados estables y metaestables, los cuales se encuentran plasmados en los diagramas de Pourbaix (fig 2) estos son los que relacionan el potencial de óxido-reducción (Eh) del metal con el pH del medio. A su vez dichos diagramas muestran que compuestos como $Au(OH)_3$, AuO_2 , $HAuO_3^{2-}$, y también el ión Au^{3+} , requieren elevadas potenciales redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. Por lo tanto, debido a que el oro metálico es muy estable, la lixiviación resulta ser muy difícil.

En el diagrama $Au - H_2O - CN^-$, no obstante la reacción $Au(CN)_2^- + e^- = Au + 2CN^-$, se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del agua. El campo de estabilidad del complejo oro-cianuro está delimitado por una recta, que al principio muestra una clara pendiente (efecto del hidrolisis del cianuro a pH menor a 9), la misma que posteriormente se hace casi horizontal, ello debido a la acción oxidante que produce el oxígeno en medio básico, acción que se convierte en una reacción de lixiviación eficaz a medida que se forma el cianuro de oro. De la misma manera en el gráfico se puede observar que los compuestos $Au(OH)_3$, Au^{3+} , $HAuO_3^{2-}$ son reducidos por la introducción del cianuro.

A título indicativo, se ha incluido también el diagrama $Au - H_2O - Cl$ que muestra el ambiente fuertemente oxidante y ácido que es necesario para que el oro sea disuelto por iones cloro con formación de $AuCl_4^-$. (Misari, 2010)

Figura 1

Diagrama de estabilidad potencial – pH.



Fuente: Misari Ch, F. Metalurgia del Oro pág. 16 CS Escaneado con CamScanner

En la figura 1, para el sistema Au-H₂O-CN- a 25 °C. [CN]_{TOTAL} = 10⁻³ M, concentración de todos los espacios solubles de oro = 10⁻⁴ M y P_{O₂} = P_{H₂} = 1 atm.

2.2.5 Generalidades sobre la disolución del oro

El metal precioso "oro" no se oxida a temperatura ambiente y no es soluble en ácidos tales como: ácido clorhídrico, ácido nítrico y ácido sulfúrico. Se disuelve en agua regia (una mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico) y la presencia de plata puede dificultar la disolución al formar cloruro de plata que recubre la superficie del metal.

El oro de igual modo llega a disolverse en soluciones que contienen sustancias como bromo o cloro, sin embargo, la velocidad de disolución es más lenta y la reacción se acelera a medida que aumenta la temperatura. Así mismo el yodo disuelve el oro en su estado naciente.

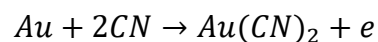


El fundamento del proceso del cianuro es el efecto disolvente preferencial de soluciones diluidas de cianuro de sodio o potasio sobre partículas metálicas de oro. En relación con otros metales que se encuentran comúnmente en minerales de oro. Sin embargo, existen algunos cuantos minerales llamados cianicida que tienen efectos negativos.

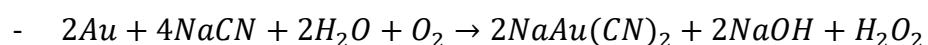
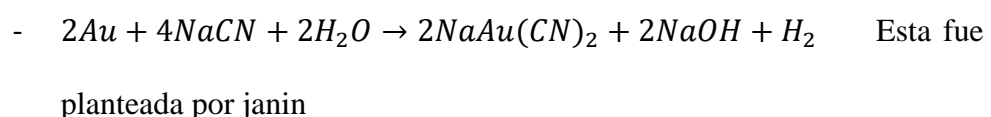
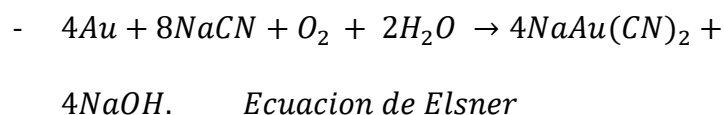
El cianuro es el termino descriptivo genérico que se utiliza a menudo para el cianuro de sodio (NaCN). Por lo que debe nombrarse que el ion cianuro (CN^-) es en realidad un ion que tiene efecto o poder disolvente mientras que las base como el sodio, el potasio o el calcio, son los que otorgan estabilidad química al compuesto (Tecsop Virtual, 2015)

2.2.5.1 Disolución de oro

En su forma más simple, la reacción se lleva a cabo disolviendo oro metálico en una solución de cianuro es:



En la práctica, se ha llegado a observar que el oro no llega a disolverse sin aireación intensa; Por lo tanto, para disolver oro en una solución diluida de cianuro, a continuación, se describe las siguientes reacciones:



Bodlaender



- $2Au + 4NaCN + H_2O_2 \rightarrow 2NaAu(CN)_2 + 2NaOH$ Esta reacción fue planteada por Bodlaender. Sin embargo, nos damos cuenta que es la misma ecuación de Elsner.

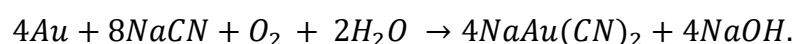
Barsky, Swainson y Hedley llegaron a determinar la energía libre de formación de complejos de cianuro de oro. Basándose en los antecedentes obtenidos, valoraron la modificación de energía libre para las diversas reacciones propuestas e indicaron que reacciones eran en teoría posibles en condiciones normales de un proceso de cianuración del ion aurocianuro, $Au(CN)_2$, hallaron una valoración de 69.064 calorías. Utilizando las constantes de equilibrio de la ecuación dada anteriormente.

Para la ecuación de Elsner $k = 10^{66}$

Para la ecuación de Janin $k = 10^{9.9}$

Para la ecuación de Bodlaender $k = 10^{16}$ y $k = 10^{12.1}$

Sus resultados mostraron que, en el caso de la ecuación del investigador Elsner, la reacción llega a finalizar, en otras palabras, hasta que se consume el cianuro en Cu mayor proporción o es disuelto gran parte del metal. En consecuencia, la ecuación de Elsner es la que en efectivamente llega a expresar la reacción de la disolución del Oro en una solución de cianuro, o sea:



Por otra parte, la constante de equilibrio no resultó particularmente favorable a la propuesta de Janin, ya que la formación de hidrógeno se puede considerar imposible en condiciones de cianuración ordinarias y/o normales.



Las constantes de equilibrio son muy convenientes, para las ecuaciones de Bodlaender; por lo que las reacciones que propuso llegan a ser posibles. En esta relación, Bodlaender descubrió que se formaba peróxido de hidrógeno (Vargas,1990).

2.2.6 Métodos de Cianuración

El método a aplicar generalmente se toma la decisión dependiendo de la ley del mineral de oro, caracterización mineralógica, reservas del mineral, capacidad de procesamiento y la rentabilidad ya que es determinante la economía capital para su costo de operación en la toma de decisión para su inversión. Los métodos principales de Cianuración utilizados actualmente se clasifican en:

- Cianuración en BOTADEROS O DUMP LEACHING
- Cianuración en PILAS O HEAP LEACHING
- Cianuración en BATEAS INUNDADAS O VAT LEACHING
- Cianuración DINÁMICA O CON AGITACIÓN

2.2.6.1 Método de Cianuración en botaderos o Dump Leaching

Se trata del procesamiento de minerales de leyes muy bajas, usualmente debajo de la ley de corte económica para la planta denominados como “estéril mineralizado”. El método implica el acopio del mineral tal como es extraído de la mina, con una mínima manipulación del mineral, estos a su vez son procesados por toneladas de gran volumen con camas que superan los 80 metros de altura, así el sistema de riego utilizado es por goteo a través de soluciones cianuradas de muy baja condensación, la recuperación de oro



en solución es realizada utilizando Merrill Crowe, de esta manera el cemento de oro y plata como resultado son fundidos y luego se comercializados.

2.2.6.2 Método de Cianuración en pilas o Heap Leaching

Es un método similar en botaderos, es el apilamiento o lo que es la formación de pilas de mineral, las pilas son cargados habitualmente entre 3 y 10 metros de altura para ser rociadas en las cuales las soluciones se destruyen por medio de goteros. A diferencia de botaderos, los minerales en este caso cuentan son de mayor calidad, por lo que su procesamiento es más complejo a través de una planta de chancado a un tamaño de $\frac{1}{4}$ de pulgada al 100%, además de que su proceso es un poco más rentable.

2.2.6.3 Método de Cianuración en bateas inundadas o Vat Leaching

Este método de cianuración funciona con minerales oxidados con mayor concentración ricos y puros que los métodos anteriormente mencionados. Este método suele utilizar el principio de contracorriente, pero con el mineral estacionario. La mena, triturada normalmente a $-3/4''$ o $-1/2''$, es cargada en bateas que generalmente cuentan con una forma de paralelepípedo. Protegidos en el interior por revestimientos antiácidos y equipados con un doble fondo y un medio filtrante, que se inundan hasta arriba de mineral y son rellenadas con una solución lixiviante.

Esta técnica de cianuración en bateas es muy eficiente y normalmente proporciona entre 90 y 100% de recuperación del mineral soluble. Un ciclo ideal suele ser muy corto, entre 6 y 12 días. (Ruiz, 2017)



2.2.6.4 Método de Cianuración dinámica o con agitación

En este método es requerido de una molienda fina del mineral, por lo que sólo es adecuado para minerales frescos y de leyes altas, esto a causa de que su mayor valor contenido se justifica en la molienda húmeda, en el lugar de una recuperación en mayores cantidades y tiempos de procesamiento más cortos. Esto aumenta el área expuesta a la lixiviación y la agitación que permite reducir el espesor de la capa imitante de difusión, mientras se maximiza el área de interfaz. (Cáceres, 2007)

Tabla 2

Resumen de diferentes técnicas de lixiviación de minerales

Rango de aplicación y resultados	Métodos de lixiviación			
Ley del mineral	En botaderos Baja ley	En pilas Baja – media	Percolación Media a alta	Agitación Alta ley
Tonelaje	Grande	Gran a mediano	Amplio rango	Amplio rango
Inversión	Mínima	Media	Media a alta	Alta
Granulometría	Corrido de mina	Chancado grueso	Chancado medio	Molienda húmeda
Recuperaciones típicas	40 a 50 %	50 a 70 %	70 a 80 %	80 a 90 %
Tiempo de tratamiento	Varios años	Varias semanas	Varios días	Horas
Calidad de soluciones	Diluidas	Diluidas	Concentradas	Medianas
Problemas principales en su aplicación	Recuperación incompleta, recuperación de Fe y Cu, canalizaciones, evaporaciones, pérdidas de soluciones muy diluidas	Recuperación incompleta, requiere de grandes áreas, canalizaciones, evaporación	Bloqueo por finos, requiere de más inversión. Manejo de materiales, necesidad de mayor control en la planta	Molienda, lavado en contracorriente, tranque de relaves, inversión muy alta, control de la planta es muy sofisticado.

FUENTE: G. Cáceres, Hidrometalurgia y Electrometalurgia. Pag.40



2.2.7 Procesos de recuperación de soluciones ricas con carbón activado – CIP, CIL, CIC.

La recuperación de oro de las soluciones “ricas” utilizando el carbón activado para la adsorción del oro y la plata de sus soluciones de cianuro se conoce y se utiliza en menor escala desde los años 1800, La tecnología de carbón activado con cianuro proporciona un diseño de circuito simple, con un bajo costo de operación y también mayor flexibilidad.

Los siguientes tres procesos pueden considerarse los más avanzados de los procesos de lixiviación de oro:

2.2.7.1 Carbón en pulpa (CIP)

También se le puede llamar carbón en pulpa preñada, y su procedimiento se forma principalmente al añadir carbón suelto a la pulpa, posteriormente haber hecho el proceso de Cianuración con agitación (lixiviación). El carbón generalmente es introducido en sentido opuesto al flujo de pulpa el cual comprende la solución preñada o rica además de contener las partículas lixiviadas. El carbón resultante es extraído de la pulpa por medio de tamizaje de mallas.

2.2.7.2 Carbón en lixiviación (CIL)

El carbón activado es introducido en el tanque de lixiviación junto a la pulpa. De esta manera la lixiviación y la adsorción se realizan en el mismo tanque y aplicando la teoría el oro se absorbe rápidamente posterior de su disolución. La lixiviación del oro es en realidad más lenta que su adsorción por el carbón activado.



2.2.7.3 Carbón en columna (CIC)

En este procedimiento el carbón activado es introducido a una solución preñada clarificada. Habitualmente cuando ambos elementos entran en contacto se origina una columna con tanques horizontales, así el carbón llega a circular en sentido contrario al flujo de la solución y de forma intermitente. (Piret N. Shoukry B. 1990)

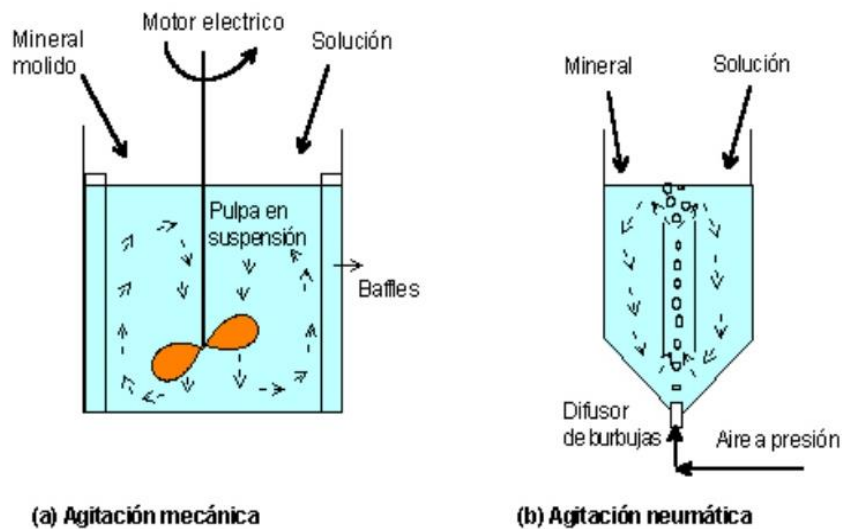
2.2.8 Proceso de Cianuración por agitación

En la cianuración proceso CIP se utiliza para minerales de mayor ley, cuando la etapa de chancado produce un alto contenido de finos, o cuando el mineral deseado es demasiado fino y necesita ser molido y triturado para liberar su valor y exponerlo a la solución lixivante. Además de ser una tecnología para lixiviar calcinas de tostación y concentrados.

Se acude a la agitación a través de burbujeo o bien a la agitación mecánica para conservar la pulpa en suspensión hasta llegar a su total disolución, a su vez, el tiempo que entran en contacto los sólidos con la solución, son solamente horas, comparado con todo el proceso de lixiviación en pilas que lleva meses. Un agitador mecánico es simplemente un impulsor colocado en el interior de un tanque (fig.3 a. Agitación mecánica), en tanto que tanques agitados con aire son a menudo tanques de tipo “Pachuca”. (figura 3 b. Agitación neumática).

Figura 2

Tipos de Agitación



Fuente: G. Cáceres, Hidrometalurgia y Electrometalurgia. Pag.64

Frente a otros métodos de lixiviación sus ventajas comparativas son:

- Alto índice de extracción del elemento a recuperar.
- Corto tiempo de lixiviación.
- Los procesos continuos garantizan un alto grado de automatización.
- Facilidad para tratar minerales finos.

En cuanto a las desventajas presentes son:

- Mayores costos de inversión y operación.
- Se requiere una etapa de molienda y una etapa de separación en cuanto al mineral sólido – líquido (espesamiento y filtración). (Cáceres, 2007)

2.2.9 Variables y/o parámetros de control en el proceso de Cianuración

2.2.9.1 Efecto de la concentración de cianuro

La velocidad de disolución del oro aumenta linealmente al aumentar la concentración del cianuro, una vez alcanzado cierto límite, nuevos



aumentos de cianuro tienen un efecto inhibitor significativo sobre la disolución del oro. (Galarza, 1991)

Los experimentos han demostrado que la concentración de NaCN sobre minerales de oro, incrementa, al aumentar la concentración antes de alcanzar un máximo nivel con una concentración de 400 a 500 gramos de NaCN por tonelada de la solución, con diluciones que son menores a 100 gr por tonelada.

La concentración más conveniente debe ser determinada mediante una experimentación cuidadosa. (Chahuayo y Alejandro, 2012)

2.2.9.2 Velocidad de disolución

Conforme J. S. Maclaurin, la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro alcanza su valor más alto alcanzado a soluciones diluidas en lo cual muestra su trabajo a una concentración de solución de 0.25% de NaCN.

Conforme Christy, para toda finalidad conveniente, soluciones con menor de 0.001% (0.01 g/L) de KCN no disuelven el oro.

White en su investigación manifiesta que la razón máxima de la fuerza de la solución es de 0.027% (0.27 g/L) de KCN o 0.020% (0.20 g/L) de cianuro de sodio, cuando la solución está completa de oxígeno.

Barskey, Swainson y Hadley, descubrieron que la concentración de solución que se disolvía más rápidamente era de 0.05% (0.5 g/L) de NaCN.

La amplia variación en las concentraciones se debe a la variedad de métodos utilizados para determinar estos números. Estos cambios incluyen



factores como la proporción de volumen de solución de superficie de oro, velocidad de agitación intensa, y también en los niveles de velocidad de aireación.

En la labor práctica, la gran parte de las plantas metalúrgicas de cianuración de mineral de oro suelen utilizar soluciones con un promedio de 0.03% a 0.25 % (0.3 g/L a 2.5 g/L) de NaCN.

2.2.9.3 Efecto del tamaño de partícula

Cuando se encuentra oro grueso libre en minerales auríferos, en la práctica usualmente es recuperado a través de trampas, jigs, mantas, ente otros; antes proceder con el proceso de Cianuración. Caso contrario, estas partículas gruesas no llegarán a disolverse en su totalidad durante el proceso de cianuración en tiempo óptimo. La segunda practica más importante para la disminución del tamaño de las partículas de oro, es en la molienda y también a través de organización del mineral de oro en circuito cerrado. Dicha acción hace recircular las partículas de oro pesadas, moliéndolas, hasta hacerlas suficientemente diminutas o delgadas para flotar sobre el clasificador en el proceso del circuito de Cianuración.

Barsky y otros autores determinaron una velocidad máxima de disolución de oro de $3.25 \text{ mg/cm}^2 / \text{h.}$, dichos cálculos demuestran que esto corresponde a una penetración de 1.68 micras en cada lado de una partícula plana de oro o una reducción total del espesor de 3.36 micras por hora. Lo que llevaría no menos de 13 horas para una pieza de oro de 44 micras de espesor (malla 325), el oro grueso (malla 100) se disuelve en no más de 44 horas, y al igual que el oro, la plata metálica de iguales espesores, tardaría el doble en disolverse. (Misari, 2010)



La granulometría deseada usualmente en las plantas de lixiviación en tanques de agitación es de 80% a 90% la malla -200mesh.

Tabla 3

Tamaño de algunos minerales para la lixiviación por agitación

Mineral	Tamaño de lixiviación	
	(mm)	(mallas ASTM)
Cobre oxidado	0.83	20
Oro	0.25	60
Conc. De oro (sulfuros)	0.044	325
Calcinados de zinc	0.074	200

FUENTE: G. Cáceres, Hidrometalurgia y Electrometalurgia. Pag.65

2.2.9.4 Efecto densidad de la pulpa

La pulpa, es la mezcla sólido-líquida formada por una parte sólida (minerales de tamaño casi uniforme) y otra parte líquida (agua).

La pulpa además cuenta con propiedades propias tales como, gravedad específica, peso y volumen, las cuales suelen expresarse como porcentajes de peso o volumen del mineral y agua. La densidad de pulpa, al peso de la unidad denominado kilogramos por litro o gramos por litro (kg/L ó gr/L).

La densidad de la pulpa debe ser apropiada, de tal forma que nos permita al mismo tiempo un mayor contacto del mineral con la solución una facilidad operacional y óptimo. De tal manera resulta que mientras menor es el porcentaje de sólidos, existe una mayor cantidad de solución en contacto con las partículas de minerales, sin embargo, nuestra disolución es mayor, no obstante, el consumo de cianuro aumenta. Con la práctica las densidades de pulpa más apropiadas varían entre los 35 a 40 % de sólidos. Son óptimos para trabajar.

2.2.9.5 Tiempo de cianuración

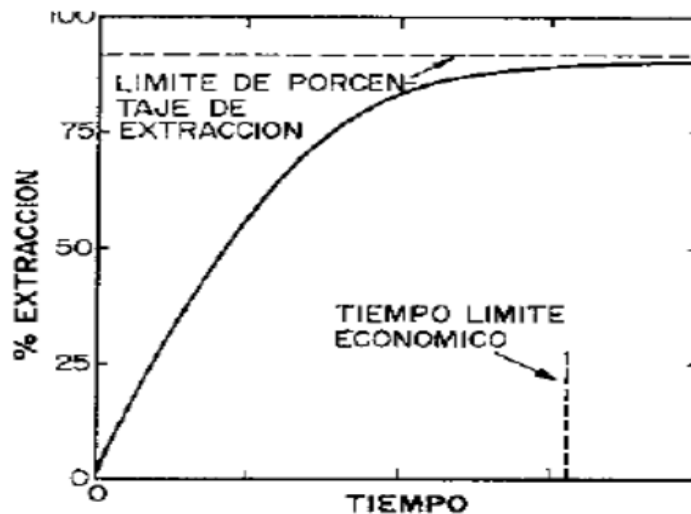
El tiempo de tratamiento máximo en cianuración es variable dependiendo del tipo de cianuración, así la agitación requiere de 24 horas a 48 horas; percolación en piscina de 21 a 30 días y percolación en rumas de 1 a 3 meses, pero todas estas magnitudes son solo referenciales, debido a que las mismas se encuentran sometidas a la regulación de demás variables.

el tiempo de tratamiento apropiado para el mineral será el correspondiente al análisis, de los resultados más satisfactorios, combinando las mayores recuperaciones con el menor tiempo de agitación, tomando también en cuenta el menor consumo de cianuro. (Galarza, 1991)

Además, la economía del proceso de lixiviación depende del grado de sol disolución o del porcentaje de recuperación de los minerales valiosos. Empero, esto carece de importancia a comparación del tiempo que se necesita para una recuperación aceptable, es decir la velocidad de disolución.

Figura 3

Porcentaje de extracción en función del tiempo



Fuente: G. Cáceres, Hidrometalurgia y Electrometalurgia. Pag.65



Nos muestra En la figura 03 la típica curva entre los parámetros de tiempo y % de extracción. En la que en principio existe una extracción rápida, que decrece en posteridad al máximo obtenible para un tamaño dado de partícula.

2.2.9.6 Alcalinidad

Para que el oro se disuelva, la solución debe mantenerse en un cierto nivel de alcalinidad, y en la práctica se considera que el rango de trabajo óptimo para las soluciones de minares de oro es un potencial de hidrógeno, que oscila entre 10.5 a 12. La alcalinidad se puede mantener utilizando varios métodos de alcalisis, siendo el más utilizado la cal, debido a su costo y sencillez de uso.

Las causas de efectuar la reacción en medio básico son varias entre las cuales se puede nombrar los siguientes:

- Impedir la pérdida de cianuro por hidrólisis ($pH > 10$)
- El potencial de hidrógeno de las pulpas nunca debe ser menor de 10.5.
- Impedir la descomposición del cianuro por acción del dióxido de carbono (CO_2) del aire
- Neutralizar los compuestos ácidos en las menas como sales ferrosas, férricas y sulfato de magnesio en el agua antes de adicionar al circuito de lixiviación.
- Deshacer los bicarbonatos presentes en las aguas de las plantas de tratamiento antes de usarse en la lixiviación. (Galarza, 1991)

2.2.9.7 Efecto de la temperatura

La disolución del oro aumenta en proporción al aumento de la temperatura, en tal sentido disminuye el oxígeno disuelto en el agua y con



ello la solubilidad del metal precios, sin embargo, las pruebas han demostrado, que la disolubilidad máxima es alcanzada a los 85° C y debido a los costos asociados, generalmente se trabaja a temperatura ambiente, y la solución se calienta solo cuando se intenta extraer oro del carbón activado o cuando le llegan a lixiviar concentrados de muy alta ley. (Chahuayo y Alejandro, 2012).

2.2.9.8 Efecto del oxígeno sobre la disolución del oro

En condiciones normales de Cianuración es importante utilizar oxígeno o agentes oxidantes para disolver el oro. Estos agentes oxidantes, tales como el peróxido de sodio, el permanganato de potasio, bromo o cloro, se han utilizado con éxito razonable en el pasado, pero se abandonaron debido al costo de estos reactivos y la complejidad de su manipulación. Además, una mejor comprensión de la reacción de Cianuración y de los efectos de los componentes no deseados en los minerales indican que una aireación adecuada en las condiciones adecuadas a menudo produce tan buenos resultados como los oxidantes químicos,

No obstante, autores como Barsky, Swainson y Hedley, en el uso del nitrógeno, oxígeno y mezclas de estos dos, llegaron a determinar la velocidad de disolución de oro en 0.10% de NaCN, confiriendo este proceso a la polarización. Los resultados aparecieron en la primera media hora y a partir de estos, se puede ver que la velocidad de disolución del oro se encuentra directamente proporcional al contenido de oxígeno. Partiendo de esto, los autores concluyeron que la velocidad de disolución del oro en una solución de cianuro es proporcional a la presión parcial del oxígeno.



Tabla 4

Efecto del oxígeno sobre la velocidad de disolución de oro

Oxígeno	Velocidad de disolución mg/cm²/h
0	0.04
9.0	1.03
20.9	2.36
60.1	7.62
99.5	12.62

FUENTE: Misari Ch, F. Metalurgia del Oro pág. 28

2.2.9.9 Efecto de la velocidad de agitación

Para mantener los sólidos en suspensión, y evitar que estos se sedimenten o decante, la velocidad de agitación debe ser lo suficientemente alta debido a que estas velocidades generalmente favorecen la cinética de la reacción, so obstante tiene un costo energético apreciable, lo cual resulta favorable para la disolución de gases en la solución.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL AREA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación:

La ubicación específica del proyecto se determina en la mina Antorccoña – Velille.

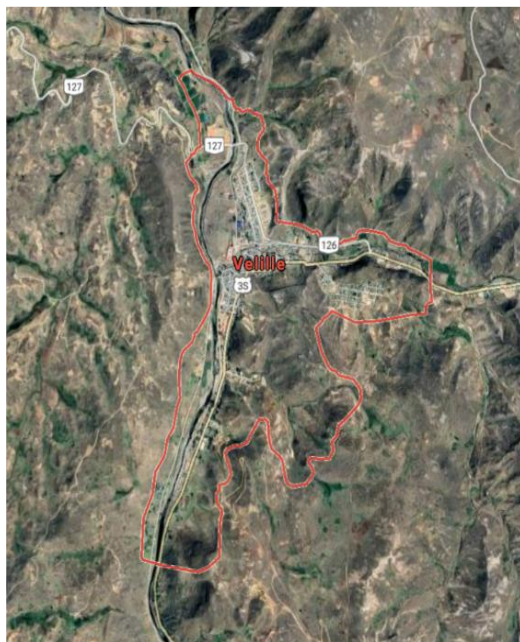
Ubicación geográfica: está ubicado a 3738 msnm. Con Coordenadas entre los paralelos de 14°30'32"S (de la latitud sur) y los meridianos 71°53'07"O (de la longitud oeste).

3.1.2 Ubicación política:

Departamento : Cuzco
Provincia : Chumbivilcas
Distrito : Velille
Lugar : Antorccoña

Figura 4

Ubicación Geográfica del Distrito de Velille.



Fuente: Google Maps. - <https://www.google.com/maps/place/Velille>



3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de este estudio es cuantitativa – experimental a nivel laboratorio, mediante varios análisis la influencia de las variables y/o parámetros de la operación, las cuales son concentración del Cianuro y tiempo, de modo que optimizaran el nivel de recuperación de oro en mayor porcentaje mediante lixiviación por agitación a partir de los minerales oxidados de oro.

3.2.1 La investigación experimental puro

Un experimento es un estudio científico en el que un investigador manipula o controla una o más variables independientes y observa la variable dependiente y busca cambios que acompañan a la manipulación de las variables independientes. (Kerlinger, 1988).

3.2.2 Diseño experimental en la investigación

En esta investigación se tomó en cuenta al autor más resaltante en el campo de los métodos de investigación cuantitativos – cualitativos y la redacción de artículos, los autores señalan los siguientes puntos; “La investigación experimental es el nivel de la investigación científica y es el más alto y el más complejo porque utiliza experimentos. Como el método o técnica de investigación más elegido para recopilar diversos datos y probar hipótesis, se refina y selecciona porque utiliza métodos sofisticados basados en las matemáticas, estadísticas y lógica que se utilizan para probar diferencias estadísticas entre variables y resultados de medición. (Ñaupá, Mejía, Novoa, & Villagómez, 2013).

3.2.2.1 Investigación experimental

Se eligió el diseño experimental 2^3 , el modelo matricial aplicado a los diferentes niveles, se muestra a continuación:



Tabla 5

Plantilla de pruebas

FACTOR			TRATAMIENTOS	RESULTADOS
A	B	C		
-	-	-	(1)	Y ₁
+	-	-	A	Y ₂
-	+	-	B	Y ₃
+	+	-	AB	Y ₄
-	-	+	C	Y ₅
+	-	+	AC	Y ₆
-	+	+	BC	Y ₇
+	+	+	ABC	Y ₈

Donde:

A : Cianuro de sodio

B : Potencial hidrógeno

C : Tiempo de Cianuración

En esta investigación experimental, este método analítico del análisis factorial tiende a posibilitar y descubrir para determinar la influencia de variables especial único, así como la interacción de estas variables durante el experimento, de esta manera se pretende investigar una a una las variables, realizando numerosas pruebas metalúrgicas controlando los parámetros en laboratorio.

El efecto principal para una determinada variable es la diferencia entre la puntuación media obtenida del nivel más alto del valor de esa variable y la puntuación media obtenida del nivel más bajo de la misma variable, considere que las variables objeto de estudio son tres en total sea A, B, C. lo que le dará la cantidad de experimentos a realizar $2^3 = 8$. Las variables a trabajar tendrán



un nivel alto M y otro nivel bajo m. la tabla resume los ensayos de los experimentos de la siguiente manera:

Tabla 6

Plantilla de Variables

DE EXPERIMENTOS	TRATAMIENTOS	FACTOR			RESULTADO
		A	B	C	
1	1	m	m	m	Y ₁
2	A	M	m	m	Y ₂
3	B	m	M	m	Y ₃
4	Ab	M	M	m	Y ₄
5	C	m	m	M	Y ₅
6	Ac	M	m	M	Y ₆
7	Bc	m	M	M	Y ₇
8	Abc	M	M	M	Y ₈

3.3 METODOLOGÍA

para cumplir con el objetivo del presente estudio se realiza el método experimental con valores de las variables.

3.3.1 Operacionalización de las variables

a) Variable independiente:

- Concentración de cianuro (ppm)

Se dan los valores de acuerdo a los antecedentes y experiencia del tesista.

- Potencial hidrógeno (pH)

Se dan los valores a un rango de acuerdo a los antecedentes y experiencia del tesista.

- Tiempo (t)



Se determinará el periodo óptimo de lixiviación con la experimentación con diferentes tiempos.

b) Variable dependiente:

Recuperación de oro (%).

3.3.2 Población y muestra de la investigación

3.3.2.1 Población

Minerales oxidados de la mina Antorccoña - Velille.

3.3.2.2 Muestra

Mineral de oro con granulometría -200 MESH aproximadamente al 90.85% - 91.95 %. (Pasante de la malla -200)

3.3.3 Instrumentos para la investigación

Para el desarrollo de la investigación, se requerirán los siguientes:

a) Equipos y materiales:

- Agitador mecánico eléctrico.
- Papel pampea (pHmetro).
- Balanza electrónica de presión.
- Muestra mineral pulverizado.
- Agua destilada.
- Balde y/o botella de plástico.
- Vaso precipitado.
- Piseta.
- Probeta.



- Bureta automática.
- Espátula.
- Malla MESH
- Embudo.
- Gotero.
- Papel filtro.
- Cronometro.
- Cuaderno de apuntes.
- Lapiceros y/o lápiz.
- Computadora y/o laptop.
- Memoria USB.
- Impresora.

b) Reactivos químicos:

- Cianuro de sodio.
- Sada caustica.
- Nitrato de plata.
- Yoduro de potasio.

3.3.4 Pruebas Experimentales de los objetivos específicos

3.3.4.1 Concentración de cianuro:

Para alcanzar y realizar primer objetivo se aplica, según el diseño experimental 2³, teniendo la variable de concentración de cianuro, para cada experimento a trabajar según diseño es lo siguiente:



Tabla 7

Concentración de cianuro para cada experimento

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
NaCN (%)	0.04	0.25	0.04	0.25	0.04	0.25	0.04	0.25

3.3.4.2 Potencial de Hidrogeno:

Para lograr y realizar segundo objetivo se aplica, según el diseño experimental 2³, teniendo la variable potencial de hidrógeno a trabajar según diseño, para cada experimento es lo siguiente:

Tabla 8

Potencial de hidrógeno para cada experimento

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Potencial de hidrogeno (Ph)	10	10	11.5	11.5	10	10	11.5	11.5

3.3.4.3 Tiempo

Para conseguir tercer objetivo se aplica, según el diseño experimental 2³, teniendo la variable tiempo, para cada experimento a trabajar según diseño es lo siguiente:



Tabla 9

Tiempo para cada experimento

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Tiempo (h)	24	24	24	24	72	72	72	72

3.3.5 Pruebas metalúrgicas por agitación

Para hacer las pruebas necesarias de este presente estudio se requiere la utilización de los materiales y reactivos mencionados anteriormente, se requiere hacer cierta cantidad de pruebas metalúrgicas variando las variables de concentración del cianuro y tiempo. Según parámetros del proceso de cianuración por agitación, cuyas variables son:

Tabla 10

Plantilla de valores de pruebas

	Mínimo	Máximo
Cianuro (%)	0.04	0.25
Ph	10	11.5
Tiempo (hrs.)	24	72

3.3.5.1 Preparación de reactivos.

Nitrato de plata: la solución estándar de nitrato de plata se prepara con agua destilada a una concentración de 0.025 Normal es decir 4.3333 g AgNO_3/L . (Jaico, 2008).



Yoduro de potasio al 5%: (es un indicador que nos ayudara determinar los gastos de cianuro). Para lo cual necesitamos 5 g de KI, lo cual se diluirá en 100ml de agua destilada. (Jaico, 2008).

3.3.5.2 Determinación de la concentración de cianuro de sodio.

La concentración de cianuro de determina por titulación con AgNO_3 en presencia de KI como indicador. El indicador es sensible a la plata y produce un cambio de color cuando detecta un pequeño exceso de plata en la muestra. Lo cual hallaremos por la siguiente ecuación la concentración de cianuro de sodio. (Jaico, 2008).

$$\%NaCN = (\text{Vol. gastado de } AgNO_3) * (\text{Factor de } AgNO_3)$$

3.3.5.3 Determinación de cianuro a reponer durante la prueba

Hallaremos por la siguiente ecuación los gramos necesarios que tenemos que reponer o agregar. (Jaico, 2008).

$$g NaCN = (\%NaCN_{(INICIAL)} - \%NaCN_{(FINAL)}) * (\text{Vol. de } H_2O) \\ * (\text{Vol. muestra})$$

3.3.5.4 Resultados de pruebas metalúrgicas

Los resultados de las pruebas metalúrgicas según el % de recuperación está dado por el % de oro lixiviado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{Ley liquido} * V_{H_2O} * 100}{\text{Ley sólido} * W_m + \text{ley liquido} * V_{H_2O}}$$

El resultado de la relación está dado de esa forma anteriormente mostrado en la ecuación.



Donde:

% Recuperación : Porcentaje de recuperación de oro.

Ley líquido : Contenido de Au en la solución lixiviante.

Ley sólido : Contenido de Au en sólido.

V_{H_2O} : volumen de agua para prueba metalúrgicas.

W_m : Peso de muestra de mineral para prueba metalúrgica.

La ley cabeza de mineral oxidado de la mina Antorccoña – Velille es analizado en un laboratorio químico y los resultados de cada prueba de: ley líquida, ley sólida, de las diversas pruebas metalúrgicas realizadas fueron analizados de igual manera por un laboratorio químico.

3.3.5.5 Procedimiento

La ejecución del estudio, inicia su procedimiento con la instalación y verificación de los equipos a usarse, siempre teniendo la consideración de las condiciones de seguridad.

a) Mineral:

La toma de muestra del mineral se obtiene de la mina Antorccoña – Velille.

Figura 5

Mineral de Velille



b) Chancado:

Consiste en romper la roca en pequeñas partículas, cuyo tamaño final depende del posterior procesamiento del mineral hasta un tamaño inferior a $\frac{3}{4}$ de pulgada, y así se procede al tamizado, que consiste en clasificar los materiales rotos a través de una malla, si este no es del tamaño adecuado se debe volver a triturarlo.

Figura 6

Chancado y cuarteado



c) Secado de mineral

En esta etapa se elimina la humedad para luego pesar para nuestra muestra para su posterior proceso de la prueba metalúrgica.

Figura 7

Secado de mineral muestreado



d) Pulverizador:

Esta etapa consiste en fragmentar aún más el mineral hasta lograr el tamaño de liberación ya que requerimos para la prueba un tamaño necesario de 90.85 % a 91.95 % de malla -200, Una vez alcanzada el % de malla adecuado se pasará a hacer el muestreo para luego llevar al banco de agitadores para su termino de agitación

Figura 8

Pulverizadora

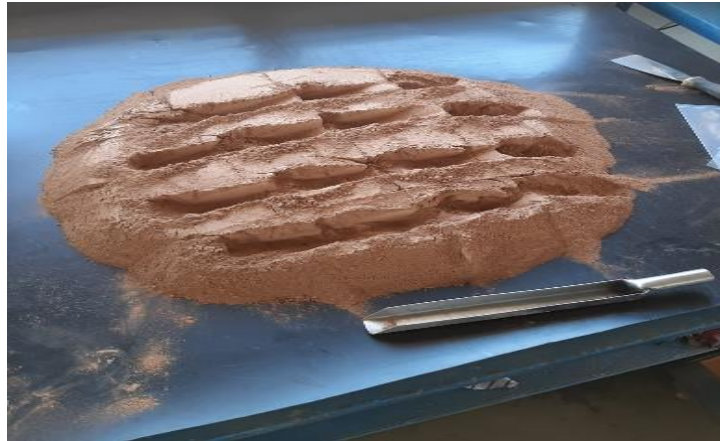


e) Muestreo de mineral pulverizado:

Después de secado y pulverizado, antes de la toma de muestra se realiza un análisis de malla -200 a 90.85 % a 91.95 % , luego se procede la toma de muestra de minerales de oro ya que es una operación muy importante que debe ser ejecutado con mucho cuidado en consideración a que la otra tienda a segregarse, debido a su alto peso específico, distorsionando la representatividad de muestra para lo cual aplicaremos el método del cuarteo y cuadrícula se inicia por cuarteo por la cantidad de mineral para lo cual se forma un cono y posteriormente se cuarteo para bajar la cantidad de muestra posterior a ello se forma cono de nuevo y se aplanan para toma de muestra en cuadrícula, lo cual una parte es enviada a laboratorio químico y una parte para pruebas metalúrgicas.

Figura 9

Toma de Muestra



f) **Agitación:**

Después de toma de muestra pasa a los tanques de agitación los cuales están conformados por Baldes de 8 litros y un banco de agitadores para poder agitar y cumplir con las horas de agitación para una mejor recuperación.

Figura 10

Banco de 4 agitadores con capacidad de 90 rpm por cada balde en prueba, presenta un motor de 1.5 hp.



- **Condiciones de trabajo:**

en la agitación se tendrá una relación de sólido y líquido de: 2.8.



en la agitación se tomará muestras de % de cianuro libre y pH, la agitación durará entre 24 a 72 horas dependiendo de las pruebas propuestas.

- **Procedimiento Operativo:**

1. Se requiere saber las leyes del mineral a realizar la prueba y polvear a 90% malla-200
2. Pesar reactivos NaCN y NaOH, según la fuerza de cianuro necesario para cada muestra.
3. Pesar 1000gr de muestra, disolver a 2.8 L de agua y reactivos, poner en agitación
4. Sacar el % CN inicial y pH hasta llegar a neutralizar a un pH 11.5.
5. Agregar NaOH en gr. Hasta llegar a neutralizarlo
6. Una vez neutralizado el pH, dar lectura a la fuerza de cianuración inicial y agregar CN inicial agregar consecutivamente cada tiempo determinado hasta llegar notar que la lectura del cianuro libre o consumo de cianuro no varié, Obteniendo así el consumo.
7. Después de las horas agitadas según parámetros al finalizar Embotellar la muestra y mandar a análisis a laboratorio químico metalúrgico para así determinar el % de recuperación según ley sólido y líquido.

g) Corridas De Pruebas Metalúrgicas

Se realizaron 8 pruebas de cianuración, a fin de determinar el efecto de cianuro, pH y tiempo de cianuración y definir el grado de dilución más óptimo para tener mejores resultados en el porcentaje de recuperación.



Tabla 11

Condiciones para pruebas metalúrgicas.

condiciones de la prueba		
Descripción	Unidad	Prueba
Peso de la muestra:	g	1000
Granulometría:	-200%	90.85 - 91.95
volumen del agua	ml	2800
Dilución	volumen/peso	2.8
Densidad (δ)	g/L	1290
pH:		10 - 11.5
NaCN:	%	0.04 – 0.25
Tiempo de agitación:	hrs.	24-72
concentración AgNO ₃	g/L	4.333
Volumen titulado	ml	10



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS OBJETIVOS SEGÚN

EXPERIMENTO

4.1.1 Concentración de cianuro:

Tabla 12

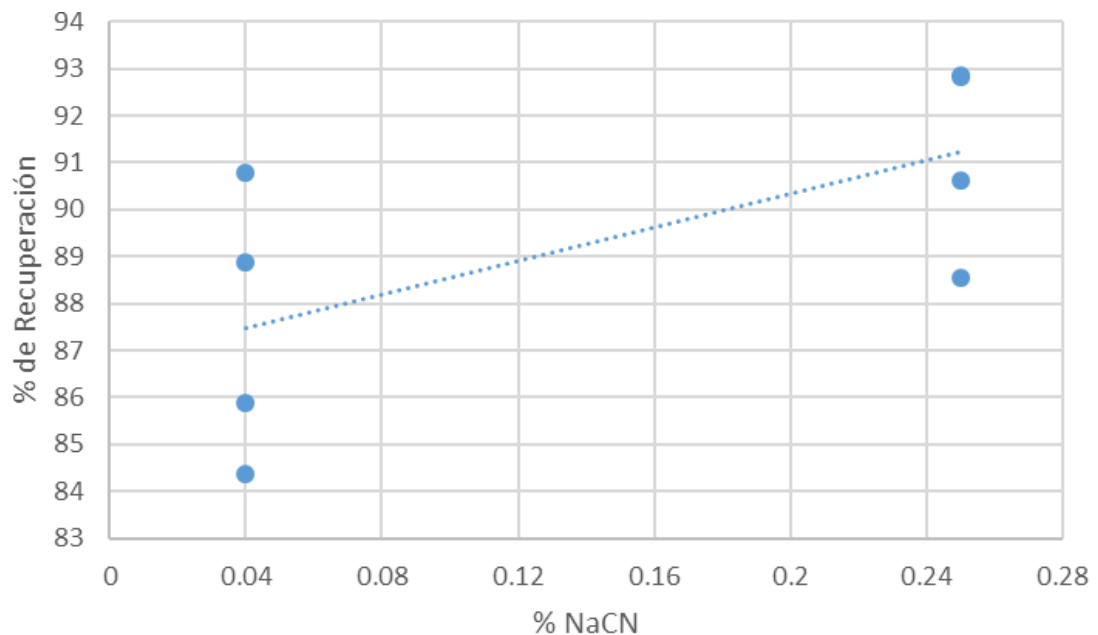
Resultado de recuperación según NaCN (%)

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
NaCN (%)	0.04	0.25	0.04	0.25	0.04	0.25	0.04	0.25
(%) Recuperación	85.877	88.541	84.371	90.628	90.774	92.856	88.866	92.830

En la tabla 12 se observa la recuperación según NaCN (%), la mejor recuperación es 92.856 % a una concentración de 0.25% NaCN, Donde la concentración se encuentra en su máximo nivel.

Figura 11

% de recuperación, Según % de concentración de Cianuro





A través del desarrollo de distintas pruebas metalúrgicas ejecutadas en el proyecto se determinó la efectividad de la concentración de cianuro, tal como se observa en la figura N°11. El resultado, a medida que aumenta la concentración, el % de recuperación es mayor.

(Medo, 2016) evalúa la interacción de las variables, un promedio de recuperación de oro vs concentración cianuro, parámetros considerados por el autor en un mínimo de 400ppm y un máximo de 800ppm. Dando como resultado su recuperación más elevada 92.37%.

De acuerdo a los resultados la concentración en su nivel mínimo (0.04%), la recuperación es 84.371%. Mientras que en su nivel alto (0.25%), la recuperación obtenida según pruebas metalúrgicas es de 92.856% de Au. lo cual supera en el porcentaje de recuperación de oro, al autor (Mendo, 2016), en un 0.486%, dado que la concentración del autor es menor (0.08% de cianuro de sodio), mientras la investigación realizada es mayor (0.25% de cianuro de sodio). Es de esta manera la recuperación dependerá de la concentración de cianuro de sodio ya que mayor concentración de cianuro de sodio mejor porcentaje de recuperación.

4.1.2 Potencial de Hidrogeno:

Tabla 13

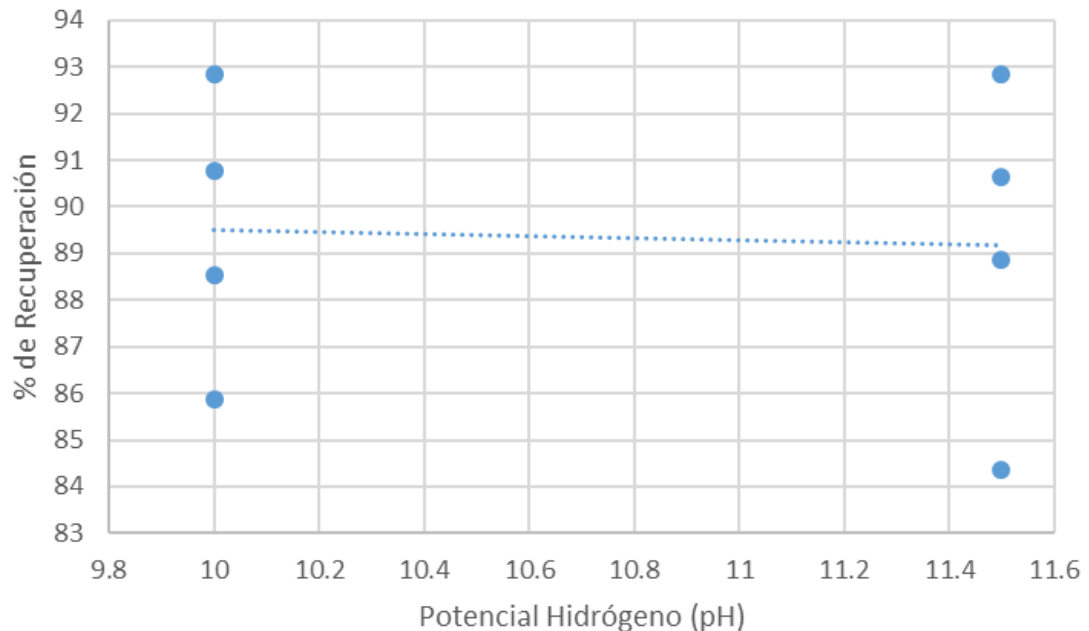
Resultado de recuperación según pH

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Ph	10	10	11.5	11.5	10	10	11.5	11.5
% Recuperación	85.877	88.541	84.371	90.628	90.774	92.856	88.866	92.830

En la tabla 13 se observa la recuperación según pH. La mejor recuperación es 92.856 % a un pH: 10. Donde el pH, se encuentra en su nivel mínimo.

Figura 12

% de recuperación, Según pH.



También se observa en la figura 12. El resultado, a medida que aumenta pH, la recuperación tiende a bajar en un mínimo porcentaje lo cual indica que se debe trabajar para mejor % de recuperación a un intermedio ya que influyen el % NaCN y tiempo. Otro estudio demostró realizando pruebas metalúrgicas que el pH 10.5 es donde obtiene mejor recuperación teniendo parámetros de pH 10.5 a 11.5 llegando recuperar 92.301% con el menor pH, mientras a un pH 11.5 la recuperación es 74.903%. (Quispe, 2024). De esta manera la investigación realizada supera en porcentaje de recuperación en un 0.55% mayor que el autor (Quispe, 2024).

4.1.3 Tiempo:

Tabla 14

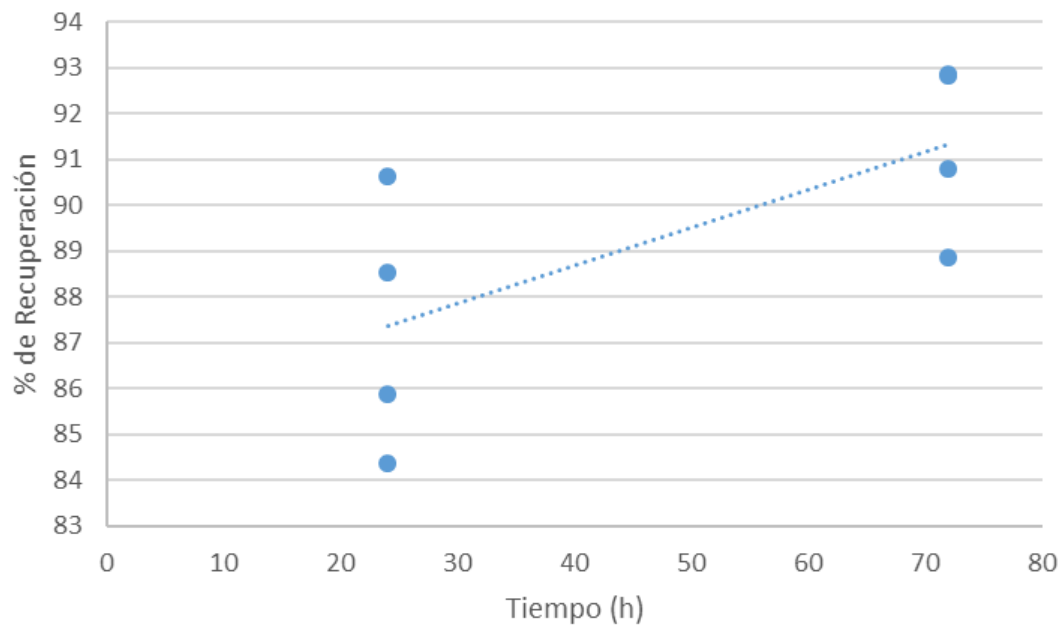
Resultado de recuperación según tiempo

de experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Tiempo	24	24	24	24	72	72	72	72
% Recuperación	85.877	88.541	84.371	90.628	90.774	92.856	88.866	92.830

En la tabla 14 se observa la recuperación según tiempo, la mejor recuperación es 92.856 % a un tiempo de 72 horas. Donde el tiempo se encuentra en su máximo nivel.

Figura 13

% de recuperación, Según Tiempo.



También se observa en la figura N°13. El resultado, a medida que se prolonga el tiempo, el % de recuperación es mayor.

Otra fuente según sus pruebas experimentales a medida que aumenta su tiempo mejora la recuperación, el efecto del tiempo a medida que aumenta horas de cianuración mejora la recuperación dando como resultado en 72 horas una recuperación de 88,4323% de Au, con una concentración de cianuro libre de



0.11066%. Mientras en su nivel mínimo que es de 48 horas su recuperación es de 57.3267% de Au. (flores, 2019).

Además, otra investigación reciente donde realiza su análisis a partir de 6 horas llegando a un análisis químico en un tiempo intermedio de 24 horas donde su recuperación es de 82.222% de Au, a medida que se aumenta tiempo de agitación incrementa la recuperación así llegando a 36 horas con una recuperación de 92.301% de Au. (Quispe, 2024).

De acuerdo a los resultados, tiempo en nivel mínimo la recuperación es de 88.866% de Au. Mientras que en su nivel máximo la recuperación es de 92.856% de Au. De esta manera el tiempo de agitación en cianuración tiene un efecto muy notable ya que podemos deducir que a mayor tiempo mejor porcentaje de recuperación. También podemos decir que al autor flores con el mismo tiempo de 72 horas de agitación según experimentos, la investigación supera en un 4.4237%, esto se debe también al porcentaje de concentración del cianuro de sodio.

4.2 RESULTADO PRUEBAS METALURGICAS

Tabla 15

Resultado de Análisis Químico Metalúrgico

EXPER IMENT	NaCN (%)	pH	TIEMPO (hrs.)	ANALISIS QUIMICO METALURGICO					% RECUPERACIÓN	% EXTRACCIÓN
				LEY CABEZA (Oz/Tc)	Calculo Ley Cabeza	LEY SOLIDO (Oz/Tc)	LEY LIQUIDO (g/m3.)			
1	0.04	10	24	0.7086	0.100	0.099	7.371	85.877	86.029	
2	0.25	10	24	0.7086	0.0937	0.093	8.799	88.541	86.876	
3	0.04	11.5	24	0.7086	0.1217	0.121	7.998	84.371	82.924	
4	0.25	11.5	24	0.7086	0.0838	0.083	9.828	90.628	88.287	
5	0.04	10	72	0.7086	0.0818	0.081	9.758	90.774	88.569	
6	0.25	10	72	0.7086	0.0628	0.062	9.868	92.856	91.250	
7	0.04	11.5	72	0.7086	0.0927	0.092	8.991	88.866	87.017	
8	0.25	11.5	72	0.7086	0.0638	0.063	9.987	92.830	91.109	

El cálculo de porcentaje de recuperación de oro se realizó con la ayuda de Microsoft

Excel.



4.3 CONTROL Y DETERMINACION DE CONSUMO DE NaCN Y NaOH

Tabla 16

Control de la Prueba para 0.04% NaCN, pH:10

Horas de Lixiviación	GASTO AgNO ₃ (ml)	NaCN (%)	pH	REACTIVO ADICIONADO				CN- (ppm)
				NaCN, ppm (400)	peso NaCN (g)	completar NaCN (g)	Hidroxido de Sodio (NaOH)	
0	0.0	0.04	10	400.0	1.120	0.0	8.0	212
1	0.1	0.002	10	24.1	0.07	1.1	0.1	13
2	0.1	0.003	10.5	25.00	0.07	1.0	0.1	13
3	0.4	0.010	11	96.54	0.27	0.8	0.1	51
6	0.4	0.010	10.5	100.01	0.28	0.8	0.1	53
9	0.5	0.012	10	120.67	0.34	0.8	0.0	64
12	0.7	0.018	10	175.01	0.49	0.6	0.0	93
18	0.9	0.022	10.5	217.21	0.61	0.51	0.0	115
20	0.9	0.023	10	225.01	0.63	0.5	0.0	119
24	0.9	0.023	10	225.01	0.63	0.5	0.0	119
36	1.0	0.024	10	241.35	0.68	0.44	0.0	128
42	1.2	0.030	10	300.02	0.84	0.3	0.0	159
48	1.5	0.038	10	375.02	1.05	0.1	0.0	199
72	1.6	0.040	10	400.02	1.12	0.00	0.0	212

Tabla 17

Consumo de Reactivos para 0.04%NaCN.

NaCN (%):	Tiempo de agitación (hrs.):	Consumo de reactivos	
		NaCN (Kg/TM)	NaOH (Kg/TM)
0.04	24	7.816	8.400
0.04	72	8.610	8.400

Figura 14

Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (Concentración de cianuro al 0.04%)

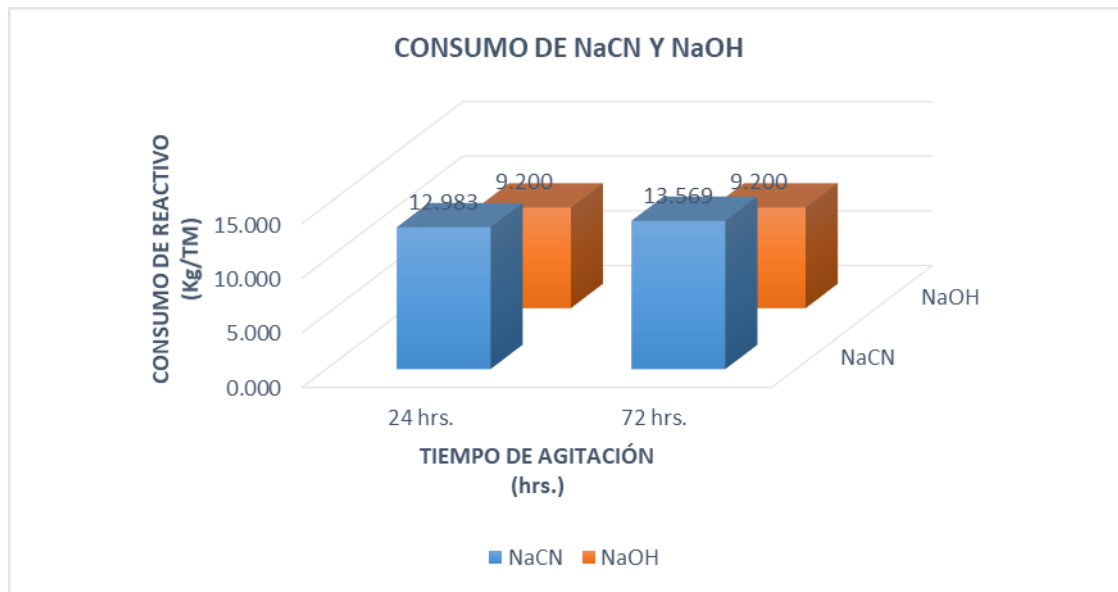


Tabla 18

Control de la prueba para 0.25%NaCN, pH:10

Horas de Lixiviación	GASTO AgNO ₃ (ml)	NaCN (%)	Ph	REACTIVO ADICIONADO				CN- (ppm)
				NaCN, ppm (2500)	Peso NaCN (g)	Completar NaCN (g)	Hidróxido de Sodio (NaOH)	
0	0	0.25	10	2500.0	7.000	0.0	8.0	1327
1	8.4	0.203	10	2027.3	5.68	1.3	0.1	1076
2	8.5	0.213	10	2125.12	5.95	1.0	0.2	1128
3	8.6	0.208	10.50	2075.59	5.81	1.2	0.1	1101
6	9.2	0.230	10	2300.13	6.44	0.6	0.1	1220
9	9.5	0.229	10	2292.81	6.42	0.6	0.1	1217
12	9.6	0.240	10	2400.14	6.72	0.3	0.1	1274
18	9.7	0.234	10.50	2341.08	6.56	0.44	0.0	1242
20	9.8	0.245	10.50	2450.14	6.86	0.1	0.0	1300
24	9.9	0.248	10.50	2475.14	6.93	0.1	0.0	1313
36	9.9	0.239	10	2389.35	6.69	0.31	0.1	1268
42	9.9	0.248	10	2475.14	6.93	0.1	0.0	1313
48	10	0.250	10	2500.14	7.00	0.0	0.0	1327
72	10	0.250	10	2500.14	7.00	0.00	0.0	1327

Tabla 19

Consumo de reactivos para 0.25% NaCN

NaCN (%):	Tiempo de agitación (hrs.):	Consumo de reactivos	
		NaCN (Kg/TM)	NaOH (Kg/TM)
0.25	24	12.635	8.700
0.25	72	13.014	8.800

Figura 15: Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.25%)

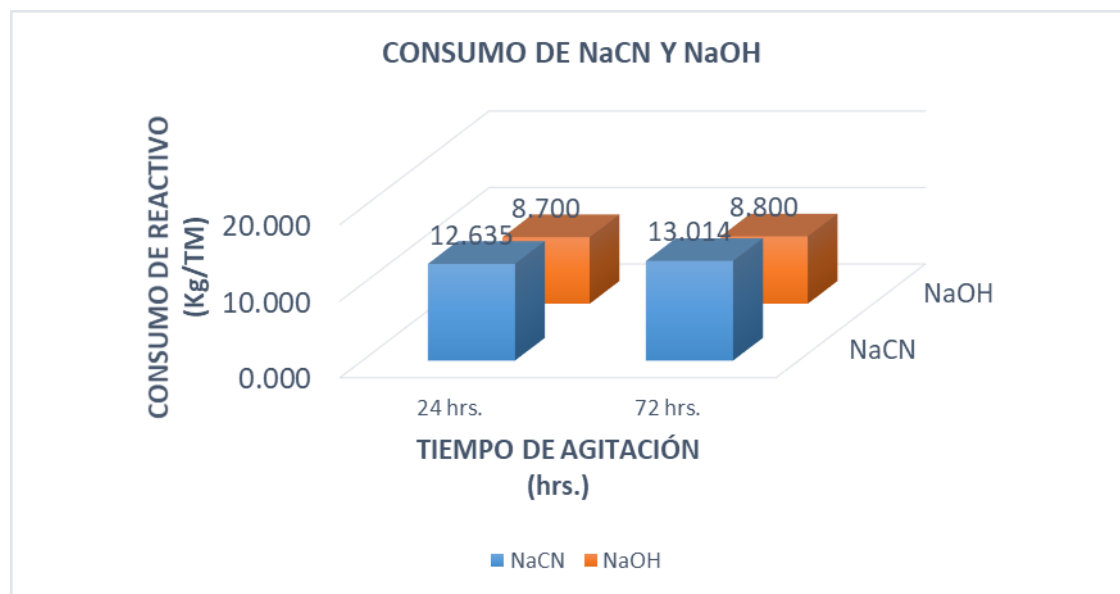


Tabla 20

Control de la prueba para 0.04% NaCN, pH:11.5.

Horas de Lixiviación	GASTO AgNO ₃ (ml)	NaCN (%)	pH	REACTIVO ADICIONADO				CN- (ppm)
				NaCN, ppm (400)	Peso NaCN (g)	Completar NaCN (g)	Hidróxido de Sodio (NaOH)	
0	0.0	0.04	11.00	400.0	1.120	0.0	8.0	212
1	0.1	0.002	11.00	24.1	0.07	1.1	0.2	13
2	0.2	0.005	11.00	50.00	0.14	1.0	0.3	27
3	0.4	0.010	11.50	96.54	0.27	0.8	0.1	51
6	0.4	0.010	11.00	100.01	0.28	0.8	0.1	53
9	0.5	0.012	11.00	120.67	0.34	0.8	0.2	64
12	0.7	0.018	11.50	175.01	0.49	0.6	0.1	93
18	0.9	0.022	11.50	217.21	0.61	0.51	0.0	115
20	0.9	0.023	11.50	225.01	0.63	0.5	0.0	119
24	0.9	0.023	11.50	225.01	0.63	0.5	0.1	119
36	1.0	0.024	11.50	241.35	0.68	0.44	0.0	128
42	1.1	0.028	11.50	275.02	0.77	0.3	0.0	146
48	1.4	0.035	11.50	350.02	0.98	0.1	0.0	186
72	1.6	0.040	11.50	400.02	1.12	0.00	0.0	212

Tabla 21

Consumo de reactivos para 0.04% NaCN

NaCN (%):	Tiempo de agitación (hrs.):	Consumo de reactivos	
		NaCN (Kg/TM)	NaOH (Kg/TM)
0.04	24	7.746	8.900
0.04	72	8.680	9.000

Figura 16

Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.04%)

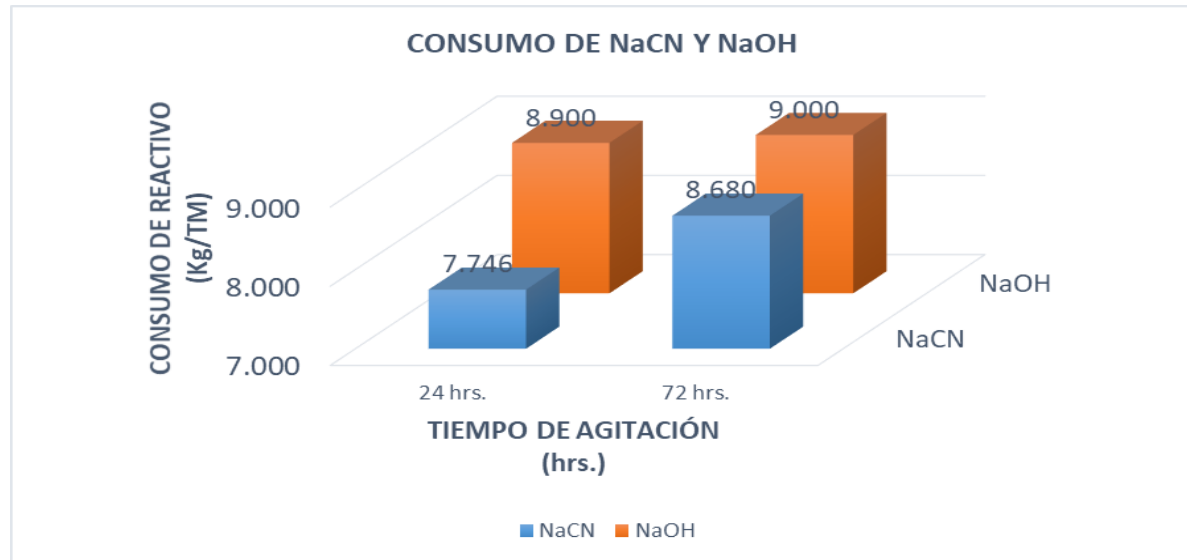


Tabla 22

Control de la prueba para 0.25% NaCN, pH11.5.

Horas de Lixiviación	GASTO AgNO ₃ (ml)	NaCN (%)	pH	CIANURO ADICIONADO				CN- (ppm)
				NaCN, ppm (2500)	Peso NaCN (g)	Completar NaCN (g)	Hidroxido de Sodio (NaOH)	
0	0	0.25	11.00	2500.0	7.000	0.0	8.0	1327
1	8.4	0.203	11.00	2027.3	5.68	1.3	0.1	1076
2	8.5	0.213	11.00	2125.12	5.95	1.0	0.3	1128
3	8.6	0.208	11.00	2075.59	5.81	1.2	0.2	1101
6	9.3	0.233	11.50	2325.13	6.51	0.5	0.1	1234
9	9.5	0.229	11.50	2292.81	6.42	0.6	0.1	1217
12	9.6	0.240	11.00	2400.14	6.72	0.3	0.1	1274
18	9.7	0.234	11.00	2341.08	6.56	0.44	0.1	1242
20	9.8	0.245	11.50	2450.14	6.86	0.1	0.0	1300
24	9.8	0.245	11.50	2450.14	6.86	0.1	0.0	1300
36	9.8	0.237	11.50	2365.21	6.62	0.38	0.0	1255
42	9.8	0.245	11.50	2450.14	6.86	0.1	0.0	1300
48	9.9	0.248	11.50	2475.14	6.93	0.1	0.0	1313
72	10	0.250	11.50	2500.14	7.00	0.00	0.0	1327

Tabla 23

Consumo de reactivos para 0.25% NaCN

NaCN (%):	Tiempo de agitación (hrs.):	Consumo de reactivos	
		NaCN (Kg/TM)	NaOH (Kg/TM)
0.25	24	12.635	9.100
0.25	72	13.221	9.200

Figura 17

Consumo de reactivos de NaCN y NaOH (concentración de cianuro al 0.25%)



4.4 DISEÑO FACTORIAL 2^K

Determinamos según la matriz el modelo matricial aplicado a los diferentes niveles y la combinación del valor máximo y mínimo de tres factores establecidos, en lo cual la cantidad de pruebas experimentales a realizar es según diseño 2^3 , resulta 8 experimentos.

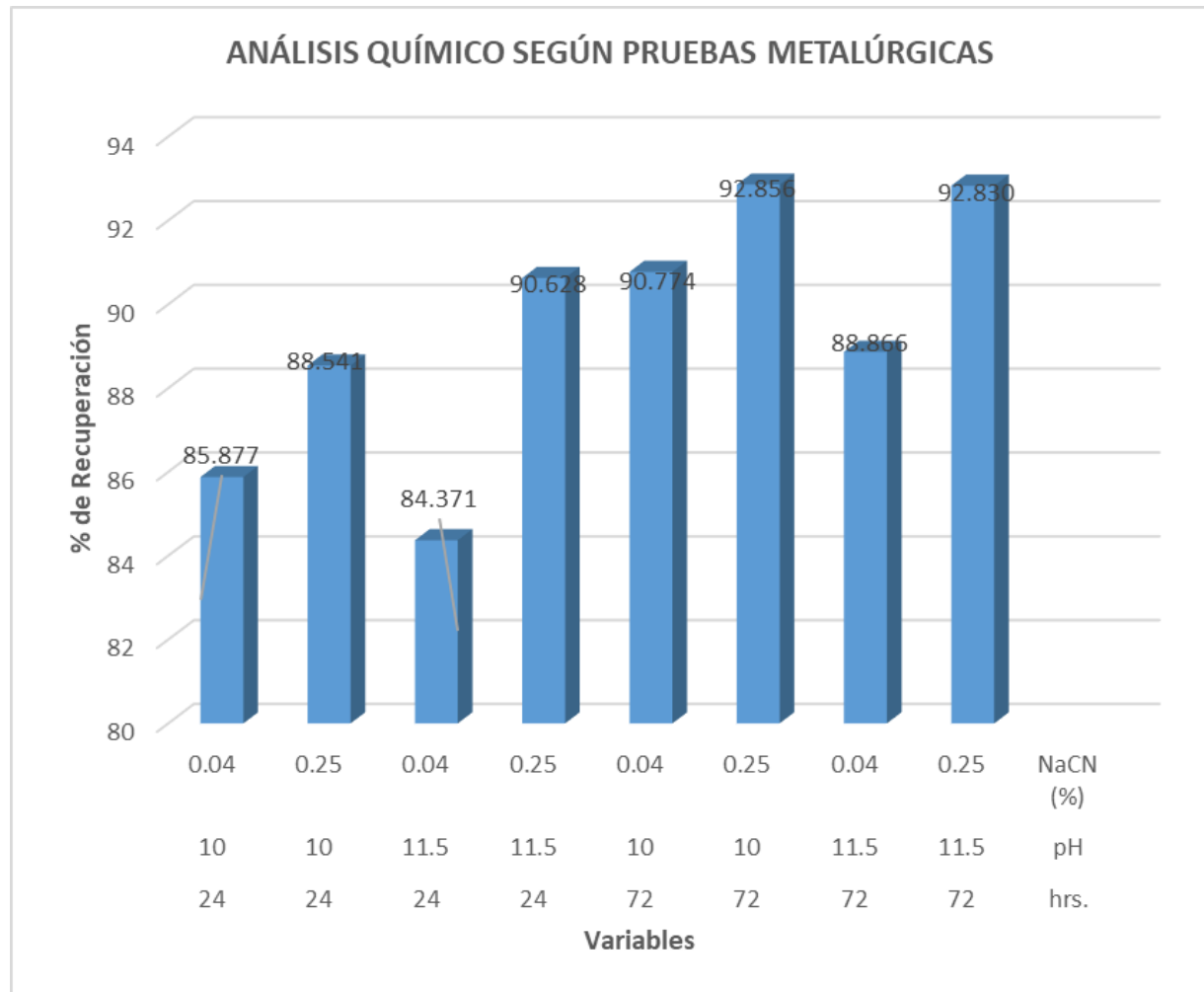
Tabla 24

Resultados para diseño factorial 2³

FACTOR			NaCN (%)	pH	Tiempo de agitación (hrs.)	% RECUPERACIÓN
A	B	C				
			(A)	(B)	(C)	
-	-	-	0.04	10	24	85.877
+	-	-	0.25	10	24	88.541
-	+	-	0.04	11.5	24	84.371
+	+	-	0.25	11.5	24	90.628
-	-	+	0.04	10	72	90.774
+	-	+	0.25	10	72	92.856
-	+	+	0.04	11.5	72	88.866
+	+	+	0.25	11.5	72	92.830

Figura 18

Porcentaje de recuperación según análisis químico metalúrgico



4.5 EVALUACION DE LOS RESULTADOS

4.5.1 Validación De Modelo De Efectos Estimados

Tabla 25

Prueba de Efectos estimados

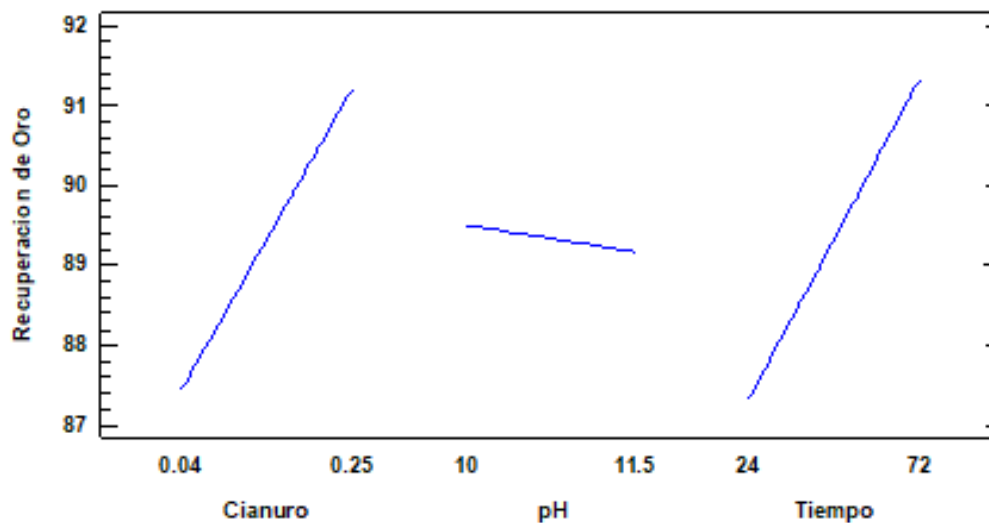
Efectos estimados para Recuperación de Oro (%)	
Efecto	Estimado
Promedio	89.3429
A:Cianuro	3.7418
B:Ph	-0.3383
C:Tiempo	3.9773
AB	1.3688
AC	-0.7188
BC	-0.6288
ABC	-0.4278

FUENTE: STATGRAPHICS

En la tabla 25 se observa que el efecto A y C, son positivos, lo que indica que las variables se encuentran en su mínimo nivel, por consiguiente, necesitan trabajar al nivel máximo. De igual manera se observa para el efecto B, es negativo por lo tanto está se encuentra en el rango óptimo.

Figura 19

Efectos principales



FUENTE: STATGRAPHICS



De acuerdo a la Figura 19 la mejor recuperación de oro, se encuentran en sus niveles máximos como: concentración de cianuro y tiempo, pH en su nivel mínimo.

4.5.2 Prueba de hipótesis según efecto

Contrastación de la hipótesis regla de decisión es: si $P < 0.05$, entonces influye significativamente.

4.5.2.1 Análisis de varianza para recuperación de oro – diseño factorial 2^3

Tabla 26

Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fo	Valor-P
A:Cianuro	28.0014	1	28.0014	18.87	0.0122
B:Ph	0.228826	1	0.228826	0.15	0.7146
C:Tiempo	31.637	1	31.637	21.32	0.0099
Error total	5.93675	4	1.48419		
Total (corr.)	65.804	7			

FUENTE: STATGRAPHICS

Efecto de la variable independiente concentración de cianuro, en la tabla N°26 se observa que $P < 0.05$ lo que indica que la concentración de cianuro, influye significativamente en el porcentaje de recuperación de Oro.

Efecto de la variable independiente potencial de hidrógeno, en la tabla N°26 se observa que $P > 0.05$ lo que indica que potencial de hidrógeno influye, pero no significativamente en el porcentaje de recuperación de Oro.

Efecto de la variable independiente tiempo, en la tabla 26 se observa que $P < 0.05$ lo que indica que el tiempo, influye significativamente en el porcentaje de recuperación de Oro.



4.5.3 Modelo matemático y Resultados de porcentaje de recuperación

Tabla 27

Coefficientes codificados para modelo matemático

Coefficiente	Estimado
Constante	82.782
A: Concentración De Cianuro	17.8179
C: Tiempo	0.0828594

FUENTE: STATGRAPHICS

4.5.3.1 Formulación y evaluación

Según el diseño factorial 2^3 para los factores concentración de cianuro y tiempo y cada factor con tres niveles se tiene el siguiente modelo matemático.

Donde:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

Y = variable respuesta recuperación de oro.

X_1 = variable codificada de la concentración de cianuro.

X_2 = variable codificada de tiempo.

Primero se determinó los valores de X_1 y X_2 en función de cada uno de las variables de la entrada del proceso y luego b_0 , b_1 , b_2 , fue estimado por los valores coeficientes codificados de regresión en unidades no codificadas en función a la variable dependiente de porcentaje de recuperación de oro.

Remplazando al modelo matemático según la tabla de Coeficientes codificados:

Ecuación de regresión en unidades no codificadas según tabla N°27.



$$\text{Recuperación de Oro (\%)} = 82,782 + 17,8179 * \text{cianuro} + 0,0828594 * \text{tiempo}$$

$$\text{Recuperación de Oro (\%)} = 82,782 + (17,8179 * 0,243783) + (0,0828594 * 72)$$

$$\text{Recuperación de Oro (\%)} = 93.092$$

Por lo tanto, según el modelo matemático como respuesta optima de variables están en su nivel alto como concentración de cianuro y tiempo para una recuperación optima de 93.092%.

4.5.4 Análisis de residuos Para Recuperación de Oro

Regla de decisión: si $F_o < F(\text{tablas})$ entonces el modelo es aceptado.

Tabla 28

Análisis de valores

Fila	Valores Observados % recuperación de Oro Experimental	Valores Ajustados % Recuperación de oro calculada	Residuo (R)	R ²
1	85.877	85.4834	0.393625	0.1549406
2	88.541	89.2251	-0.684125	0.468027
3	84.371	85.4834	-1.11238	1.2373893
4	90.628	89.2251	1.40287	1.9680442
5	90.774	89.4606	1.31337	1.7249408
6	92.856	93.2024	-0.346375	0.1199756
7	88.866	89.4606	-0.594625	0.3535789
8	92.83	93.2024	-0.372375	0.1386631
			Suma R ² =	6.1655596

FUENTE: STATGRAPHICS

SCMr = suma de cuadrado media del residuo

N = número de pruebas

Tm = términos de modelo



$$SCMr = \frac{\text{SumaR}^2}{N - Tm}$$

$$SCMr = \frac{6.17}{8 - 3} = \frac{6.17}{5} = 1.234$$

$$Fo = \frac{SCMr}{CM_{\text{error}}} = \frac{1.234}{1.484} = 0.831$$

$$Fo = 0.831$$

F(tablas)

F (∞ ; glr; gle)

Donde: ∞ , determinaremos confianza al 95% por lo tanto 100% - 95%
= 5%/100 = 0.05

F (0.05; glr; gle)

F (0,05;5;4)

Para poder tener el resultado nos fijamos en la tabla (anexo 3) de distribución F nivel de significancia 5% el resultado según F(tablas) es 6,26.

Por lo tanto, remplazando a la regla de decisión tenemos $0,831 < 6,2$.

Nos indica que el modelo es aceptado.

4.5.5 Respuesta optimo y Resultados de porcentaje de recuperación

Evaluando para nuestra optimización buscamos camino de máximo ascenso para recuperación de oro.

Tabla 29

Camino de máximo ascenso respuesta optima

Cianuro (%)	Ph	Tiempo (hrs.)	Predicción para Recuperación de Oro (%)
0.145	10.75	48	89.3429
0.161464	10.75	52	89.9677
0.177928	10.75	56	90.5924
0.194391	10.75	60	91.2172
0.210855	10.75	64	91.842
0.227319	10.75	68	92.4668
0.243783	10.75	72	93.0916

FUENTE: STATGRAPHICS

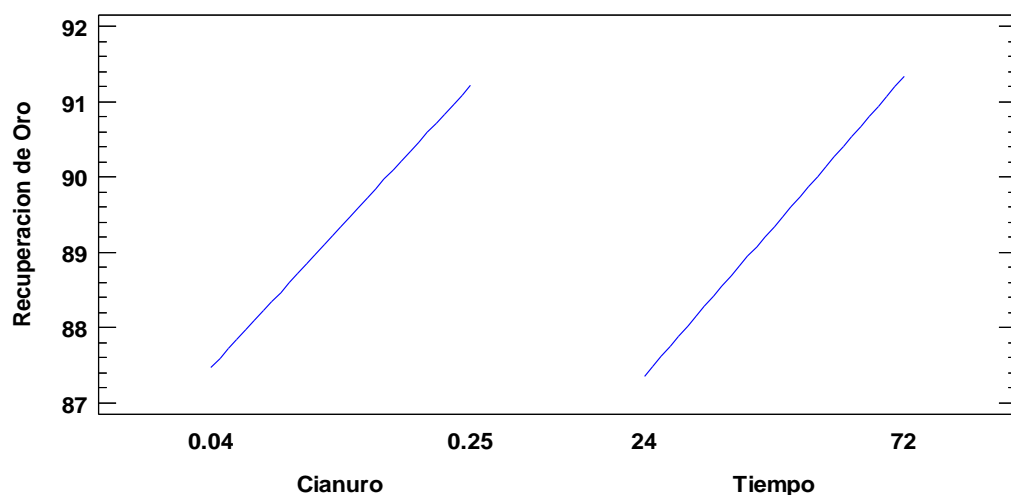
Se determinó la predicción de camino de máximo ascenso para recuperación de oro, según la tabla 29 se observa que a una concentración de cianuro de 0.244%, pH a 10.75 y un tiempo de cianuración de 72 horas, se logra una recuperación de 93.092% de oro.

Además, según nuestro experimento, parámetro optima de las variables concentración de cianuro y tiempo están en su nivel alto, mientras potencial de hidrógeno en su nivel medio para una recuperación a mayor porcentaje.

Figura 20

Efectos principales

Gráfica de Efectos Principales para Recuperacion de Oro

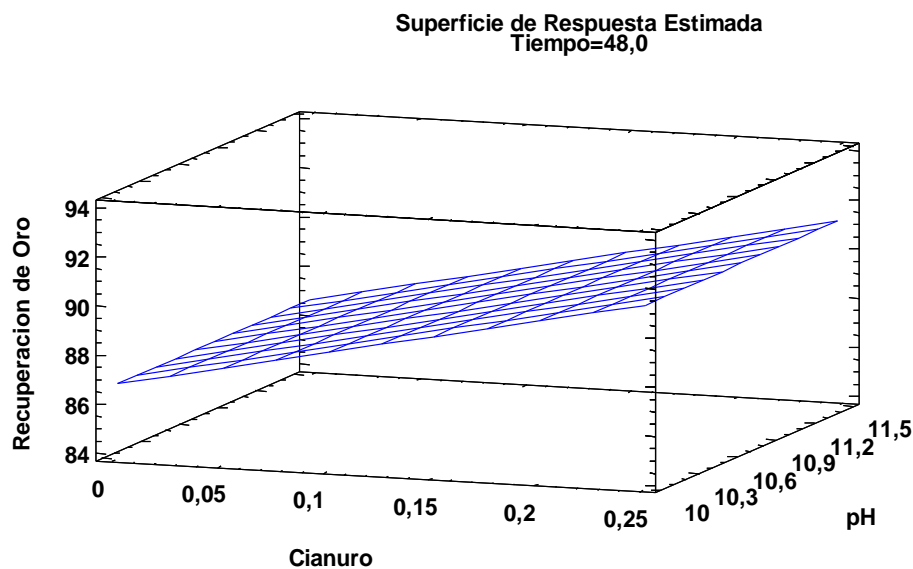


FUENTE: STATGRAPHICS

En la figura 20 se observa el análisis y evaluación de los efectos principales, al camino de máximo ascenso es de esta manera se obtiene como resultado mejor porcentaje de recuperación, con una concentración de cianuro de 0.244%, tiempo de cianuración de 72 horas, encontrando en niveles máximos.

Figura 21

Superficie de respuesta estimada



FUENTE: STATGRAPHICS

En la figura 21 se observa el análisis y evaluación, al camino de máximo ascenso es de esta manera se obtiene como resultado con una concentración de cianuro de 0.244%, tiempo de cianuración de 72 horas encontrando en niveles máximos, mientras que la variable potencial de hidrógeno se mantiene dentro del rango en un intermedio entre el máximo y mínimo a pH a 10.75, para llegar al camino de máximo ascenso en la cianuración de minerales oxidados, con estos parámetros óptimos, se determinó el porcentaje de recuperación a un 93.092 % de oro.

En otra investigación (flores, 2019). En su camino de máximo ascenso para Recuperación de Au. Dando como respuesta optima de 76.5454 horas, pH 11, una concentración 0.11077 % de cianuro libre donde obtiene una recuperación de



94.142% de oro tales encontrados en sus niveles máximos como concentración de cianuro y tiempo de agitación mientras que pH Se mantiene. De esta manera su respuesta óptima mejora su porcentaje de recuperación en un 5.71%.



VI. CONCLUSIONES

A través del desarrollo de las distintas pruebas metalúrgicas ejecutadas en el proyecto de investigación se determinó la efectividad de la concentración de cianuro para un propósito de máxima recuperación, por lo cual se concluye que a mayor concentración mejor porcentaje de recuperación de oro, siendo así el parámetro óptimo resultado de una concentración de cianuro de 0.244% el mismo que fue obtenido mediante el uso del software statgraphics para llegar camino de máximo ascenso en la cianuración de minerales oxidados, se determinó el porcentaje de recuperación de 93.092 % de oro.

La evaluación del parámetro potencial hidrógeno a efecto de máximo porcentaje de recuperación de oro obteniendo 92.856% según resultados de laboratorio químico con un pH en su nivel mínimo, según efecto de las variables, el diseño y obteniendo nuestro modelo matemático la recuperación de oro es de 93.092% esto dando como respuesta óptima, esta variable que se encuentra en un intermedio del máximo y el mínimo dando como resultado un pH de 10.75.

El efecto del periodo de tiempo de agitación óptimo para alcanzar una máxima recuperación según el desarrollo de las pruebas metalúrgicas, en su nivel mínimo de 24 horas y a una concentración de 0.25% la recuperación es baja según experimentos realizados dando como resultado 88.541 % de oro, a diferencia del nivel máximo de 72 horas el resultado es de 92.856% y realizando para una mejora de máximo ascenso como resultado de recuperación de oro es 93.092%, con lo que se concluye que el efecto del tiempo influye positivamente en el porcentaje de recuperación.



VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda según este proyecto de investigación cianuración por agitación, para el beneficio de los mineros artesanales, trabajar según parámetros de esta investigación con concentración de cianuro 0.244% y pH 10.75 a una granulometría de -200 (90.85 % - 91.95%) manteniendo estos parámetros por un periodo de 72 horas. ya que el beneficio de recuperación será en mayor porcentaje.

Se sugiere realizar otras pruebas buscando otros parámetros como inyección de oxígeno, para una mejora continua en la recuperación.

Se recomienda realizar análisis de otros metales acompañantes para un mejor beneficio y alcanzar la meta de instalación y montaje de planta de beneficio, y de esa manera contribuir con el desarrollo económico de la región y a las comunidades aledañas, ya que la planta de beneficio genera más puestos laborales.

Además, que las pruebas metalúrgicas de minerales oxidados realizadas en laboratorio metalúrgico son muy importantes. En ese sentido aportan en la toma de decisiones ya que esta zona contiene un promedio de ley de 0.7086 oz/tc en oro, además es óptima para su procesamiento de minerales, mediante lixiviación por agitación. En cuanto al análisis y desarrollo de las pruebas metalúrgicas desarrolladas en el proyecto de investigación se detalla que el consumo de NaCN y NaOH, se encuentran en un rango aceptable, ya que si existiera exceso de consumo de cianuro se tendría que realizar análisis de otros metales existentes.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, L. L. & Cano, A. F. (2015). *Importancia del pH en la recuperación de oro y plata en los procesos de cianuración*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional De san Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6452>
- Apaza, Z. A. (2018). *Optimización del proceso de cianuración aplicando diseños experimentales a nivel laboratorio en la compañía minera titán del Perú*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional Del Altiplano. Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9154>
- Barsky G. (1934). *Disolution ok gold and silver in cyanide solution reprinted from transactions. Hedley*, volumen 112. New York.
- Betejin, A. (1970). *Curso de Mineralogía*. Rusia MiR.
- Chahuayo, E., Alejandro, A. (2012). *Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de huampar lima*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional del Centro, Huancayo. Perú.
- Cáceres A, G. (2007). *Hidrometalurgia y Electrometalurgia*. Universidad de Atacama, Atacama.
- Choquehuanca M, F. (2023). *Optimización Del Proceso CIP Para La Recuperación De Oro En La Planta De Beneficio SMRL Acumulación Los Rosales Localidad Huancasaya Vilque Puno*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20664>
- Díaz M, E. (2014). *Estudio técnico para la instalación de una planta piloto de lixiviación de relaves de oro en la minera William Cojata – Puno*. Tesis de pre-grado. Universidad



Nacional Del Altiplano, Puno.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22774>

Felipe C. (29 de abril 2013). *Evaluación de los factores de cianuración de un mineral de oro para mejorar su recuperación. revista metalurgia con responsabilidad ambiental, social y seguridad. Año 02 N°3. 38-42.*

Franco G.R. Meléndez E. (2003). *Elaboración de una guía práctica para la preparación de reactivos químicos y estándares de uso frecuente en el análisis químico. Tesis de pre-grado. Universidad De El Salvador. San Salvador, El Salvador.*
<http://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/3145>

Galarza T, M. (1993). *Control Químico de Soluciones Cianuradas – Tesis de Pre-Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.*

Gomez J. Morales M. (2012). *Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au – Ag en la compañía minera ares castilla – Arequipa. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Cusco, Perú.*
<http://hdl.handle.net/20.500.12918/875>

Jaico, J.E. (2008). *Problemas de procesamiento de minerales* (1ra. Ed). Trujillo, Perú.

Kerlinger, Fred (1988). *Investigación del Comportamiento. México: Editorial Mc Graw Hill/Interamericana de México.*

López R, A. (2014). *Efecto de la densidad de pulpa y de la concentración de cianuro de sodio en la lixiviación por agitación para la recuperación de oro en la planta de beneficio doble D – Arequipa. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.* <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2813>

Logsdon M., Hagelstein K., y Mudder T. (2001). *El Manejo de Cianuro en la Extracción de Oro*, Ottawa, Canadá: Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.



MINAM. (Lima, Sábado 21 de agosto de 2010). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf

Miranda S. Suarez J. (1983). *Cianuración de Mineral de Oro De El Callao*. *Latin American Journal of Metallurgy and Materials*. Vol 3, 2, 1983, 118-131.

Misari, Ch. F (2010). *Metalurgia del oro* (1ra. Ed). Lima, Perú, San Marcos.

Misari, Ch. F. (1993). *Metalurgia del Oro*. CEPECT. Lima-Perú Tomo I y II.

Medo E. D. (2016). *Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación*. Cachachi – Cajamarca. Tesis de pre-grado. Universidad Privada Del Norte. Cajamarca, Perú.
<https://hdl.handle.net/11537/10531>

Morales E.L. (2016). *Extracción de plata y oro del relave sulfurado de la minera santa fe por lixiviación con adición de peróxido de hidrógeno y acetato de plomo*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, lima, Perú.
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/5518>

Ñaupá Paitan, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2013). *Metodología de la Investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Lima: Ediciones U.

Paz M, M. (1996). *Exploración y muestreo en depósitos aluviales. Minería aurífera aluvial exposiciones técnicas*. Exposición N°2. Lima, Perú.

Piret N. Shoukry B. (1990). *Informe preliminar en relación al impacto ambiental que puede originar la instalación de plantas de procesamiento de minerales de oro*. Dirección Nacional de Minería y geología. Montevideo, Uruguay.

Quispe A, G. (2024). *Evaluación de parámetros en cianuración de minerales de oro para mejorar el porcentaje de recuperación en la empresa minera sol de oro S.R.L chala -*



Arequipa. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22390>

Quiroz, I., Iván. (1980). *Flotación de Molibdenita A Partir de Concentrados de Cobre*. Tesis de pre-grado. Universidad Nacional De Ingeniería. Lima, Perú.

Ros, M. A. (2017). *Recopilación sobre metalurgia del oro*. Instituto geológico y minero de España. Cartagena, España.

Ruiz, M. (2007). *Hidrometalurgia*. Departamento de Hidrometalurgia. Chile.

Uso del Cianuro en la industria del oro (2016, diciembre). Consultado el 23 de agosto 2019, de www.cyanidecode.org/cyanide-facts/use-mining.

Vargas G, J. (1990) *Metalurgia del Oro y la Plata* (2da. Ed). Lima, Perú, San Marcos.



ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO, POTENCIAL HIDRÓGENO Y TIEMPO DE CIANURACIÓN DE MINERALES OXIDADOS, EN EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ORO DE LA MINA ANTORCCOÑA – VELLILLE”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES INDEPENDIENTE (VI):	METODOLOGIA	POBLACIÓN Y MUESTRA	DIMENSIÓN DE LA VARIABLE	INDICADOR
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el efecto de la concentración de cianuro, potencial hidrógeno y tiempo de cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro en la mina Antorccoña - Vellille?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>•Determinar y analizar la influencia de la concentración de cianuro, potencial hidrógeno y tiempo de cianuración de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro, en la mina Antorccoña - Vellille.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>•Determinando el efecto de la concentración de cianuro, potencial hidrógeno y el tiempo de cianuración de minerales oxidados mejora el porcentaje de recuperación de oro en la mina Antorccoña - Vellille.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (VI):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de cianuro (ppm) 	<p>METODO:</p> <p>Cuantitativo y Descriptivo</p>	<p>POBLACIÓN:</p> <p>MINERALES OXIDADOS DE LA MINA ANTORCCOÑA – VELLILLE.</p>	<p>VI</p> <p>1.-Parámetros Físico Químicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura
<p>PROBLEMA ESPECIFICO</p> <p>1.- ¿Cómo determinar el efecto de la concentración de cianuro de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>1.- Determinar el efecto de la concentración de cianuro en la efectividad de la cianuración en el propósito de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICOS</p> <p>1.- Al determinar el efecto de la concentración de cianuro, mejora el porcentaje de recuperación de oro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial hidrógeno (pH) • Tiempo (t) 	<p>DISEÑO:</p> <p>EXPERIMENTAL DE ANALISIS FACTORIAL</p>	<p>MUESTRA:</p> <p>Mineral de oro con granulometría -200 MESH aproximadamente al 90.85% - 91.95 % (Pasante de la malla - 200)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de disolución • Velocidad de agitación • Concentración cianuro 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de partícula • Densidad de pulpa • Tiempo de cianuración • Alcalinidad (f) • Oxígeno sobre disolución del c
<p>2.- ¿Cómo evaluar el efecto de potencial hidrógeno en la cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?</p>	<p>2.-Evaluar el potencial hidrógeno óptimo de cianuración a efecto de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.</p>	<p>2.- La evaluación del efecto de potencial de hidrógeno en la cianuración de minerales oxidados, influye positivamente en el porcentaje de recuperación de oro.</p>					
<p>3.- ¿Cuál será el efecto de tiempo en la cianuración de minerales oxidados, en el porcentaje de recuperación de oro?</p>	<p>3.- • Evaluar el periodo de tiempo óptimo de cianuración a efecto de máxima recuperación a partir de minerales oxidados en el porcentaje de recuperación de oro.</p>	<p>3.- El efecto de tiempo en la cianuración de minerales oxidados, influye positivamente en el porcentaje de recuperación de oro.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE (VD):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de oro (%) 			<p>VD</p> <p>1. Recuperación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • % de recuperación • % de extracción • Ley cabezas • Ley líquida • Ley sólida



ANEXO 02: MANEJO IMPACTO AMBIENTAL:

Objetivo:

Este estudio realizado considera como primordial el análisis ambiental y así identificar los impactos ambientales, controlando los límites máximos permisibles. Cumpliendo las normas vigentes, para detectar impactos no previstos la mitigación se realiza creando el monitoreo constante de tal manera evaluar el área de influencia, así tener registro de cambio en toda etapa de Proyecto, operación y cierre.

Cancha de relave:

el diseño de la disposición de relave hecho con geomembrana impermeable, se recomienda para un sistema de disposición aguas arriba, se debe considerar para la conservación un espejo de agua a un mínimo de 25% del área, el agua será reutilizado para su proceso conducido mediante tuberías al tanque barren para su posterior proceso.

En esta investigación nuestro plan de manejo ambiental parte en el cumplimiento de acuerdo con el decreto supremo 010-2010-MINAM, se establecen los límites máximos permitidos para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Los límites máximos promedio anual y en cualquier momento son de 0,8 mg/L y 1 mg/L, respectivamente.

En el artículo 3.1 Autoridad Competente. Las autoridades legítimas que ejercen las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica, para la pequeña minería y minería artesanal son los gobiernos regionales, en el caso de la gran minería y mediana minería dicha autoridad competente es el ministerio de energía y minas. (MINAM,2010)

Los parámetros de estas sustancias físicas, químicas y biológicas, que caracterizan el efluente líquido de las actividades minero-metalúrgicas se describen en el artículo 3.4



como límite máximo permisible (LMP), que se miden por la concentración o el grado de elementos, y que sobrepasar los límites puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental, principalmente es el ministerio del ambiente, los cuales exigen su cumplimiento legal. (MINAM,2010)

Para la evaluación y ejecución del proyecto y alcanzar la meta de construcción y puesta en marcha de planta de beneficio se debe ejecutar cumpliendo las normativas ambientales fijadas por el ministerio del ambiente (MINAM), Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y conjuntamente con el Gobierno Regional, en cumplimiento para la autorización, seguir Reglamento de Procedimientos Mineros, de esa manera alcanzar la meta proyectada.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES, LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO – METALÚRGICAS.

Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 – 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: MINAM 2010

Una de las mejores formas de reducir el impacto ambiental en etapa de producción es la reutilización del agua y Utilización de la energía de forma más eficiente y reduciendo con la ayuda de energía solar. Monitoreando constantemente el impacto ambiental.



ANEXO 03: DISTRIBUCION F NIVEL DE SIGNIFICANCIA 5%

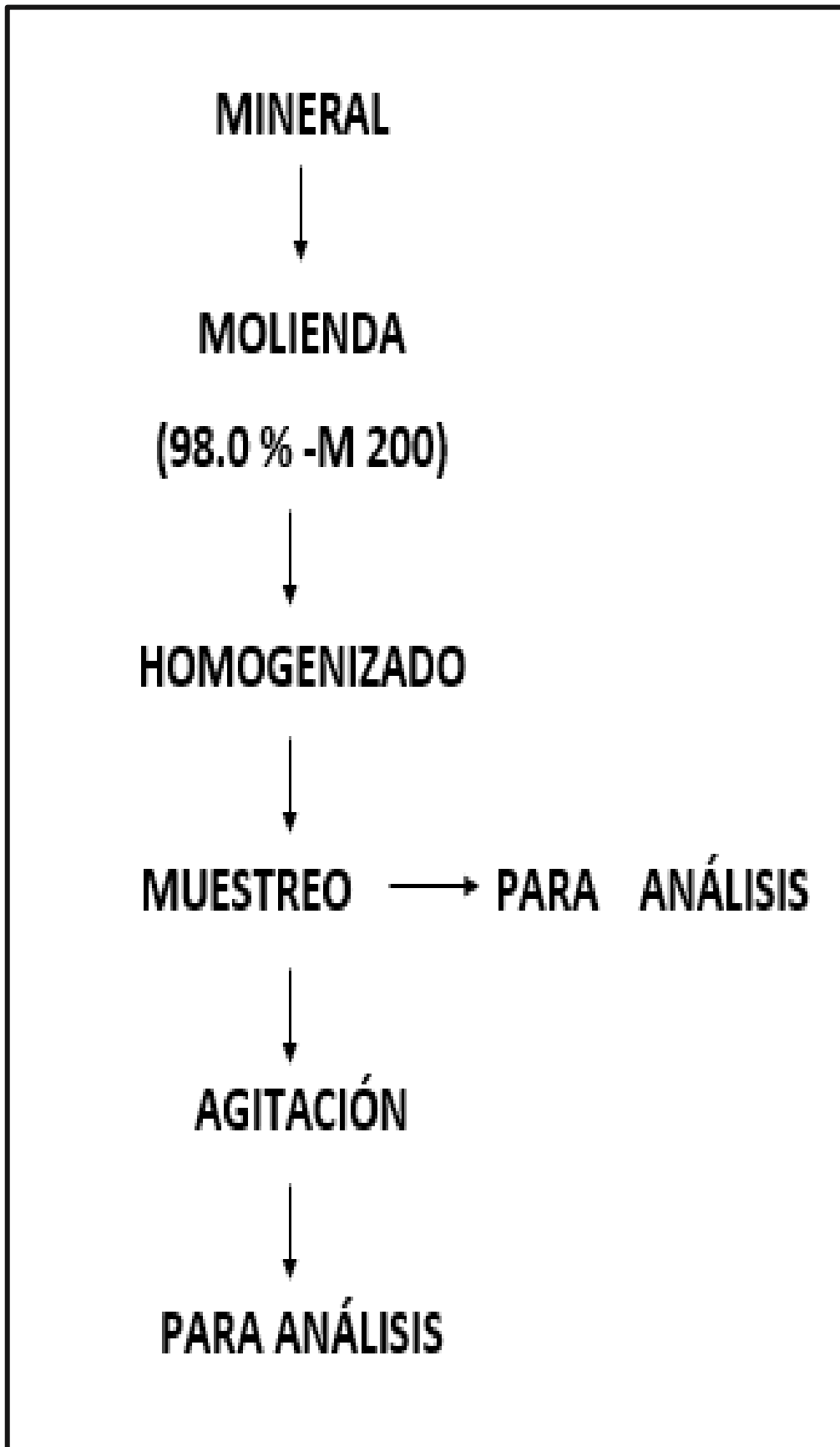
Numero de grados de libertad del numerador

V2/V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	230.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95	248.01
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43	19.45
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70	8.66
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86	5.80
5	6.61	5.70	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62	4.56
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94	3.87
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51	3.44
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22	3.15
9	5.12	4.26	3.86	3.83	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01	2.94
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.84	2.77
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72	2.65
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62	2.54
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53	2.46
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46	2.39
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40	2.33
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35	2.28
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31	2.23
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27	2.19
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.49	2.42	2.38	2.23	2.16
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20	2.12
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.18	2.10
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.15	2.07
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.13	2.05
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.11	2.03
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.09	2.01
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.07	1.99
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.06	1.97
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.04	1.96
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.03	1.94
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.01	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	1.92	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.84	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.75	1.66

Fuente:



ANEXO 04: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



ANEXO 05: PRUEBA EXPERIMENTAL



Se observa la mina Antorccoña- Velille. Esta mina es el propósito de la investigación con el resultado dar a conocer parámetros óptimos para su tratamiento y recuperación de oro, también con el tipo de recuperación ayudamos la reducción de la contaminación.



Se aprecia los tanques representados por baldes de 8L y Banco de 4 agitadores con capacidad de 90 rpm por cada balde en prueba, presenta un motor de 1.5 hp. Este equipo ayuda agitar y cumplir con las horas de agitación para cada prueba ya que ayuda una mejor recuperación.



Se aprecia la prueba de cianuración en balde, en esta agitación que tiene una relación de sólido y líquido. En esta etapa de cianuración es disolver el “oro libre” del mineral. Tomando muestras de % de cianuro libre y pH, hasta terminar las horas programadas para dicha prueba.



En esta imagen se aprecia la balanza en lo cual se procederá el pesaje de reactivos para la titulación. Para medir el % de cianuro libre en las soluciones cianuradas se requiere de una solución de nitrato de plata y un indicador de ioduro de potasio.

Se observa ya la solución estándar de nitrato de plata ya preparada con agua destilada a una concentración de 0.025 Normal, y el indicador de KI también ya preparada con agua destilada a una concentración de 5%.



Observamos las soluciones preparadas para la titulación en recipientes y/o frascos oscuros ya que se descomponen en la luz solar.



Observamos las soluciones cianuradas filtrando para proceder con la titulación para ver la concentración de cianuro.



Observamos realizando el control del pH.



Observamos la muestra tomada de 10 ml de solución cianurada para proceder con la titulación, para lo cual es necesario un indicador que es IK, necesitamos añadir 3 gotas como se observa.



Observamos lo que procede con la titulación con AgNO_3 hasta que vire a una solución de color lechosa.



Posterior a la realización de titulación se procede con la toma de datos para su respectivo control.



Observamos la muestra tomada, para ser enviado a laboratorio químico, para su respectivo análisis de sólido y líquido a partir de los resultados se analiza el porcentaje de recuperación.



ANEXO 06: RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO DE MUESTRA		Au Oz/Tc					
		1	2	3	4	5	PROMEDIO
JWMB		0.7040	0.653	0.754	0.690	0.742	0.7086

QUIMICA PERU J.G. S.A.C.
Panamericana Sur Km. 616 Mz. 36 Lt. 11
La Aguadita - Chala - Arequipa
Telf.: (054) 608825
RPC (Oficina) 969750564 / 969750690 / 969750691 / RPM # 945688322 / # 951493762

CERTIFICADO DE ENSAYE

CERTIFICADO N° 002031 QP-22

Señor (a) : JOEL WEDMIR MAMANI BORDA
Fecha de ingreso : 07-04-22
Fecha de entrega : 11-04-22
N° de Guía : 002031
Tipo de material : MINERAL
Reporte de Muestra : SOBRE SELLADO
Método : LOTE

QUIMICA PERU J.G. S.A.C.
JHON GENRIV ALVAGA CLEMENTE
INGENIERO QUIMICO
REG. CIP N° 224371

RUC: 20546773834 QUIMICA PERU J.G S.A.C



QUIMICA Perú J.G. S.A.C.

Panamericana Sur Km. 616 Mz. 36 Lt. 11
La Aguadita - Chala - Arequipa
Telf.: (054) 608825

RPC (Oficina) 969750564 / 969750690 / 969750691 / RPM # 945688322 / # 951493762

CERTIFICADO DE ENSAYE

CERTIFICADO N° 003535 QP-22

Señor (a) : JOEL WEDMIR MAMANI BORDA
Fecha de ingreso : 08-12-22
Fecha de entrega : 12-12-22
N° de Guía : 003535
Tipo de material : SOLUCIÓN
Reporte de Muestra : BOTELLA
Método : POR LOTE

CÓDIGO DE MUESTRA	SOLIDO	LIQUIDO
	Au Oz/Tc	Au Gr/m3
PRUEBA 01	0.099	7.371
PRUEBA 02	0.093	8.799
PRUEBA 03	0.121	7.998
PRUEBA 04	0.083	9.828
PRUEBA 05	0.081	9.758
PRUEBA 06	0.062	9.868
PRUEBA 07	0.092	8.991
PRUEBA 08	0.063	9.987

QUIMICA PERU J.G. S.A.C.

JHON GENRRY ALMAGA CLEMENTE
INGENIERO QUIMICO
REG. CIP N° 224371

RUC: 20546773834

QUIMICA PERU J.G. S.A.C



ANEXO 07: DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JOEL WEDMIR MAMANI BORDA
identificado con DNI 70159509 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA METALÚRGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO, POTENCIAL HIDRÓGENO Y TIEMPO DE CIANURACIÓN DE MINERALES
OXIDADOS, EN EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ORO DE LA MINA ANTORICÓÑA - VELILLE."
Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 08: AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Joel Weðmir Mamani Borja
identificado con DNI 70159509 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA METALÚRGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO, POTENCIAL HIDRÓGENO Y TIEMPO DE CIANURACIÓN DE MINERALES OXIDADOS, EN EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ORO DE LA MINA ANTORACÓNA - VELLILE."

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella