

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA E INGENIERIA METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO
DE RELAVES MINEROS EN TANQUE DE AGITACIÓN EN EL PROYECTO
SEIS DIAMANTES, LA RINCONADA**

TESIS

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

RAUL TAPARA VELARDE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO - PERU

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

EVALUACION TECNICA PARA LA IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO
DE RELAVES MINEROS EN TANQUE DE AGITACION EN EL PROYECTO
SEIS DIAMANTES, LA RINCONADA

TESIS PRESENTADA POR:

RAUL TAPARA VELARDE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE DEL JURADO


:
M.Sc. Alfredo Mamani Canqui

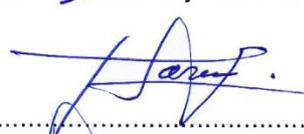
PRIMER MIEMBRO


:
Ing. Hugo Fernández Ochoa

SEGUNDO MIEMBRO


:
MSc. Dalmiro Cornejo Olarte

DIRECTOR DE TESIS


:
M.Sc. David Paredes Torres

ASESOR DE TESIS


:
Dr. Dante Salas Avila

**PUNO – PERÚ
2018**

AREA: METALURGIA EXTRACTIVA

TEMA: PROCESOS METALURGICOS DE CIANURACION DE ORO

DEDICATORIA

Agradezco infinitamente a mi madre Fortunata Velarde por su incansable dedicación y apoyo y confianza que me brindaron para mi formación profesional.

A mi esposa Irma Ydme y a mis hijos Nikoll y Kevin por sus cariños y apoyo incansable de todos los días para concluir el presente trabajo.

A mis hermanas por su apoyo incondicional, por su confianza y empuje que me brindaron en el presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente agradecería a ti señor por brindarme para llegar donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Expreso infinitamente mis sinceros agradecimientos a mis docentes que me inculcaron sus conocimientos adquiridos en las aulas Universitarias. y así mismo a mi querida madre y mi padre desde el cielo me bendijo en toda mi carrera de estudiante.

Agradecimiento especial a mi asesor y al director de la tesis por su apoyo a la investigación del presente trabajo que servirá como material de apoyo para los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general.	3
1.4.2 Objetivos específicos.	3
1.5 Ubicación	3
1.5.1 Accesibilidad.	4
1.5.2 Clima	4
1.6 Geomorfología	8
1.6.1 Unidades geomorfológicas.	8
1.6.2 Suelos.	13
1.7 Geología	14
1.7.1 Geología Regional.	14
1.7.2 Geología Local	15
CAPITULO II	18
2 Marco teorico	18
2.1 El proceso de cianuración	18
2.2 Metodos de cianuración	18
2.3 Lixiviación por agitación	19
2.4 Lixiviación por percolación lixiviación en pilas	21
2.5 Aspectos fenomenologicos de la etapa de cianuración	22
2.6 Reacciones de cianuración	22
2.6.1 Diagrama Au-CN-H ₂ O	22
2.6.2 Diagrama CN-H ₂ O	22

2.7	Aspectos termodinamicos	23
2.8	Aspectos cineticos	24
2.9	Efecto del oxigeno y alcalinidad de la solucion	24
2.9.1	Efecto del Oxígeno	24
2.10	Efecto de la alcalinidad de la solucion	25
2.11	Recuperación del oro y de la plata de las soluciones cianuradas ...	27
2.12	Cinética de disolución del oro.	27
2.13	Principales factores efectos aceleradores y retardadores en la disolucion del oro	29
2.14	Reactivos a utilizar en la cianuracion convencional	29
2.14.1	El Cianuro	29
2.14.2	Usos del Cianuro	30
2.14.3	El Cianuro en la Industria Minera	30
2.14.4	Manipuleo y Destrucción del Cianuro.	30
2.15	El cianuro de potasio o KCN	31
2.16	Soda cáustica (NaOH)	32
CAPITULO III	33
3	Tecnología del proceso	33
3.1	Introducción	33
3.2	Operaciones	34
3.2.1	Compra de mineral	34
3.3	Parametros de la planta de beneficio	35
3.3.1	Muestreo	35
3.3.2	Preparación de las muestras	36
3.4	Descripción del proceso metalúrgico	36
3.4.1	Transporte del mineral a planta	36
3.4.2	Circuito de chancado	36
3.4.3	Primer circuito	37
3.5	Almacenamiento de finos.	37
3.6	Molienda	37
3.7	Molienda y remolienda para minerales	38
3.8	Cianuro de sodio	38
3.9	Soda caustica (NaOH).....	39
3.10	Repulpeadores	39

3.11	Control de proceso	39
3.12	Parámetros para el control operativo de molienda	40
3.13	Determinaciones	40
3.13.1	Determinación de la humedad de cabeza	40
3.14	Balance metalúrgico	40
3.15	Parametros de cianuración	41
3.16	Área de cianuración	41
3.16.1	Cianuración	41
3.16.2	Descripción del área de cianuración	42
3.16.3	Circuito de cianuración	42
3.16.4	Determinación del flujo y volumen de los tanques.	42
3.17	Determinación del consumo de cianuro	44
3.17.1	Cianuro libre	44
3.18	Muestreado de la solución lixiviada	45
3.19	Análisis de las muestras tomadas	45
3.20	Titulación	45
3.21	Carbón activado cargado	45
3.21.1	Extracción de carbón cargado y recirculación de pulpa	45
CAPITULO IV	49
4	Plan de manejo ambiental	49
4.1	Introducción	49
4.2	Objetivos	49
4.3	Legislación	50
4.4	Constitución política del Perú	50
4.4.1	Código penal (decreto legislativo N° 365)	50
4.4.2	Ley general del ambiente (ley 28611)	52
4.5	Situación actual del medio ambiente	52
4.6	Residuos, tratamiento y su almacenamiento	53
4.7	Descripción de la cancha de relaves	53
4.8	Plan de cierre y rehabilitación del proyecto	54
4.9	Efectos de exposición del cianuro de corta duración	55
5	Conclusiones	56
BIBLIOGRAFIA	57

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Coordenadas del proyecto.....	3
CUADRO 2. Distancias del Proyecto	4
CUADRO 3. Precipitación pluvial	6
CUADRO 4 Precipitación pluvial	7
CUADRO 5 Precipitación pluvial	8
CUADRO 6. Columna estratigráfica.....	17

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1. Gráfico de precipitación promedio	6
GRAFICO 2. Precipitación pluvial	7
GRAFICO 3. Precipitaciones pluviales.....	8

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance del porcentaje de humedad	40
Tabla 2. Balance de planta	40
Tabla 3. Diseño analítico descriptivo del tanque	47
Tabla 4. Diseño analítico descriptivo del tanque agitador carbón en pulpa (CIP).....	47
Tabla 5. Balance metalúrgico de la sección de cianuración continua	48
Tabla 6. Cuadro comparativo de cianuración continua y cianuración convencional	48

ABREVIATURAS

pH	Variación de hidrogeno
hr	Hora
tn	Tonelada
%	Porcentaje
L/S	Relación liquido – solido
°C	Grados Celsius
ppm	Partes por millón
g/cm ³	Grados por centímetros cubico
kg/cm ²	Kilorama por metro cuadrado
Eh	Equilibrio potencial o diagrama potencial
kg	kilogramo
cm	Centímetro
TM	Toneladas métricas
%R	Porcentaje de recuperación
mg	Miligramo
mg/l	Miligramo por litro
mg/kg	Miligramo por kilogramo
g/l	Gramo por litro
mm	Milimetro
mmHg	Milimetro de mercurio
rpm	Revoluciones por minuto
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
min	Minuto
H	Altura
pulg	Pulgada
kW	Kilo watt

RESUMEN

La minería actual en el Perú estima un porcentaje considerable de mineros metalúrgicos artesanales e informales, el cual conlleva a la falta de evaluaciones en los procesos de recuperación del oro; así como la comercialización del mismo en forma de relaves y de oro refogado, dando lugar al cierre de muchas de estas operaciones mineras.

En el proyecto seis diamantes la Rinconada, la evaluación técnica es necesaria debido a que no hay una eficiencia en la cianuración de relaves; el consumo de cianuro es excesivo y por ende el tiempo de lixiviación y disolución del oro es mayor, alcanzando en la actualidad una recuperación baja de los relaves. Esto hace que haya pérdida de oro en el relave, pérdidas de energía, mano de obra y por lo tanto se eleva el costo de producción.

El objetivo del presente trabajo es conocer la evaluación técnica para implementar un tratamiento de relaves por medio de tanque de agitación en la Rinconada, en donde se utilizó la metodología descriptiva-comparativa y la estadística basada en Microsoft Excel. Las conclusiones a la que se llegó fueron de que utilizando tanques de agitación existe una mayor recuperación de oro utilizando el proceso de cianuración, pero sensible a la mineralogía del mineral.

Los parámetros optimizados a 0.25% de CN, densidad 1380 g/cm^3 en el presente estudio para minerales oxidados, sulfuros y relaves, fueron una base sólida para el inicio de otras operaciones que tengan una mineralización similar. La recuperación de oro mediante el proceso de cianuración alcanzó el 92.23 %.

La práctica metalúrgica por el método CIP es el más usado tecnológicamente y ambientalmente evitando la contaminación al medio ambiente en la mediana minería

PALABRAS CLAVE: Cianuro, degradación, análisis y carbón.

ABSTRACT

Current mining in Peru estimates a considerable percentage of artisanal and informal metallurgical miners, which leads to the lack of evaluations in the gold recovery processes; as well as the commercialization of it in the form of tailings and gold refogado, resulting in the closure of many of these mining operations.

In the La Rinconada six diamonds project, the technical evaluation is necessary because there is no efficiency in tailings cyanidation; the cyanide consumption is excessive and therefore the time of leaching and dissolution of the gold is greater, reaching currently a low recovery of the tailings. This causes that there is loss of gold in the tailings, losses of energy, labor and therefore the production cost rises.

The objective of the present work is to know the technical evaluation to implement a tailings treatment by means of agitation tank in the Rinconada, where the descriptive-comparative methodology and statistics based on Microsoft Excel were used. The conclusions reached were that using agitation tanks there is a greater recovery of gold using the cyanidation process, but sensitive to the mineral mineralogy.

Optimized parameters at 0.25% CN, density 1380 g / cm³ in the present study for oxidized minerals, sulphides and tailings, were a solid basis for the start of other operations that have a similar mineralization. Gold recovery through the cyanidation process reached 92.23%.

The metallurgical practice by the CIP method is the most used technologically and environmentally avoiding pollution to the environment in medium mining

KEY WORDS: Cyanide, degradation, analysis and coal.

INTRODUCCIÓN

El beneficio de importantes yacimientos de oro, en la región de Nor oeste del departamento de Puno y por ende el creciente conocimiento de los efectos ambientales relacionados con la cianuración ha determinado un crecimiento en la responsabilidad ambiental tanto por parte de las empresas privadas como por parte del estado en lo que llamamos “Evaluación técnica para el tratamiento de relaves mi Perú”; esto conlleva a que las unidades mineras elaboren una evaluación técnica, en donde incluyan aspectos tales como el planteamiento del manejo y recuperación de relaves mineros no descuidando el medio ambiente, el entorno social y económico, desde la etapa de inicio del proyecto.

Para desarrollar y diseñar las posibles alternativas viables de tratamiento de relave, es preciso combinar los datos de composición química, análisis y toxicidad de las soluciones procedentes de los procesos de cianuración. Hay muchas variantes de tratamiento pero ninguna es aplicable en todos los casos. La elección del tratamiento de relave es eminentemente variable de acuerdo a la temperatura que pueda influir en la dilución del oro en sistema (CIP), teniendo en cuenta que el conocimiento de los factores antes indicados ya viene determinada por las características peculiares de cada explotación minera en particular.

Las diferentes labores mineras del país, los relaves de procesos de amalgamación con contenidos metálicos importantes, no reciben el tratamiento metalúrgico adecuado para poder recuperar los metales valiosos. que todavía lo acompañan, estos materiales ya han pasado por el proceso de reducción de tamaño que es la parte más costosa del beneficio de minerales y para poder procesarlos a veces solo requiere una remolienda y en casos más complicados, pre concentración, oxidación y cianuración para poder extraer exitosamente el metal o metales preciosos.

Si bien es cierto el costo de tratamiento se eleva a medida que el tratamiento metalúrgico es más complejo, sin embargo debido a que en algunos periodos de tiempo, como el actual, el buen precio internacional de los metales, particularmente el oro que sirve como respaldo y refugio de muchos ahorristas e inversionistas, el alto costo de tratamiento puede ser cubierto por los elevados precios de los metales.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En las diferentes labores mineras del país, los relaves de procesos de amalgamación con contenidos metálicos importantes, no reciben el tratamiento metalúrgico adecuado para poder recuperar los metales valiosos. que todavía lo acompañan, estos materiales ya han pasado por el proceso de reducción de tamaño que es la parte más costosa del beneficio de minerales y para poder procesarlos a veces solo requiere una remolienda y en casos más complicados, pre concentración, oxidación y cianuración para poder extraer exitosamente el metal o metales preciosos.

Si bien es cierto que el costo de tratamiento se eleva a medida que el tratamiento metalúrgico es más complejo, sin embargo debido a que en algunos periodos de tiempo, como el actual, el buen precio internacional de los metales, particularmente el oro, que sirve como respaldo y refugio de muchos ahorristas e inversionistas, el alto costo de tratamiento puede ser cubierto por los elevados precios de los metales, sin embargo conjuntamente con el estudio técnico, debe ir el informe económico, en paralelo acompañado por buenas políticas medioambientales (Quadrio, 1984) y sociales que mejoren la calidad de vida de la zona de impacto.

1.2 Planteamiento del problema

La minería actual en el Perú estima un porcentaje considerable de mineros metalúrgicos artesanales e informales. El cual conlleva a la falta de evaluaciones en los procesos de recuperación del oro; así como la comercialización del mismo en forma de relaves y oro refojado, dando lugar al cierre de muchas de estas operaciones mineras.

Es conocido que la mayoría de estas operaciones mineras metalúrgicas para recuperar el oro se realizan artesanalmente con poca información teórica y práctica de los procesos y su aplicación en los minerales, sin medidas de seguridad, con perjuicio de la salud de los mineros artesanales y del medio ambiente. El problema de la cianuración es que los elementos componentes de los minerales sulfurados y relaves, reaccionan con el cianuro y el oxígeno causando un excesivo consumo y reducen la velocidad de disolución del oro.

La dificultad en aplicar la cianuración convencional es que el oro está finamente diseminado en forma libre o encapsulada; la presencia de minerales como Fe, Cu, As, Sb, Bi, etc. complican el proceso, por eso se les denomina cianicidas. Los cuales no permiten una buena eficiencia en la recuperación del oro.

Es necesario conocer una evaluación metalúrgica de cianuración en tanques y los factores que se tomaran en cuenta para el análisis y descripción serán: Consumo de cianuro, velocidad de lixiviación y densidad de pulpa.

1.3 Justificación

La evaluación técnica es necesaria debido a que no hay una eficiencia en la cianuración de relaves en la rinconada, además el consumo de cianuro es excesivo por ende el tiempo de lixiviación y disolución del oro es mayor, alcanzando una recuperación baja en la actualidad en relaves. Esto hace que haya pérdida de oro en el relave, también pérdidas de energía, mano de obra y por lo tanto se eleva el costo de producción.

Con la optimización del circuito y tratamiento en tanques, los problemas existentes en el tratamiento de minerales auríferos serán mucho más rentables económicamente y al mismo tiempo el tratamiento metalúrgico de estos y el control de los parámetros de operación serán más eficientes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

- ✓ Conocer evaluación técnica para implementar un tratamiento de relaves por medio de tanque de agitación en la Rinconada.

1.4.2 Objetivos específicos.

- ✓ Conocer la evaluación técnica del proceso de lixiviación en tanque en la Rinconada – Puno.
- ✓ Conocer la implementación de un tratamiento de relaves en tanque que permite reducir en el tiempo de recuperación de oro.

1.5 Ubicación

El proyecto “Planta Hidrometalúrgica Seis Diamantes” se encuentra ubicada dentro del Paraje Orampillo, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina y Región de Puno, aproximadamente a 3 km al Suroeste del C.P. de La Rinconada. El área del proyecto abarca un perímetro de 926.08 metros y tiene un área de 5.5 hectáreas, dentro de las cotas 4 800 y 4 850 m.s.n.m., dicha ubicación se muestra en el plano N° P-01 (ver anexos – Plano de Ubicación). El área de la concesión minera está delimitada por la poligonal que se describe con los siguientes vértices (ver cuadro 1) del sistema PSAD 56, ZONA 19L.

CUADRO 1. Coordenadas del proyecto

VÉRTICES DEL PROYECTO RUMITIA (Datum: PSad56)		
VERT.	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
1	449876.080	8381125.190
2	449954.385	8380957.646
3	449687.340	8380818.125
4	449610.245	8380973.043

Fuente: Elaboración propia

1.5.1 Accesibilidad.

Desde la capital, Lima a la ciudad de Juliaca, el acceso más rápido es por vía aérea, y los accesos por vía terrestre es desde Puno a Juliaca por vía asfaltada. Con dirección al Noreste, desde la ciudad de Juliaca, se continúa por vía asfaltada de primer orden hacia el poblado de Putina, del cual se continúa por una vía asfaltada de segundo orden hasta el poblado de Ananea y se continúa por carretera afirmada hacia el desvío a Orampillo y por trocha carrozable hasta la zona del proyecto.

Las distancias y los tiempos aproximados desde la ciudad de Puno hasta la zona de estudio se aprecian en el siguiente cuadro:

CUADRO 2. Distancias del Proyecto

ACCESIBILIDAD A LA ZONA DEL PROYECTO			
TRAMO	TIPO DE VIA	DISTANCIA	TIEMPO
Puno - Juliaca	Asfaltada 1er orden	45 km.	45 min.
Juliaca - Putina	Asfaltada 1er orden	75 km.	1 hra. 10min
Putina - Ananea	Asfaltada 2do orden	66 km.	1 hra. 45min
Ananea - Desvío Proyecto	Carretera Afirmada	22 km.	30 min.
Desvío-Proyecto "RUMITIA"	Trocha Carrozable	5 Km	10 min
TOTAL		213 km.	4 hrs. 20min

Fuente: Elaboración propia

1.5.2 Clima

Las condiciones ambientales en el área de estudio del proyecto, están influenciadas principalmente por las condiciones climatológicas y orográficas, que tienen influencia sobre las precipitaciones pluviales, evaporación, humedad relativa, temperatura y vientos.

Las temperaturas que tienen una relación inversa con la altitud, con una disminución aproximada de 0.5-0.6 °C/100 m de aumento de altitud: presentan una fuerte variación entre el día y la noche, siendo esta variación, más notoria durante los meses de invierno, cuando el cielo está despejado. Con frecuencia, durante las noches la temperatura desciende por debajo de 0°C, hasta -7,5° C, como puede verse en el boletín mensual del SENAMHI. Las temperaturas más

altas se presentan en los meses de octubre y noviembre y pueden alcanzar valores ligeramente superiores a 13.5°C .

La humedad relativa en el ámbito de estudio tiene un bajo valor, característico de la zona andina; los meses de otoño e invierno son los que menor humedad reportan. La evaporación como elemento meteorológico que reporta la devolución de agua a la atmósfera a partir de los cuerpos húmedos, está influenciada por la alta radiación y los fuertes vientos que se presentan principalmente en horas de la tarde.

La predominancia de la dirección de los vientos en la zona donde se desarrollará el proyecto metalúrgico de tratamiento de relaves (Orampillo: Ananea), según el boletín mensual informativo, del SENAMHI, es hacia el Noroeste, con variación al Norte y a veces al Suroeste; la velocidad de los vientos varía entre 2 y 8 m/s, con pocas fluctuaciones de calma.

1.5.2.1 Precipitación pluvial.

Las precipitaciones pluviales en el ámbito de estudio son marcadamente estacionales, presentándose durante los meses de verano, es decir entre los meses de diciembre y marzo, período en el cual ocurre entre el 65 y 75% aproximadamente de la precipitación total anual, como se registra en los Boletines del SENAMHI, para la estación meteorológica de Ananea

Para los meses de abril a setiembre, e inclusive hasta octubre las precipitaciones en la parte de la zona altiplánica llegan a los 10 mm en promedio afectando las provincias de Melgar, **San Antonio de Putina**, Huancané, Moho, Lampa, San Román, Puno, El Collao, Yunguyo y Chucuito, precipitaciones superiores a los 10 mm se presentaron en el norte de la región afectando las provincias de Carabaya y Sandia llegando a presentar precipitaciones superiores a los 100 mm para el mes Para el caso del proyecto se tiene el registro de precipitaciones de la estación de Ananea y como referencia sobre los meses lluviosos se ha determinado un promedio de 80 mm del promedio mensual de precipitación entre los meses lluviosos y los meses de sequía; éstas son las siguientes:

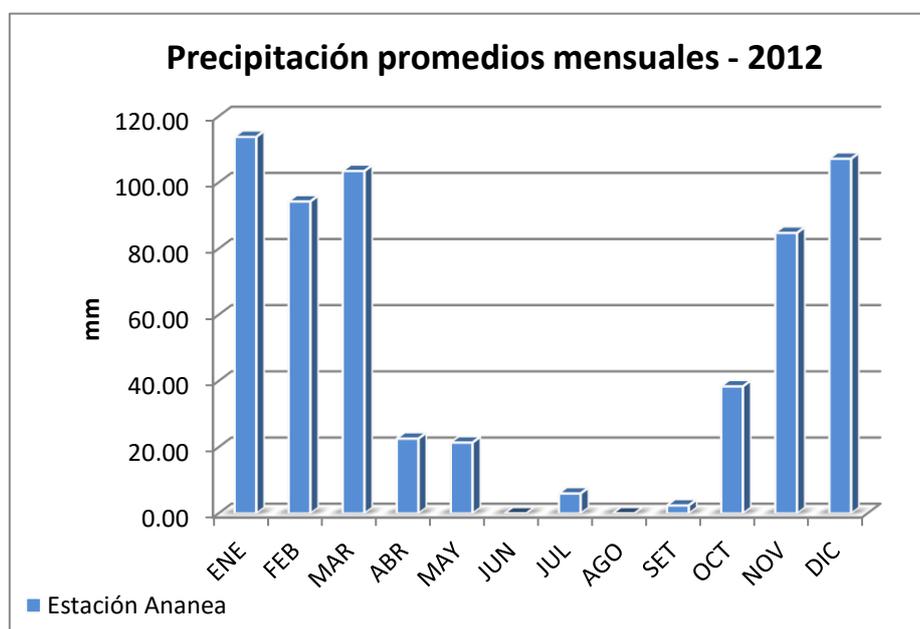
A. Precipitación Año 2012:

CUADRO 3. Precipitación pluvial

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL PARA EL AÑO 2010												
PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL	AÑO 2010											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Estación ANANEA	113.80	94.30	103.50	22.60	21.40	0.00	6.00	0.00	2.40	38.40	84.80	107.20

Fuente: Datos SENAMHI

GRAFICO 1. Gráfico de precipitación promedio



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SENAMHI.

Para el año 2012 se tiene que los meses de mayor precipitación son de enero a marzo seguidos de noviembre y diciembre, lo cual hace a un aproximado de 5 meses de precipitaciones fuertes, los cuales ascienden a un promedio de 107.2 mm, seguido de octubre que es regular, y el resto de meses (de mayo a setiembre) se tiene un periodo de sequía que en promedio no llegan a pasar los 10 mm de precipitación por mes.

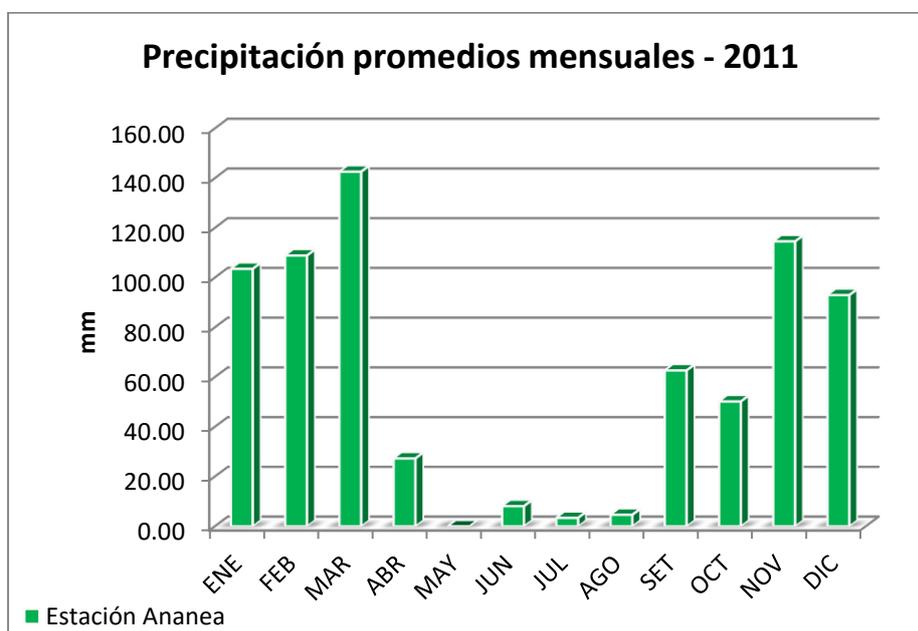
B. Precipitación Año 2013:

CUADRO 4 Precipitación pluvial

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL PARA EL AÑO 2011												
PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL	AÑO 2011											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Estación ANANEA	103.54	108.92	142.60	27.30	0.00	8.10	3.41	4.65	62.70	50.22	114.60	93.00

Fuente: Datos SENAMHI.

GRAFICO 2. Precipitación pluvial



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SENAMHI.

Para el año 2011, se tiene el mismo periodo de lluvias que el 2010, la diferencia radica en que el mes más lluvioso fue marzo con un total mensual de 142.60 mm, y el promedio de estos meses lluviosos asciende a 112.532 mm superando al 2010 en el mismo periodo de tiempo. Con lo que respecta al periodo seco, se tiene un promedio de 22.34 mm que abarcaría los meses de abril a octubre (7 meses), teniendo en consideración que los meses de setiembre y octubre no pasan lo determinado como promedio de precipitación mensual de los 80mm.

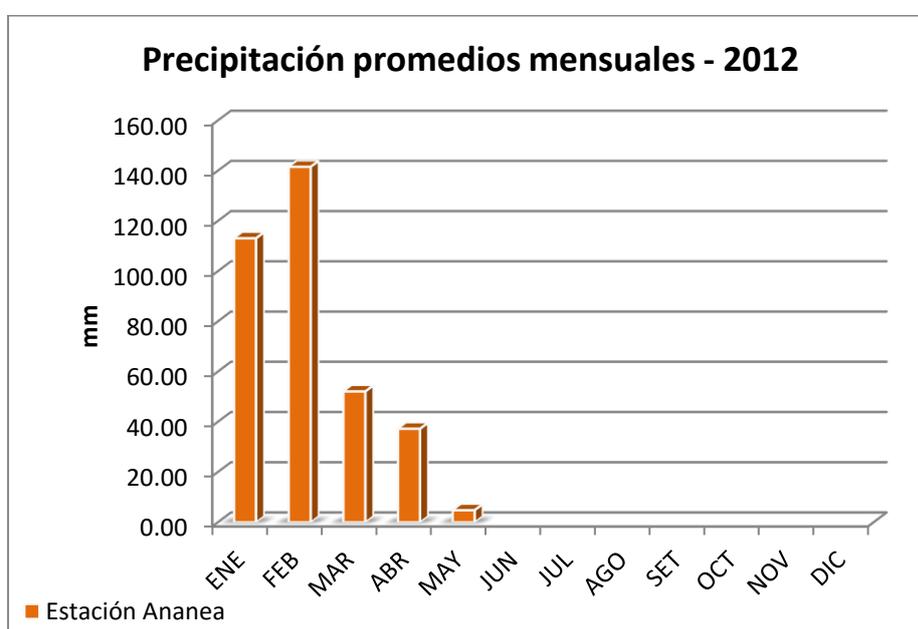
C. Precipitación Año 2012:

CUADRO 5 Precipitación pluvial

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL PARA EL AÑO 2012												
PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL	AÑO 2012											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Estación ANANEA	113.12	141.57	52.13	37.25	4.80							

FUENTE: Datos SENAMHI.

GRAFICO 3. Precipitaciones pluviales



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SENAMHI.

Para el año 2012, no se tiene los datos completos en vista de que estamos aún a medio año, los datos consignados por el SENAMHI requeridos para el presente proyecto abarcan hasta el mes de mayo, pero se evidencia una disminución considerable en precipitación para el mes de marzo, lo cual indicaría que el presente año estaría llegando a un promedio anual bajo con respecto a los dos años anteriores.

1.6 Geomorfología

1.6.1 Unidades geomorfológicas.

Los rasgos geomorfológicos del área de estudio se circunscriben regionalmente

en la Cordillera Suroriental de los Andes del Perú. Presentan morfologías variadas, con diferentes niveles de erosión que están relacionadas a factores principalmente líticos, estructurales, topográficos, climáticos, entre otros.

Las altitudes más bajas del área pueden llegar al nivel de la laguna Rinconada que está a 4645 msnm aproximadamente y las más altas que pueden llegar a 5600 msnm las que quedan circundadas a los nevados de La Rinconada.

Las unidades geomorfológicas conspicuas reconocidas son:

- Relieve Cordillerano.
- Ladera Cordillerana.
- Meseta Cordillerana.
- Montaña Intracordillerana.
- Valles Glaciares

A. Relieve Cordillerano:

Esta unidad representa uno de los rasgos más resaltantes del área del proyecto, tanto por su altitud y morfología, como por el hecho de constituir por el límite de las cuencas hidrográficas existentes. Esta morfología se expone ampliamente al Norte, la cual conforma una faja cordillerana de dirección Sureste-Noroeste.

Topográficamente representa los terrenos más empinados del cuadrángulo que lo representa (cuadrángulo 30-Y) este relieve varía de 5000 a 5829 msnm y lo representa los picos de los nevados (como el nevado Ananea Grande a 5829 m) hacia sus faldas, conformando, por lo tanto el contrafuerte que divide el dos cuencas hidrográficas de importancia regional, como es el caso de la Cuenca del Amazonas y la Cuenca del Titicaca.

Esta unidad se caracteriza por conformar geoformas bastante agrestes y muy irregulares, laderas empinadas. Los cerros o nevados y picos de los mismos se caracterizan por que la mayoría sobrepasa los 5000 msnm, como es el caso del los nevados Chojñacota (5600 m), Ccunuyo (5550 m), Ananea Grande (5829 m), Ritipata (5350 m), San Francisco (5420 m) y Callejón (5350 m), éstos

cuatro últimos son los que tienen influencia sobre el Proyecto, sobre todo en la influencia geomórfológica y climatológicamente de la zona.

Geológicamente, esta unidad está controlada por estructuras matiformes (mantos o pseudoestratos) y la petrología de las secuencias que la forman, como es el caso de las formaciones pizarrosas, que en general estos comprenden los resistentes pilares paleozoicos.

C. Ladera Cordillerana:

Se trata de los flancos del relieve cordillerano que descienden hacia los terrenos bajos del área del proyecto. Los cerros que los forman son generalmente alargados como es el caso de la colina que a la vez forma el “divortium acuarium” entre las cuencas del Ramis y del Suches, estamos hablando de las colinas que pertenecen al sector de Chaquimayo. Esta es la morfología en la cual se confina el proyecto, y la erosión es sin duda el proceso geomorfológico que domina el modelo de estas laderas, dándole un carácter muy agreste y siendo los procesos fluviales los más degradantes.

D. Meseta Cordillerana:

Es una conspicua planicie que se encuentra a una altitud de promedio de 4600 msnm y está hacia la parte Sur del proyecto. Esta la conforma el sector de Pampablanca (Ananea). Es una plataforma irregular con una dirección Noreste a Suroeste su superficie es relativamente suave con pequeñas colinas, de baja pendiente, que en algunos casos se pueden formar pequeños nevados estacionarios.



FOTO 01: Sector de Pampablanca

D. Montañas Intracordilleranas:

Representan el extremo occidental de una larga franja montañosa que proviene paralelamente al lado Suroeste de la Cordillera de Carabaya, se extienden desde el límite fronterizo entre Perú y Bolivia, sector de Cojata, pasando por Ananea, Crucero, Macusani hasta el nudo de Vilcanota.

Sus montañas se elevan generalmente sobre los 4200 msnm, formando cerros de laderas pronunciadas y son afectadas por las acciones de procesos fluviales. Otra característica que tiene es que resalta conspicuamente cuevas que tienen un desnivel de aproximadamente de 400 m de desnivel.

Su morfología de esta unidad está controlada por la estructura del terreno, dado que forma parte de un pilar compuesto de varios tipos de rocas y en varios periodos geológicos, los cuales forman secuencias petrológicas muy variadas y en algunos casos muy resistentes.

E. Valles Glaciares:

Se tratan de profundas y angostas hendiduras formadas en terrenos con altitudes superiores a los 4600 msnm, y que se ubican principalmente en los

flancos de la Cordillera de Carabaya, y el cual no es ajeno la zona del proyecto. En todos los casos está íntimamente ligado a los glaciares o periodos glaciares que se dio en tiempos geológicos.

Morfológicamente se caracteriza por constituir surcos de sección transversal en forma de “U”, con paredes relativamente rectas y de pendientes subverticales, y es casi común encontrar en sus partes más superiores arcos glaciares.

También es común encontrar algunas lagunas muy de cerca hacia las cabeceras de estos valles, del cual están muy asociados a los eventos glaciarios de hace miles de años. En este caso se tiene la laguna glaciar de la Rinconada, y más hacia el Este, lejano al proyecto, está la laguna Suches, los cuales han sido formados por estos eventos glaciarios.

De estos valles, por acciones climatológicas, se han formado las morrenas de tipo basal, lateral y frontal, que son los testigos de la antigua acción glaciar sobre ellas y, que además, en esta parte de la región trajo consigo una mineralización de oro, de las cuales se tienen las minas de tajo abierto de Pampablanca, Chaquimayo, Ananea y Pampilla, por mencionar algunos casos.



FOTO 02 LAGUNA DE LA RINCONADA

Laguna la Rinconada, al cual llegan los deshielos de los nevados, Riticucho, San Francisco y Lunar de Oro, formando el valle en “U” característico de la

glaciación de hace miles de años atrás.

1.6.2 Suelos.

Los suelos se originaron por la acción glacial, fluvio-glacial o aluvial, proveniente de la cordillera oriental, zona del Cerro San Francisco: Rinconada; allí se originaron las morrenas que llegaron a las pampas. Los suelos están constituidos de litoclastos y gravas angulosas aplanadas y estriadas de varios tamaños, con arenas, limos, arcillas, a los que se denominan morrenas, contienen minerales de oro fino y charpas, acompañados de minerales de hierro, estaño en trazas, arsénico, etc. Las terrazas que son geoformas a manera de bancos, formadas por los suelos mencionados, presentan bajo contenido de cobertura vegetal (ver foto 03), no tiene uso agrícola porque se encuentran a 4750 msnm., aproximadamente.



FOTO 3: Vista del tipo de suelo el cual no ofrece características agrícolas

Las condiciones climatológicas y la falta de agua en épocas de estiaje no favorecen el desarrollo de pastizales. De acuerdo a los datos obtenidos en el campo, estos suelos están conformados por una capa de cobertura vegetal orgánica de no más de 15 cm. de espesor; en algunos sitios no existe

cobertura, como se ha visto en la foto 03. Los componentes están constituidos por materia inorgánica como los cantos rodados de cuarzo lechoso masivo, arenisca cuarcífera, de pizarras y de otras rocas de las formaciones Sandia, Ananea y Arco Aja, que constituyen el suelo y el “substratum” del área donde se instalará el proyecto; acompañadas de limos y arcillas de colores pardo café oscuros o amarillento oscuros, aprovechadas por la escasa flora del lugar (ver foto 04).



FOTO 05: Vista del tipo de suelo, que presentan clastos de rocas pizarras y de cuarzos lechosos, los cuales no proporcionan un sustento para la poca flora del lugar.

1.7 Geología

1.7.1 Geología Regional.

En el área de beneficio aflora el yacimiento estratiforme (mantos), de la Formación Ananea, las cuales son Pizarras de la Era Paleozoica y Periodo Siluro-Devoniano, las cuales forman un monoclinal con azimut 110° al entrar en contacto con las Pizarras de la Formación Sandia las cuales infrayacen a la Formación Ananea. El afloramiento que se presenta en el proyecto Rumitía presenta un Azimut de 127° y buzamiento entre 16° al SW, con un espesor de 2 a 20 centímetros entre sus “capas”. La litoestratigrafía regional que caracteriza el área de estudio está conformada por rocas metamórficas de la

Formación Ananea que consiste en una secuencia metamórfica monótona de pizarras, siltitas y cuarcitas en menor cantidad, hacia la parte superior se encuentran las deposiciones cuaternarias de la Formación Arco Aja y los Depósitos Morrénicos. Hacia el Norte, pasando el poblado de La Rinconada se encuentra la Formación Sandia, que no repercute sobre el área de estudio desde otros aspectos.

Hacia el sur, se encuentran capas estratigráficas de areniscas rosado a rosado-rojizas con un evidente contenido mayoritario de feldespatos que lo clasificarían como areniscas arcósicas, éstas pertenecerían al Grupo Mitu, además estas presentarían “flaser bedding” con elementos netos de la formación Mitu, y comparándolo con la Carta Geológica Hoja 30-y estaríamos hablando de una modificación de dicha carta, en vista de que ahí se muestra otra formación que no pertenece al lugar



FOTO 06: Afloramiento de roca Pizarra de la Formación Ananea.

1.7.2 Geología Local

La geología local estaría representada de acuerdo al Plano Geológico Local (Anexo; Planos – Plano N° P-08) y bajo la siguiente descripción litoestratigráfica:

A. Formación Ananea: Fue denominada así por Laubacher (1978) en la cordillera oriental. Consiste en una gruesa serie de Pizarras epimetamórficos.

En el cuadrángulo de La Rinconada básicamente ocupa la parte central, constituye todas las estribaciones occidentales de la línea de las altas cumbres de los nevados que forman la Cordillera Oriental. Sus afloramientos principales están entre los cerros Ccalaccumu, Condorquiña, Cuncca, Choquechambi, las nacientes de la quebrada Iscaycruz, los nevados Riti Urmasca, Caballune y también sobre la carretera que va a Sina, entre Chocñocota y el abra de Iscaycruz; algunos afloramientos aislados se encuentran en los alrededores de Trapiche, cubierto de depósitos fluvio-glaciares.

La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras negras en paquetes de 20 hasta 80 cm. Una columna levantada entre las cabeceras de la quebrada Iscaycruz y el Cerro Cunca, nos da un grosor aproximado de 500 m. El estudio al microscopio (según el INGEMMET) tiene una alternancia micrométrica de siltitas muy finas, con minerales de muscovita, cuarzo, cerusita, finamente cristalizados, que están afectadas por un metamorfismo regional leve de tipo epizonal. Se intercalan en esta formación algunos delgados bancos masivos de areniscas de grano fino con grosores de 20 a 40 cm.

En el área de estudio se puede evidenciar dicha formación aflorando prácticamente dentro del área de beneficio, también se evidencia hacia el norte del proyecto, a unos 300 a 400 del mismo, los afloramientos de la Formación Ananea, sobre los cuales están instalados las otras plantas de beneficios.



FOTO 07: Afloramientos de roca Pizarra en inmediaciones del proyecto

B. Formación Arco Aja: Esta unidad compuesta por estratos de arcilla (escasa) y grava en la parte inferior y estratos de grava con arena en la parte superior. Los elementos gruesos son cuarcitas y pizarras. Su disposición es en forma de lentes alargados que corresponden a paleocanales, cuyas direcciones se pueden reconocer gracias a la posición de los rodados. La formación ha sido ubicada en el Neógeno: Plioceno (Cenozoico: Terciario inferior). Aflora formando las pampas en el tramo Pampa blanca-La Rinconada al Este y Sureste de la zona del proyecto.

C. Depósitos Morrénicos: En ambos flancos de los nevados de la cordillera oriental, se encuentran extensas geoformas de morrenas originadas por la acumulación glaciár, durante el proceso de glaciación y retroceso glaciár. Consisten en una mezcla de arcillas, arenas, gravas y bloques angulosos sin selección. La textura es fina a gruesa inconsolidada que forman suelos profundos limosos. Formados en el Cuaternario Reciente (Cenozoico); en la zona del proyecto dichos afloramientos constituyen una mínima parte y están como remanentes de las morrenas distales formadas en el Cenozoico por lo tanto no constituyen yacimientos auríferos importantes como es en el caso de la zona de Pampablanca, Chaquimayo, Chaquiminas, Pampilla y otros relacionados.

CUADRO 6. Columna estratigráfica

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL - Proyecto Rumitía				
ERA	SISTEMA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA
CENOZÓICO	Cuaternario (Pleistoc.)	Depósitos Morrénicos	Morrenas originadas por la acumulación glaciár con una mezcla de arcillas, arenas, gravas y bloques angulosos sin selección	
	Neógeno (Plioceno)	FORMACIÓN ARCO AJA	Son estratos de arcilla (escasa) y grava en la parte inferior y estratos de grava con arena en la parte superior. Los elementos gruesos son cuarcitas y pizarras.	
PALEOZOICO	Devónico Inferior	FORMACIÓN ANANEA	Pizarras negras en paquetes de 20 hasta 80 cm tienen una alternancia micrométrica de siltitas muy finas, con minerales de muscovita, cuarzo, cerusita, finamente cristalizados: Presentan metamorfismo regional leve de tipo epizonal.	
	Silúrico Superior			

Fuente: Columna Estratigráfica del Estudio Integrado del Sur modificada

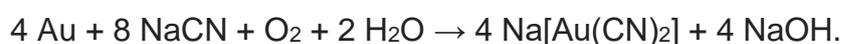
CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 EL PROCESO DE CIANUARACIÓN

La cianuración es un proceso que se aplica al tratamiento de las menas de oro y plata, desde hace muchos años.

Se basa en que el oro y nativo, plata o distintas aleaciones entre estos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas, regidas por la siguiente ecuación:



Esta fórmula es conocida como la ecuación de ELSNER. Las principales variantes de lixiviación son:

- 1.- La lixiviación por agitación.
- 2.- La lixiviación por percolación.

2.2 METODOS DE CIANURACION

La decisión de aplicar tal o cual método de Cianuración a los minerales para recuperar el oro, es eminentemente económica, previa evaluación metalúrgica, para cada uno de los casos tenemos los siguientes métodos.

- Método de cianuración tipo DUMP LEACHING.
- Método de cianuración tipo HEAP LEACHING.

- Método de cianuración tipo VAT LEACHING.
- Método de cianuración tipo AGITACIÓN CARBÓN EN PULPA (CIP).

En todos los métodos de Cianuración del oro se va a obtener una solución cargada de oro, la recuperación o captación del oro en solución se logra en dos formas una es la del Carbón activado en CIC (Carbón en columna) o en CIP (Carbón en pulpa).

La otra forma de recuperar el oro en solución es la del Merrill Crowe, que es la precipitación del oro con polvos de Zinc.

2.3 LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN

La Cianuración por Agitación es el Método que requiere de la máxima liberación del mineral, para obtener buenas recuperaciones en oro, si el oro es más expuesto a las soluciones cianuradas, mayor será su disolución del oro.

Aplicable A pulpas salientes de cianuración por agitación, se trata sin separación sólido/líquido, en tanques separados en varias etapas y en contracorriente.

Finalmente, hay que usar algunas técnicas como la desorción del carbón activado, La electro deposición del oro y la fundición y refinación del oro para obtener el oro de alta pureza.

La recuperación de oro de las soluciones “ricas” se realiza en dos formas. Una es la del Carbón activado (CIP) y la otra técnica es la de precipitar con polvos de zinc (Merrill Crowe).

La mena molida a tamaños menores a las 150 mallas (aproximadamente tamaños menores a los 105 micrones), es agitada con solución cianurada por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas. La concentración de la solución cianurada está en el rango de 200 a 800 ppm (partes por millón equivale a gr de cianuro por metro cubico de solución).

El pH debe ser alto, entre 10 y 11, para evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis (generación de gas cianhídrico, CNH, altamente venenoso) y para neutralizar los componentes ácidos de la mena.

Para evitarlo anterior se usa cal, para mantener el pH alcalino.

Se adiciona lo necesario para mantener la concentración de CaO libre en la solución por encima 100 g/m^3 .

La velocidad de disolución del oro nativo depende entre otros factores, del tamaño de la partícula, grado de liberación, contenido de plata.

Es la práctica común, remover el oro grueso (partículas de tamaño mayores a 150 mallas o 0.105 mm), tanto como sea posible, mediante concentración gravitacional antes de la cianuración, de manera de evitar la segregación y pérdida del mismo en varias partes del circuito.

Es de suma importancia, aparte de determinar la naturaleza de los minerales de oro, poder identificar la mineralogía de la ganga, ya que esta puede determinar la efectividad o no de la cianuración. Esto porque algunos minerales de la ganga pueden reaccionar con el cianuro o con él oxígeno, restando de esa manera la presencia de reactivos necesarios para llevar adelante la solubilización del oro.

Se realizan ensayos a escala laboratorio, con el objeto de determinar las condiciones óptimas para el tratamiento económico y eficiente de la mena.

Las variables a determinar son las siguientes:

1. Consumo de cianuro por tonelada de mineral tratado.
2. Consumo de cal por tonelada de mineral tratado.
3. Optimo grado de molienda.
4. Tiempo de contacto, ya sea en la lixiviación por agitación como en la lixiviación por percolación.
5. Concentración más conveniente del cianuro en la solución.
6. Dilución más adecuada de la pulpa.

2.4 LIXIVIACIÓN POR PERCOLACIÓN LIXIVIACIÓN EN PILAS

La cianuración en pilas es un método que ya se está aplicando con regularidad en varios yacimientos a nivel mundial, para procesar minerales de oro y plata de baja ley, se aplica también en yacimientos del tipo hidrotermal en la zona oxidada, es decir vetas de alta ley pero de volumen pequeño, generalmente explotados por la pequeña minería.

La cianuración en pilas es una lixiviación por percolación del mineral acopiado sobre una superficie preparada para coleccionar las soluciones.

Este método es bastante antiguo y se lo utilizaba para lixiviar minerales de cobre y uranio. Si bien este método fue concebido para explotar grandes depósitos de oro de baja ley, se lo usa también para depósitos de pequeño volumen y de alta ley, debido a sus bajos costos de capital y operación.

Su flexibilidad operativa permite abarcar tratamientos que pueden durar semanas, meses y hasta años dependiendo del tamaño del mineral con que se está trabajando.

El mineral fracturado se coloca sobre un piso impermeable formando una pila de una cierta altura sobre la que se esparce una solución de cianuro diluida, la que percola a través del lecho disolviendo los metales preciosos finamente diseminados en la mena.

La solución enriquecida de oro se colecciona sobre el piso impermeable, dispuesto en forma ligeramente inclinada que hace que fluya hacia la pileta de almacenamiento, desde ahí se alimenta el circuito de recuperación.

Este circuito de recuperación de oro y plata, desde las soluciones cianuradas diluidas las que contienen los metales nobles en solución, puede ser de dos tipos preferentemente, a saber:

- Precipitación con Carbón activado
- Cementación de oro con Zinc

2.5 ASPECTOS FENOMENOLOGICOS DE LA ETAPA DE CIANURACION

El proceso de cianuración es el método más importante que se haya desarrollado para la extracción del oro de sus minerales.

Las razones para su extensa aceptación son de naturaleza metalúrgica como economía. Generalmente, se obtiene una recuperación más alta del oro que la amalgamación en plato y es más fácil de operar que el proceso de clorinación y brominación. El proceso produce el producto final en la forma de prácticamente metal puro.

2.6 REACCIONES DE CIANURACION

2.6.1 Diagrama Au-CN-H₂O

El oro es un metal noble y estable en soluciones acuosas comunes. Sin embargo, la adición de cianuro conduce a un área de predominancia relativamente grande en el rango amplio de pH, del sistema Au-CN-H₂O. Esta región de estabilidad del aurocianuro hace posible la disolución de minerales auríferos con soluciones de cianuro. En el mismo, se ha determinado que el pH más favorable para la solución de oro es 9.4. Sin embargo, para reducir las pérdidas de HCN, usualmente se prefiere en la práctica un exceso en el valor de pH como a 10.5.

Siendo las reacciones más importantes las que mostramos a continuación:

2.6.2 Diagrama CN-H₂O

El diagrama Eh-pH del sistema CN-H₂O a 25°C con $[CN^-] = 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$. Las especies consideradas son HCN, CN⁻, C₂N₂, HCNO y CNO⁻. Sin embargo, las especies estables se indican en la Fig. 5 como cianuro [CN⁻], cianato [CNO⁻] y cianógeno [HCN]. A bajos potenciales predominan el HCN y CN⁻ y a pH mayor de 9.21 solo predominan las especies CN⁻. A altos potenciales la única especie estable es el CNO⁻. En la práctica la formación del cianato se inhibe por la baja cinética de oxidación del cianuro en soluciones aireadas.

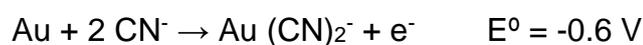
2.7 ASPECTOS TERMODINAMICOS

La reacción de disolución del oro por el cianuro, conocida como la ecuación del Elsner (1850), es:



Es la resultante de 2 reacciones electroquímicas que se producen simultáneamente.

a. La reacción de oxidación del oro en medio cianuro, que se produce en un sitio anódico, de polaridad negativa:



b. La reacción de reducción del oxígeno disuelto en la solución, que se produce en un sitio catódico, cuya polaridad es positiva:



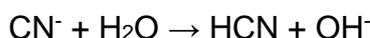
De lo anterior, se deduce que las mejores condiciones termodinámicas para disolver el oro son:

- Presión parcial de oxígeno elevada
- Concentración de cianuro elevada
- Concentración de iones OH^- baja (pH modernamente alcalino)

Sin embargo, las condiciones industriales de cianuración son:

- Presión parcial de oxígeno constante (0.21 atm.)
- Concentración de cianuro baja
- pH elevado

Estas dos últimas condiciones son para evitar la hidrólisis del cianuro y su posterior volatilización, según la reacción:



2.8 ASPECTOS CINETICOS

Los aspectos cinéticos de la disolución del oro en medio cianuro, pueden ser examinados con la ayuda de las curvas de polarización de los sistemas electroquímicos involucrados.

Por lo tanto, cuando la concentración de cianuro es suficiente, la velocidad de disolución del oro, es controlada por la difusión del oxígeno disuelto hacia la partícula de oro.

De esta manera todas las condiciones que permitan acelerar o catalizar la reacción del oxígeno disuelto sobre el oro tales como: agitación, temperatura, pH, etc., son muy favorables para la disolución de oro contenido en el mineral.

2.9 EFECTO DEL OXIGENO Y ALCALINIDAD DE LA SOLUCION

2.9.1 Efecto del Oxígeno

El uso de oxígeno o de un agente oxidante es indispensable para la disolución del oro, bajo condiciones normales de cianuración. Los agentes oxidantes, tales como: peróxido de sodio, permanganato de potasio, dióxido de manganeso, bromo y cloro, han sido utilizados con mayor o menor éxito en el pasado, pero debido al costo de estos reactivos y las complicaciones inherentes en el manejo de ellos, han dejado de ser usados. De otro lado, el mejor conocimiento y entendimiento de las reacciones involucradas en la cianuración y el conocimiento más completo de los efectos que juegan los diferentes constituyentes indeseables en los minerales, han demostrado que la adecuada aireación bajo las condiciones apropiadas dará tan buenos resultados como con el uso de oxidantes químicos.

El efecto del oxígeno en la disolución del oro, para el caso en que se usa 100 ml de solución de cianuro de sodio al 0.10% y a 25° C. En ella, se observa que la velocidad de disolución del oro es directamente proporcional al contenido de oxígeno del gas usado, sugiriéndose que la velocidad de disolución de oro en soluciones de cianuro es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno.

2.10 EFECTO DE LA ALCALINIDAD DE LA SOLUCION

Para reducir la cantidad de cianuro que se descompone en la solución de cianuro, se adiciona cal o lechada de cal para mantener una alcalinidad protectora. Es usual, mantener esta alcalinidad de 0.5 a 1.5 lb de cal por tonelada corta de solución.

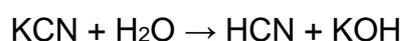
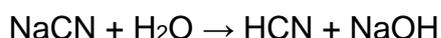
La cal tiene el efecto benéfico posterior de acelerar la sedimentación de las partículas finas de impurezas o lamas, y también precipita ciertas sustancias indeseables. En algunos casos, para propósitos específicos, la alcalinidad protectora se mantiene mediante el uso de otros álcalis como hidróxido de sodio y carbonato de sodio; estos álcalis, sin embargo, generalmente no son agentes de sedimentación efectivos.

Aun cuando, el uso de álcali es esencial en la cianuración, se han demostrado mediante trabajos experimentales, que los álcalis como el hidróxido de sodio y particularmente el hidróxido de calcio, retardan la disolución del oro en las soluciones de cianuro.

Cuando se utiliza hidróxido de calcio, la velocidad de disolución decrece rápidamente cuando la solución de cianuro tiene un pH cercano a 11 y la disolución es depreciable a pH de 12.2 el efecto del hidróxido de sodio es mucho menos pronunciado, y la velocidad de disolución no comienza a decrecer hasta que se alcance el pH de 12.5; y aún, a pH de 13.4, la disolución es más rápida que aquella en una solución de la misma concentración de cianuro que contiene hidróxido de sodio a un pH de 12.2 para que se produzca el efecto total del retardo de la disolución del oro y en las soluciones de cianuro es necesaria la presencia tanto de los iones de calcio como hidróxilo.

Las funciones de hidróxido de calcio en la cianuración son:

a) Prevenir la pérdida de cianuros por hidrólisis



Los hidróxidos provocan la reacción hacia la izquierda, previniendo descomposición de los cianuros.

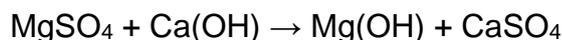
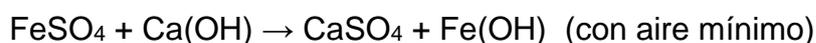
b) Prevenir la pérdida de cianuros por la acción del dióxido de carbono en el aire:



c) Descomposición de bicarbonatos en el agua de la planta, antes del uso en la cianuración.



d) Para neutralizar compuestos ácidos, tales como: sales ferrosas, sales férricas y sulfato de magnesio en el agua de la planta, antes de su adición al circuito de cianuración.



e) Para neutralizar constituyentes ácidos en el mineral.

f) Para neutralizar compuestos ácidos que resultan de los diferentes minerales en la mena, en soluciones de cianuro.

g) Para ayudar en la sedimentación de partículas finas de mineral, de tal manera que la solución madre clara puede ser separada del mineral cianurado. h) Para mejorar la extracción, cuando se trata de minerales que contienen por ejemplo, plata rubí, telururos, los cuales se descomponen más rápidamente a más altas alcalinidades.

Se concluye que la velocidad de la extracción de oro y plata es afectada de la siguiente forma.

a) Aumenta con la reducción del tamaño de la partícula del mineral o el metal.

b) Aumenta, hasta un punto, al aumentarse la agitación.

c) Incrementa con más alto contenido de oxígeno.

- d) Exhibe un máximo a niveles óptimos de la concentración de cianuro y de pH.
- e) Incrementa con más alta temperatura.
- f) Disminuye con concentraciones más altas de iones de cobre, ferrosos y sulfuros, y aumenta con la concentración de iones férricos.

Varias de estas variables, como: aireación, agitación, nivel de concentración del cianuro y pH, se conoce que interactúan entre sí, por lo que resulta más compleja la expresión de velocidad para la disolución del oro y de la plata.

2.11 RECUPERACIÓN DEL ORO Y DE LA PLATA DE LAS SOLUCIONES CIANURADAS

Del licor resultante de la lixiviación, el oro y la plata son recuperados utilizando uno o más de los cuatro procesos siguientes:

- a) Cementación con zinc en polvo
- b) Adsorción sobre carbón activado
- c) Intercambio iónico
- d) Electro extracción.

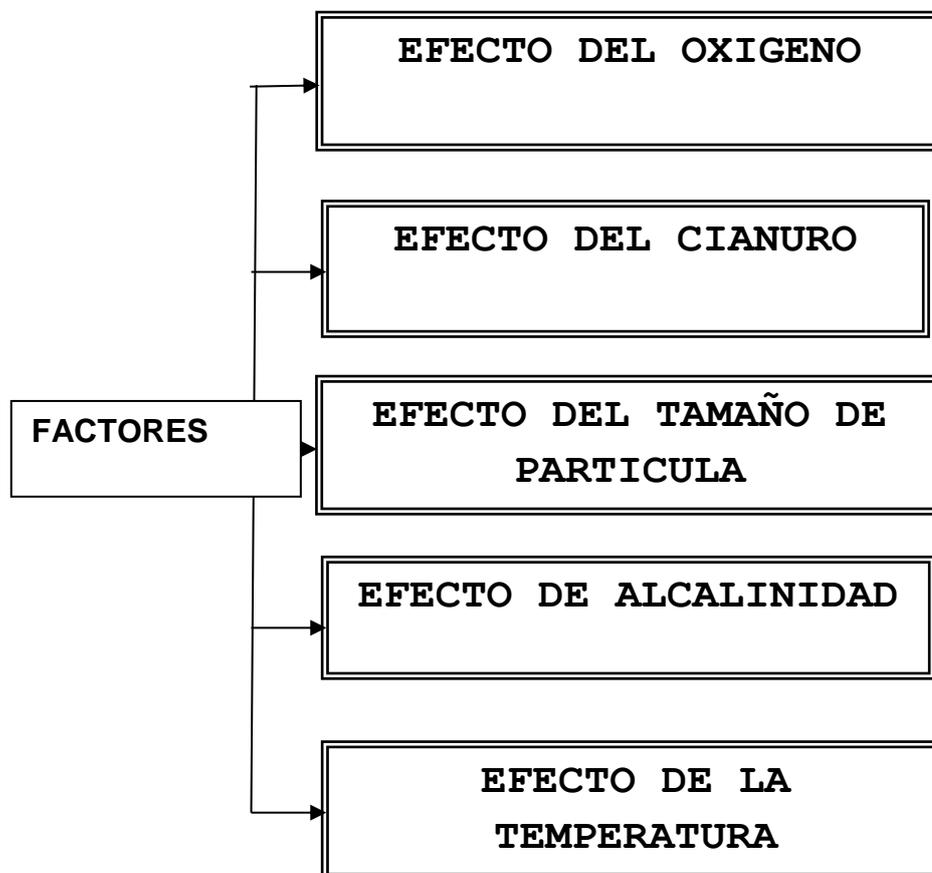
2.12 CINÉTICA DE DISOLUCIÓN DEL ORO.

Una reacción fisicoquímica en el cual se hallan involucradas una fase sólida y otra líquida se consume en las cinco etapas siguientes:

- **Fenómenos heterogéneos en la Interfase Sólido- Líquido.**
 - Adsorción del Oxígeno en la solución.
 - Transporte del Cianuro disuelto y Oxígeno disuelto a la interfaces Sólido-Líquido.
 - Adsorción de los reactantes disueltos (CN^- y O_2) sobre la superficie sólida.
 - Reacción electroquímica.

- Desorción (Desde la Superficie Sólida) del Cianuro de Au complejo y otros productos de reacción.
 - **Fenómeno que controla la cinética de Cianuración.**
- Difusión.

2.13 PRINCIPALES FACTORES EFECTOS ACELERADORES Y RETARDADORES EN LA DISOLUCION DEL ORO



2.14 REACTIVOS A UTILIZAR EN LA CIANURACION CONVENCIONAL

2.14.1 El Cianuro

En general se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno (CN^-). El cianuro ha sido producido por el hombre para usos industriales como la Minería, también se encuentra en la Naturaleza.

Actualmente el cianuro se produce industrialmente mediante la combinación de gas natural y amoníaco a altas temperaturas y presiones para producir cianuro de hidrógeno (HCN) gaseoso, posteriormente es combinado con hidróxido de sodio (NaOH) para producir cianuro de sodio (NaCN) en forma de briquetas blancas y sólidas cuya producción anual alcanza 1.4 millones de toneladas.

En el mundo hay tres productores primarios del cianuro de sodio: DUPONT en los Estados Unidos, ICI en Inglaterra y GUSSA CORPORATION en Alemania.

2.14.2 Usos del Cianuro

El cianuro se usa en la Industria Química Orgánica como el nitrilo, el nylon, los plásticos acrílicos, otras operaciones como la Galvanoplastia, para el endurecimiento del acero, aplicaciones fotográficas, producciones de goma sintética, en medicina en insecticidas y pesticidas.

En la industria Minería se usa en la Flotación como reactivo depresor de la ganga y piritas, en la separación de cobre-bismuto y molibdeno caso Antamina, la mayor cantidad se usa en Cianuración del Oro.

2.14.3 El Cianuro en la Industria Minera

Las operaciones mediante el uso del cianuro alcalinos se viene aplicando desde hace casi un siglo, y de echo la mayor parte de plantas de tratamiento obtienen el oro mediante esta tecnología aunque en el pasado se decía que las operaciones de cianuración estáticas no tenían altas recuperaciones los hechos demuestran que cuando el oro es liberado recuperaciones metalúrgicas aceptables son obtenidas. Así aunque en operaciones de cianuración por agitación se alcanzan recuperaciones de más del 90%, también se alcanzan cotidianamente en plantas de cianuración Vat leaching recuperaciones similares, aunque los tiempos de tratamiento deben ser más prolongados.

2.14.4 Manipuleo y Destrucción del Cianuro.

La clave para su uso es la implementación de sólidas prácticas de manipuleo del cianuro.

Las briquetas de cianuro producidas se mantienen a temperatura y humedad controladas las que son colocadas en contenedores roturados y sellados.

Todos los embarques de cianuro de sodio se acompañan con hojas de seguridad (MSDS) donde figuran los datos químicos y de toxicidad del cianuro de sodio y las instrucciones de su manipuleo con las medidas de seguridad adecuadas.

En los procesos continuos de cianuración en la que se desechan soluciones cianuradas con porcentajes permisibles de cianuro libre, se dispone de tecnologías de destrucción de Cianuro de los residuos de cianuración como también los métodos de recirculación y recuperación del Cianuro.

Los métodos más comunes son adición de hipoclorito de sodio en solución, el peróxido de sodio en solución, la biodegradación usando microorganismos y la degradación natural volatilizándose en forma de HCN.

2.15 EI CIANURO DE POTASIO o KCN

Es la sal de potasio del cianuro de hidrógeno o ácido hidrocianico. Es un compuesto cristalino incoloro, similar en apariencia al azúcar, y altamente soluble en agua. Altamente tóxico, el KCN tiene un olor como el de las almendras amargas, pero no todos pueden oler porque la capacidad de la misma se debe a un rasgo genético. Es una de las pocas sustancias que forma compuestos solubles con el oro, y por esto se usa en joyería para el dorado químico y para darle brillo. Puede usarse en la minería de oro para extraer el metal de los minerales, aunque se usa cianuro de sodio más comúnmente. Se usa a menudo por entomólogos como un agente para matar en los tarros de insectos, ya que la mayoría de los insectos sucumben en segundos, minimizando el daños de incluso las clases más frágiles.

Propiedades físicas:

Punto de ebullición: 1625°C

Punto de fusión: 634°C

Densidad: 1.52 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml: 71.6

ESTADO FISICO Y ASPECTO: Cristales higroscópicos o sólido en diversas formas, de olor característico. Inodoro seco.

2.16 SODA CÁUSTICA (NaOH)

Es un sólido blanco, higroscópico (absorbe humedad del aire), que corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Por ejemplo, es ampliamente utilizado en la fabricación de papel, en la industria del algodón, en la industria textil, en la fabricación de jabón y en la fabricación de muchos otros productos químicos.

CAPITULO III

TECNOLOGÍA DEL PROCESO

3.1 Introducción

Siendo la metalurgia un área que requiere de una comprobación de las teorías, entonces resulta fundamental dentro del estudio de los procesos en laboratorio metalúrgico, la realización de pruebas a escala de laboratorio, para de esta manera complementar y optimizar los procesos de la recuperación de oro.

La presente tesis identificara las diferentes actividades que se realizaran dentro de la planta de beneficio. Para conocer el desarrollo de las operaciones de una planta de cianuración.

Área operativa

- a) recepción y almacenamiento de minerales y relaves de amalgamación.
- b) Procesos De La Planta De Beneficio.
 - ❖ Trituración: primaria y secundaria.
 - ❖ Transporte por fajas.
 - ❖ Almacenamiento de finos.
 - ❖ Adición de reactivos.
 - ❖ Molienda.
 - ❖ Clasificación.
 - ❖ Cianuración y absorción con carbón activado.
 - ❖ Cosecha de carbón cargado.
 - ❖ Transporte del carbón cargado.

Área de servicios generales:

- a) abastecimiento y consumo de agua.
- b) suministro y consumo de energía eléctrica.

Área de servicios auxiliares

- a) oficinas.
- b) laboratorio.
- d) almacenes:
 - ❖ Abierto.
 - ❖ Cerrado.
 - ❖ Depósito de obsoletos.
 - ❖ Lubricantes y combustibles.

Área de bienestar.

- a) Comedor
- b) Viviendas
- c) Tópico
- d) Recreación
- e) Servicios higiénicos.

3.2 Operaciones

La Principal actividad es la obtención del Oro, actualmente en cianuración en pozas que viene realizando recientemente, desde Enero 2012. En la Planta de Beneficio el tratamiento se basara en el presente estudio para la implementación de una planta por agitación, proceso de cianuración en pulpa (CIP), para obtener carbón activado cargado, y este posteriormente al proceso de desorción.

3.2.1 Compra de mineral

La planta de beneficio adquiere mineral aurífero de distintos productores mineros de la Rinconada, bien sea a medianos o pequeños mineros que tienen producciones regulares y con muchos años de operación, así como también a pequeños productores mineros que producen estacionalmente.

Típicamente los términos y condiciones en los cuales el proyecto compra minerales auríferos incluyen que la calidad del material no tenga más de 1% de cobre y un contenido fino de no menos de 0.20 oz. Au. El pesaje y muestreo se realizan de acuerdo con los métodos y normas usuales. Normalmente las recuperaciones pagables fluctúan entre 85% para sulfuros y 90% para óxidos. La cotización internacional del oro es London Gold Fix Second (PM) y se aplican escalas de maquilas de acuerdo con el contenido fino del material, las mismas que fluctúan de acuerdo con las condiciones del mercado y la variación de los precios internacionales. La planta cuenta dentro de sus operaciones con las siguientes áreas como son:

- La preparación de muestras de mina.
- Operaciones de planta.
- Área de cianuración.
- Laboratorio químico

3.3 Parametros de la planta de beneficio

Los parámetros a supervisar para la recuperación eficiente del oro son los siguientes:

3.3.1 Muestreo

Las muestras que se toman para realizar el análisis deben ser homogéneas y representar fielmente la composición media del material del cual se ha tomado; de otra manera se pierde tiempo y trabajo.

Las operaciones sobre pequeñas cantidades de muestra no representan ningún problema especial dado que normalmente es posible preparar con ellas una muestra homogénea mediante la pulverización o el método tradicional de cuarteo.

Las muestras que se reciben en el laboratorio diariamente son procedentes de:

- Área de recepción de planta (lotes de minerales de distintas zonas).
- Muestras de la planta durante el tiempo que dure el proceso (operación).
- Muestra proveniente de la sección de cianuración.

Ya que esta operación está a cargo de laboratorio y se necesita evaluar constantemente todo el proceso.

3.3.2 Preparación de las muestras

La preparación de muestras es de gran importancia, porque una mala preparación dificultaría el análisis de las mismas y podría dar resultados que no sean representativos.

Es por eso que diariamente el mineral es cuarteado y pulverizado en un molino para luego enviarle a laboratorio químico y dar resultados de leyes.

3.4 Descripción del proceso metalúrgico

3.4.1 Transporte del mineral a planta

El mineral es transportado desde los diferentes yacimientos auríferos de la zona de la Rinconada, Ananea y otros yacimientos del sur del país que se transporta hasta las canchas de recepción.

3.4.1.1 Toma de Agua

El Agua para la planta de beneficio proviene del sub suelo, ubicado al lado sur de las instalaciones.

Dado que el requerimiento para el procesamiento es de 6 lt/seg. El agua es bombeada por una bomba siemens con motor de 12 HP directamente al reservorio de 60.5 m³ de capacidad y de aquí alimenta reservorios de rotoplast en la Planta mediante tubería de 3" de diámetro.

3.4.2 Circuito de chancado

Es la primera etapa mecánica para el beneficio de los minerales; y consiste en la aplicación de fuerza mecánica para romper los trozos grandes de mineral hasta reducirlos a un tamaño menor (fragmentos de 3/8" a 1/4") utilizando fuerzas de compresión y en menor proporción fuerzas de fricción, flexión, cizallamiento u otras.

3.4.3 Primer circuito

A. Chancado primario.

El mineral en este circuito solo es en caso de mineral puesto que se tratara relaves en su mayoría. El circuito pasa por chancado primario el cual pasa por una chancadora de quijadas de 8"x10" por separado de tipo DELCROSA de un motor 10Hp 1700 RPM en condiciones normales esta chancadora son usadas para lotes pequeños es decir para minerales de tonelaje menor a 2TM, la chancadora puede pasar hasta 8 TM/h. el mineral luego es llevado a la cancha de almacenamiento. El producto de la chancadora de quijadas al 100% es < 3/8" de pulg.

3.5 Almacenamiento de finos.

Tanto el mineral como el relave luego de ser evaluado y escogido según la ley requerida para su proceso se descargan en la tolva de finos.

3.6 Molienda

La preparación mecánica de un mineral se inicia con el chancado y termina con la molienda; ésta es muy importante porque de el depende el tonelaje y la liberación del mineral valioso que después debe concentrarse por lixiviación.

En esta etapa se debe liberar completamente las partes valiosas del mineral de la ganga, antes de proceder a la siguiente etapa.

La operación de Molienda en la planta está sujeta al tipo de tratamiento mineral o tratamiento de relaves esta área contara con 1 molino continuo de bolas (4ft x 4ft) normalmente se efectúa en dos etapas: Primaria y secundaria en los molinos de bolas de molienda y remolienda. Esta operación se logra con alta eficiencia cuando los molinos son operados en condiciones normales en cuanto a uniformidad del tamaño de alimentación, dilución.

Cuanto más fino se muele el mineral, mayor es el costo de molienda y hasta cierto grado, una molienda fina conlleva a una mejora en la recuperación de valores.

La eficiencia del proceso de molienda depende en gran medida de una serie de factores como:

- a.- tamaño de grano de alimentación del mineral;
- b.- Velocidad y tamaño del molino;
- c.- Tamaño del cuerpo moledor;
- d.- Diseño de los revestimientos del molino;
- e.- Cambios en las características del mineral;
- f.- Distribución de tamaños del producto del molino;
- g.- Volumen de carga moledora y su distribución de tamaño;
- h.- Eficiencia de la clasificación, etc.

La etapa de molienda se realiza con la finalidad de liberar las partículas valiosas de oro nativo óxidos sulfuros, refractarios, relaves.

3.7 Molienda y remolienda para minerales

El mineral chancado es alimentado a razón de 1.666 Tms/h al molino continuo del tipo DELCROSA motor 10 HP y 1170 RPM mediante una faja de alimentación de 2.5 m. de largo por 12" de ancho, trabaja en circuito cerrado con una bomba de lodos de 2 ½"x2 tipo DELCROSA DE motor 7.5 HP y 1750RPM y su producto es impulsado hacia un repulpeador cónico de 42"x 48" DELCROSA 7.5 HP Y 1735 RPM.

En forma continua este ingresa al molino de bolas 4x4 del tipo DELCROSA para remolienda. El producto de este trabaja con una bomba de lodos de tipo 2 ½" x2 que bombea hacia un hidrociclón D-4 marca Ing. Ciclones vortex 5/8" (tipo cilindro de fierro) esta pulpa rebosa al circuito de cianuración (over) con una densidad de 1400^a1410 es una pulpa de 50.431% de sólidos y malla -200 y granulometría de 80% y el (Under) recircula a remolienda.

3.8 Cianuro de sodio

Se usa como disolvente en el inicio de la cianuración de los minerales óxidos, sulfuros y relaves auríferos, el consumo para un trabajo eficiente es de 6.6kg/TMSD, se alimenta en forma diluida con una concentración de 0.40% donde se inicia el 60% de la cianuración, con una fuerza de cianuro de 0.40.

3.9 Soda caustica (NaOH)

Es utilizado como un agente regulador del pH en la lixiviación y como agente depresor de la ganga del mineral sulfurado aurífero. El consumo para un trabajo eficiente es de 1.4 Kg./TMSD Se alimenta en forma diluida al molino continuo llegando a su consumo de 162kg/TM.

3.10 Repulpeadores

Los repulpeadores son pequeños tanques de agitación cuya base es en forma cónica que tienen la función de atrapar el oro grueso del mineral a la cual se le adiciona mercurio y se extrae el oro.

3.11 Control de proceso

El control del proceso se realiza en las diferentes secciones dentro de planta se puede decir que es el control de calidad dentro de cualquier industria, estas se basan en los diferentes procedimientos de muestreo constantes y regulares durante toda la operación y así obtener muestras representativas del lote esto lleva a pronosticar las características del todo para tomar decisiones de tipo técnico y económico y estas son:

Muestreo en faja N° 01 producto de la operación de chancado para su determinación de su ley, y alimentación al molino Continuo para minerales y análisis de malla.

Muestreo en la descarga del molino para análisis de malla.

Control de densidad en la descarga del molino continuo.

Muestreo de descarga en el over flow rebose del clasificador para determinación de ley y análisis de malla.

Control de densidad en el rebose del ciclón.

Muestreo de descarga de arenas o under flow en el ciclón para análisis de malla.

3.12 Parámetros para el control operativo de molienda

- Peso de mineral en las fajas de alimentación
- Densidad de pulpa de Mineral
- Densidad de pulpa del Relave
- Densidad global de ingreso al tanque
- Malla -200 al 80% (de granulometría).

3.13 Determinaciones

3.13.1 Determinación de la humedad de cabeza

Tabla 1. Balance del porcentaje de humedad

	TARA	PESO DE FAJA HUMEDO KG	PESO DE FAJA SECO KG	% DE AGUA	PROMEDIO
MOC	0.000	1.800	1.700	5.80	5.75
MOC	0.000	1.850	1.750	5.71	
RO	0.000	3.000	2.550	15.80	15.3
RO	0.000	2.800	2.385	14.80	

FUENTE: Elaboración propia

3.14 Balance metalúrgico

Tabla 2. Balance de planta

Mineral Tratado 2700.00 TMS

PRODUCTO	TMS	Ley Au gr/TM	Grs. Oro	% Recup.
Cabeza	2700.00	15.00	40500.00	100.00
carbon cargado	4500.00	8.10	36450.00	90.00
solucion barren	2700.00	0.50	1350.00	3.33
relave final	2700.00	1.10	2970.00	7.33
			0.00	0.00
	12600.00	24.70	81270.00	100.67

FUENTE: Elaboración propia

3.15 Parametros de cianuracion

- pH = 12 (a la salida del molino).
- pH = 11 (en los tanques).
- Fuerzas de cianuro en el over = 0.50
- Fuerza de cianuro a la salida del tanque = 0.25-0.26
- Fuerzas de cianuro en el tanque (relave)=0.17-0.18
- Tiempo de residencia de la pulpa = 4.2- 4.3 seg.(para un recipiente de 8Lts).
- Densidad de pulpa del mineral = (1460-1510 gr/lt).

3.16 Área de cianuracion

3.16.1 Cianuración

Si bien, en forma general, la lixiviación puede llevarse a cabo mediante mecanismos diversos, tanto físico como químico y electroquímico, en el caso específico de la cianuración se ha podido establecer que la disolución está regida por los principios electroquímicos de la corrosión.

La siguiente reacción es aceptada como la que representa la disolución del oro (Ecuación de Elsner):



Una de las causas más frecuentes que ofrece dificultades en la cianuración y por ende el exceso consumo de cianuro es:

- La presencia de minerales de cobre en la mena, cuyo contenido puede ser menor de 0.10%, pero su efecto en la disolución y precipitación del oro es perjudicial. Pero en nuestra empresa encontramos materiales que superan el 0.60%

Mediante este proceso de cianuración, se logra disolver el oro y la plata (en forma preferencial) usando una solución alcalina débil de cianuro de sodio.

El oro contenido en el licor resultante de la lixiviación puede recuperarse por carbón activado.

3.16.2 Descripción del área de cianuración

El proceso de producción de planta de beneficio, se realiza en el proceso de cianuración de acuerdo al flow sheet de la planta, se utiliza dos pequeños tanques:

- Uno para la preparación de reactivos de cianuro 7.5HP 1730 RPM.
- Un tk-2 para la preparación de reactivo de soda (NaOH) sin marca de 5 HP 1750 RPM.

Para iniciar este proceso se evalúan las condiciones de operación.

- pH natural del mineral (sulfuros PH 6-7-8-9 -10).
- pH inicial 12
- malla al 80% -200.
- porcentaje de sólidos al 50 %
- TMS 90 TM
- Horas de CN 72 hrs. a más.
- Ley de cabeza de proceso entre 15, 16, 17 gr./TM.
- Ley de relave 1gr/TM.

Los reactivos a utilizar:

- Cianuro.
- Soda cáustica.

3.16.3 Circuito de cianuración

El proceso de cianuración empieza desde el momento en que ingresa el mineral al molino ya que se adiciona el cianuro diluido y la soda diluida al ingreso de los molinos lo cual nos indica que el 70% de la cianuración se efectúa durante la molienda y el 30% en los tanques de agitación continuos en forma continua el flujo de pulpa fluye hasta el tanque 2.

3.16.4 Determinación del flujo y volumen de los tanques.

Teniendo en cuenta la densidad, el porcentaje de sólidos que tiene el mineral a tratar, se puede calcular la cantidad del flujo de pulpa a trabajar y el tiempo de lixiviación en el proceso de los tanques Tk 1 y 2 de la siguiente manera:

Para un tanque para el proceso CIP. N° 1.

FORMULA :

$$V = (\pi \times d^2/4) \times h$$

DATOS :

$$\% \text{ volumen ocupado} = 10\%$$

$$\delta = 1460 \text{ gr/l}$$

$$\% S = 50.035\%$$

$$D = 6.096 \text{ m.}$$

$$h = 6.096 \text{ m.}$$

REEMPLAZANDO :

$$V = (3.1416 \times 37.161 / 4) \times 6.096$$

$$V = 177.91 \times 0.1 = 160.12 \text{ m}^3$$

Entonces:

$$160.12 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ lt} / 1 \text{ m}^3 = 160120 \text{ lt}$$

$$160120 \text{ lt} \times 4.2 \text{ seg} = 672504 / 8 \text{ lt} = 84063 \text{ seg} \times 1 \text{ hr} / 3600 \text{ seg} = 23.35 \text{ hrs de lixiviación.}$$

El tiempo de lixiviación para todos los tanques será:

$$\text{Tk1 tiempo de lixiviación} = 23.35 \text{ hrs}$$

$$\text{Tk2 tiempo de lixiviación} = 13.13 \text{ hrs}$$

Flujo de 4.2 seg./lt y una densidad de 1460.

La adición de soda a la pulpa con cianuro es indispensable para evitar pérdidas de cianuro y neutralizar cualquier constituyente ácido, que de otra manera liberaría ácido cianhídrico. La cantidad de soda que se añade es expresada en términos de kilogramos de hidróxido de sodio por toneladas de mineral tratado.

- **Prueba de cianuración hecha en el laboratorio.**

Para esta prueba se utiliza lo siguiente:

Agua = 2000ml.

Min polveado = 1000gr.

Soda = 1gr.

CN = 3gr.

pH natural = 11

Tiempo de agitación = 48 horas.

Muestreo = cada 2 hrs.

Resultados:

pH.....12.0, para sulfuros 11.0 óxidos

CN.....0.15

Soda.....1.8 kg./TN promedio

Análisis

1.8gr Soda / Kg. x 1000kg/ton x 1kg/1000gr = 1.8 Kg. /tn

Para : 90 ton x 1.8 kg / ton = 162 kg

Para el proceso utilizaremos 162 Kg. de soda cáustica.

3.17 Determinación del consumo de cianuro

3.17.1 Cianuro libre

Para tener en cuenta cuantos kilogramos se va a utilizar de cianuro en el proceso nos basamos en la prueba de cianuración hecha en el laboratorio; si trabajamos con 6.6 gr. de cianuro lo proyectamos a Kg. /ton.

ANALISIS:

6.6 gr CN /1Kg.mineral x 1000kg/ton x 1 Kg./1000gr = 6.6 Kg./ton

Para: 90ton x 6.6 kg /ton = 594 kg de CN

3.18 Muestreo de la solución lixiviada

El muestreo se realiza cada hora consecutivamente para luego recoger al cabo de las 24 horas. Se recoge la muestra al ingreso y salida del tk 1, en la salida del tk 6, salida del tk 7 y salida del tk 12 (relave) q están en agitación.

3.19 Análisis de las muestras tomadas

- Se filtra la pulpa de mineral hasta obtener 1000 cc de filtrado, se toma 25cc para hacer la titulación de control. Este filtrado se precipita con acetato de plomo con una cantidad aproximada a 20-30 ml y luego se agrega polvo de cinc aprox. 1 cucharadita después de unos minutos de hervir se filtra en caliente, este filtrado se procede por vía seca agregando fundentes en un crisol y analizando la ley contenida en la solución barren.

3.20 Titulación

- Para el control de fuerza de cianuro en planta. Se toma la muestra de ingreso y salida del tk1 y salida del tk 12 (relave final) de cada muestra tomada se filtra hasta obtener 20 ml aprox. luego se efectúa la titulación con 10 ml se agrega 3 gotas de KI y se empieza a titular con una solución estándar de nitrato de plata (6.5 g/l) hasta que se produzca el primer cambio parecido a un color verde limón el gasto efectuado se multiplica por el equivalente gramo 0.04% obteniendo de esa manera la cantidad de cianuro.
- Tener en cuenta que todos los datos que tomamos deben ser anotados en una libreta de apuntes para luego hacer nuestro balance de consumo de cianuro.

3.21 Carbón activado cargado

3.21.1 Extracción de carbón cargado y recirculación de pulpa

Concluido la absorción máxima de iones de oro en el carbón según reporte de laboratorio químico se descarga de los tanques de agitación carbón en pulpa.

Para la extracción de carbón cargado de cada tanque se efectúa mediante una tubería de evacuación hacia un filtro de malla 20 que no permite pasar el

carbón y la pulpa pasante es recirculada al primer tanque formando así un circuito cerrado.

El carbón cargado es lavado y ensaquillado de cada tanque por separado para luego ser muestreado y enviado a laboratorio para su respectivo análisis. El tamaño de grano del carbón es superior a malla 17 después de zarandear.

Tabla 3. Diseño analítico descriptivo del tanque

VARIABLES	TK 1 (20*20)ft	U.M.
Ley de cabeza calculada	14.3	g/Ton
Tamaño de partícula	-	
Densidad de pulpa	1510	g/l
Porcentaje de sólidos	50.1	%
Gravedad específica	2.6	g/cm ³
Caudal de la pulpa	4.2	l/s
Consumo de cianuro	6.6	Kg/ton
Consumo de soda	4	Kg/ton
Tiempo de cianuración	72	Horas
Fuerza de cianuro	0.50	%
pH DEL MINERAL	11.0	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Diseño analítico descriptivo del tanque agitador carbón en pulpa (CIP)

VARIABLES	TK 2 (10*10)ft	U.M.
Ley de cabeza calculada	14.3	g/TM
Tamaño de partícula	-	
Densidad de pulpa	1510	g/l
Porcentaje de sólidos	50.1	%
Gravedad específica	2.6	g/cm ³
Caudal de la pulpa	4.2	l/s
Consumo de cianuro	6.6	Kg/ton
Consumo de soda	4	Kg/ton
Tiempo de cianuración	72	Horas
Fuerza de cianuro	0.25	%
Ley del CIP	18.00	g/Kg
Relave final sólido	1.1	g/TMS
pH del mineral	11.0	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Balance metalúrgico de la sección de cianuración continua

Mineral Tratado 90 TMD
Días Operación. 31

PRODUCTO	PESO TMS	LEY. CALC. Gr. /Ton. Au.	CONTENIDO METAL. Gr.	DISTRIB. %
Cabeza	90.000	15.000	1350.00	100.00
CIP	150.000	8.090	1213.500	89.89
SOL BARREN	90.000	0.420	37.80	2.80
Relave Final	90.000	1.100	99.00	7.33
				100.02

Tabla 6. Cuadro comparativo de cianuración continua y cianuración convencional

DESCRIPCIÓN	CONVENIONAL CIANURACION	CIANURACION CONTINUA
Capacidad TMS	8	2700
Tratamiento TM/D	0,67	90,00
Días de Operación	12	30
Nº Equipos/Produc.	1	12
Control	Alto Riesgo	Protegido
Consumo Reactivos		
Mercurio Kg/TM	0,72	0,015
Hipoclorito Kg/TM		-
Hidroxido de sodio Kg/TM	0,19	54,0
Cal Kg/TM	15	
Detergente Kg/TM	4,94	-
Costo de Producción %	12,0	1,38
Recuperación %	62,89	89,95

CAPITULO IV

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

4.1 Introducción

El Plan de Manejo ha sido elaborado de conformidad con los más altos estándares de manejo ambiental según las leyes vigentes y los requerimientos legales y regulaciones aplicables vigentes.

La planta de cianuración trabaja conforme a las regulaciones del Ministerio de Energía y Minas del Perú (MEM). Los requerimientos aplicables de estas normas, a las que se hace referencia en el presente manejo ambiental, son los siguientes:

- 1) La planta de beneficio, no permitirá la descarga de sustancia alguna o descarga de agua con características que estén fuera de los límites permisibles establecidos según normas del MEM desde el Sistema de Manejo de efluentes hacia las aguas subterráneas y superficiales
- 2) La planta operará y mantendrá en forma adecuada los componentes del sistema de manejo de fluidos. Implementadas en las instalaciones de la planta.

4.2 Objetivos

El objetivo del Plan de Manejo de efluentes es identificar, prevenir, controlar y corregir posibles fugas de solución de las diferentes instalaciones de procesos componentes del proceso.

El plan de Manejo de Fluidos nos dará información oportuna para tomar decisiones oportunas para evitar contaminación a zonas de influencia.

4.3 Legislación

Las Regulaciones y requerimientos aplicables al Plan de Manejo de Fluidos son:

Regulaciones del Ministerio de Energía y Minas.

4.4 Constitución política del Perú

Art. 66: Los recursos naturales renovables y no renovables son patrimonio de la nación, el estado es soberano en su aprovechamiento.

Art. 67: El estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

Art. 68: El estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

4.4.1 Código penal (decreto legislativo N° 365)

Título XII. Delitos contra la Ecología.

Los artículos 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313 y 314, establecen las penalidades del caso a los que contraviniendo las disposiciones vigentes deterioren el medio natural.

Los más importantes se mencionan a continuación:

El artículo 304. Hace referencia a la contaminación del medio ambiente y dice textualmente: El que infligiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrológicos, será reprimidas con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días multa.

Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de un año o prestación de servicio comunitario de diez a treinta jornadas.

El artículo 305. Hace referencia a la contaminación agravada del medio ambiente y dice que la pena será privativa de libertad no menor de dos ni mayor de cuatro años y trescientos sesenta y cinco a setecientos treinta días - multa cuando:

- Los actos previstos en el artículo 304°, ocasionan peligro para la salud de las personas o para sus bienes.
- El perjuicio o alteración ocasionados adquieren un carácter catastrófico.
- El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.
- Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si, como efecto de la actividad contaminante, se producen lesiones graves o muerte, la pena será:

- Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenta y cinco a setecientos días-multa, en caso de lesiones graves.
- Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta a mil cuatrocientos sesenta días-multa, en caso de muerte.

El artículo 308. Hace referencia a la protección de las especies de flora y fauna protegidas, agravantes y dice lo siguiente: El que caza, captura, recolecta, extrae o comercializa especies de flora o fauna que están legalmente protegidas será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años.

La pena será no menor de dos ni mayor de cuatro años y de ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días-multa cuando:

- El hecho se comete en período de producción de semillas o de reproducción o crecimiento de las especies.
- El hecho se comete contra especies raras o en peligro de extinción.
- El hecho se comete mediante el uso de explosivos o sustancias tóxicas.

El artículo 313. Hace referencia a la alteración ilegal del ambiente natural por construcción de obras y menciona lo siguiente: El que, contraviniendo las disposiciones de la autoridad componente, altera el ambiente natural o el paisaje urbano o rural, o modifica la flora o fauna, mediante la construcción de obras o tala de árboles que dañan la armonía de sus elementos, será reprimido con pena privativa de libertad no mayor de dos años y con sesenta a noventa días-multa.

El artículo 314. Es una medida cautelatoria y textualmente dice: "El Juez Penal ordenará, como medida cautelar, la suspensión inmediata de la actividad contaminante, así como la clausura definitiva o temporal del establecimiento de que se trate de conformidad con el artículo 105°, Inciso 1, sin perjuicio de lo que pueda ordenar la autoridad en materia ambiental.

De acuerdo a lo expresado en los artículos mencionados, el proyecto minero debe enmarcarse en el cumplimiento de la normatividad que sanciona los delitos contra la ecología.

4.4.2 Ley general del ambiente (ley 28611)

La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

4.5 Situación actual del medio ambiente

La relación del hombre y el medio ambiente laboral, el cual forma parte de su medio ambiente de vida, deben ser concebidas con relaciones básicas de hombre, la máquina y el medio ambiente.

Según el estudio meteorológico e hidrología SENAMHI tiene el clima seco y caluroso con ausencia total de lluvias el cual se encuentra a y con una temperatura media anual de 22.2 C° y media anual mínima 17.9C° perteneciendo a la zona de vida desierto desecado subtropical una altitud de

4300msn el cual implica que no se crea ninguna enfermedad y epidemias causados por los impactos de la planta de beneficio.

También en el yacimiento se encuentran plantas informales de cianuración, y procesos de amalgamación con mercurio (guimbaletes) donde la contaminación es muy fuerte para la población.

Por tal caso también hacen estudios de contaminación ambiental y de aguas subterráneas las instituciones de la UNA Puno etc.

4.6 Residuos, tratamiento y su almacenamiento

El principal residuo del procesamiento que genera la planta de beneficio, es el relave, el mismo que es conducido a través de una tubería de 4" de diámetro hasta un depósito de relaves situado a 150 metros de la planta. En un volumen inicial de 25 TM/Día que será clasificado mediante un sistema por decantación, para la disposición de los gruesos en las partes perimétricas, que forman las crestas y los finos distribuidos en las partes posteriores, formando el espejo de agua y por rebose aprovechando la gravedad son evacuados a la poza de sedimentación y finalmente de aquí al cuerpo receptor.

La cancha actual ha sido protegida en el pie del talud por el muro de concreto armado emplazado en roca. La vida útil que le resta a la relavera para el almacenamiento es aproximadamente de tres años y habiéndose iniciado la evaluación de una futura ampliación y / o instalación de una nueva cancha de relaves segura y eficiente.

Los desechos producidos en la planta de beneficio como consecuencia de las operaciones metalúrgicas son:

Relaves con contenido de cianuro proveniente de la planta de cianuración
Relaves con contenido mínimo de mercurio proveniente de la planta de cianuración.

Agua de decantación de la cancha de relaves.

4.7 Descripción de la cancha de relaves

El proyecto ha sido realizado de acuerdo al Reglamento Nacional de construcciones del ITINTEC y Normas de ASTM, desarrollándose para ello los

análisis de estabilidad estática y pseudo-estática del actual depósito, considerando el modelo geomecánico adecuado para superficies de falla con menores valores de factores de seguridad, estableciéndose el tipo de ruptura potencial y el mecanismo de falla del talud principal, lo cual permitió conocer la envergadura de la obra de estabilización que había que ejecutarse.

El agua clara decantada acumulada del pontaje de la taza decantada se drena a través de una tubería de polietileno de 3" por sistema de sifones de almacenamiento hacia un tanque de 40m³ ubicado en la planta de beneficio mediante una bomba de 1"1/2x2 con un motor de 5HP.

- **Manejo de efluentes.**

El agua decantada de relaves viene a ser la solución barren captada y recirculada al proceso de planta en su totalidad por lo cual reconsidera que no se tiene efluentes de la operación planta.

Sin embargo se controla permanentemente la calidad de aguas de abastecimiento ubicado en la casa huerta, de acuerdo la resolución RM 011-96EM. como es el muro de sostenimiento definitivo de concreto armado provisto de drenajes ubicados detrás del muro, debajo de la materia de relave consistentes en tubos de PVC de 3" de diámetro para el dren longitudinal y de 2" para el dren transversal perforados en toda su longitud, y con orificios de 3 mm. es su mitad superior forrados con geotextil, los mismos que han sido colocados a una inclinación mínima de 5/1000 conduciendo las aguas a una poza de descarga de la que serán evacuadas mediante una tubería de 6" a las pozas de sedimentación y finalmente de aquí al cuerpo receptor.

4.8 Plan de cierre y rehabilitación del proyecto

El periodo de cierre se inicia cuando se cesan las actividades extractivas de la explotación minera, consecuentemente paralizada las actividades de procesamiento de la Planta de Beneficio y descargas de relaves, efectuaran la medidas necesarias para la estabilización física y química post clausura, tal que sean los suficientemente estables para alcanzar el estado de abandono sin el requerimiento de posteriores monitoreos.

El tratamiento efectuado sobre estabilidad física (muro de contención anclado, drenaje para aguas superficiales, piezómetro instalado y poza de sedimentación, recomendado y ejecutado por la Empresa para soportar un volumen capaz de soportar la vida útil del proyecto de relaves evitando los efectos erosivos del viento, de lo contrario sucederán adversos al librarse polución, por acción eólica transportándolo hacia el campamento minero y centros poblados más cercanos dado que la dirección del viento es muy variado. Por las características climatológicas de la zona la estabilización superficial de los relaves se hará con los fragmentos ligeros de rocas, desmonte minero limpio o grava cubriendo en capas delgadas con tierra de desbroce que permita la re vegetación natural inducida.

Por último, para el cierre definitivo de las demás instalaciones se prevé que los suelos disturbados por el desmantelamiento y remoción de equipos, serán rehabilitados de la misma manera previa limpieza procurando obtener el perfil inicial.

4.9 Efectos de exposición del cianuro de corta duracion

La sustancia irrita fuertemente los ojos, la piel y el tracto respiratorio, puede causar efectos en respiración celular, dando lugar a convulsiones y pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte, se recomienda vigilancia médica.

El método más ampliamente usado para reducir el cianuro libre y la concentración de cianuro, involucra el uso del cloro e hipoclorito de calcio, $\text{Ca}(\text{OCI})_2$, aproximadamente una libra de hipoclorito oxida una libra de cianuro, el cloro es suministrado como una solución de hipoclorito.

CONCLUSIONES

1. Existe una mayor recuperación de oro mediante el proceso de cianuración, pero sensible a la mineralogía del mineral.
2. Los parámetros optimizados a 0.25% de CN, densidad 1380 g/cm³ en el presente estudio para minerales oxidados y sulfuros y relaves, son una base sólida para el inicio de otras operaciones que tengan una mineralización similar. La recuperación de oro mediante el proceso de cianuración alcanza al 92.23 %.
3. La práctica metalúrgica por método CIP es el más usado y tecnológicamente ambiental evitando contaminación al medio ambiente en la mediana minería.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar Revoredo Juan Francisco (2000) *Preparación Mecánica de Minerales*.
Editorial UNI.
- Ammen C.W. (1984) *Recovery and Refining of Precious Metals* Publicado por
Van Nostrand Reinhold, New York.
- Betejtin (1977) *Curso de Mineralogía*. Tercera edición, Editorial Mir, Moscú.
- Bray John L. (1988) *Metalurgia extractiva de los metales no Ferrosos*", 2da.
Edición, Editorial Blume.
- Barrios G., (1992) *Importancia del control de molienda en minerales auríferos*.
Taller de metalurgia extractiva. TEPSUP, Lima
- Contreras Castro, David (1967) *Experimentación de Minerales de Oro y Plata
por el Proceso de Cianuración*. Segunda Edición. Pág. 1 – 2.
- Cole J.A., Janhunem W.J. y Lenz J.C. (1995) *Santa Fe Pacific Golds First
Pressure Oxidation Circuit, Year one at lone tree*. Presentation at the
SME Annual Meeting – Denver Colorado.
- Dana Edward S., Ford William E. (1981) *Tratado de Mineralogía*, 8va. Edición –
1981, Editorial Continental México S.A., México, Págs. 496-506.
- Doung Halbe, File (1988) *The Roze of copper sulphate in pyrita flotation*.
Mineral Engineering. Vol. 1 N° 3 - Great Britain.
- Fidel Sergio Misare (1993) *Metalurgia del Oro*. Primera edición Volumen I.
- Ministerio de Energía y Minas (2002) *Operaciones Unitarias*. Editorial
CONCYTEC 2002. República del Perú.
- Sigmund L.Smith. (2006) *Cyanidation of Gold and Silver Ores And Laboratory
Instructions*. Volumen I San Diego California.