

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



PUNO – PERU

2013

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

**“PROCESO DE LIXIVIACIÓN DINÁMICA DE MINERALES AURÍFEROS DE
BAJA LEY EN SMRL. SAN JUAN CIEN DE CABANILLA –PUNO”****TESIS**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Severo VILCA TAYPE

Presentado a la Coordinación de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano como requisito para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


M.Sc. ALBERTO MAQUERA GIL

PRIMER MIEMBRO


M.Sc. HÉCTOR HERRERA CÓRDOVA

SEGUNDO MIEMBRO


ING. YUDY YAKELIN PINO HINOJOSA

DIRECTOR


M.Sc. FERNANDO BERNEDO COLCA

ASESOR


M.Sc. ESTEBAN REY CHÁVEZ GUTIÉRREZ

AREA: Metalurgia extractiva

TEMA: Hidrometalurgia

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Señor Director de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Señores Catedráticos, Miembros del Jurado Calificador.

Señores miembros del jurado calificador, que las observaciones hechas basadas en vuestras conocimientos, experiencias han sido en beneficio mío y someto a vuestra comprensión y aceptación del presente trabajo.

De conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos vigente en nuestra casa de estudios, pongo a vuestra respetable consideración el presente Tesis titulado **“Proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla – Puno”**. Con lo cual pretendo optar el Título Profesional de Ingeniero Metalurgista.

El presente Tesis consta de seis Capítulos los que describen ampliamente la importancia, una evaluación de todos los procesos del proyecto y ha sido desarrollada a base experimental descriptiva del proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley.

El presente trabajo esta descrito en términos técnicos bastante sencillo de tal modo que puede constituirse como un manual muy práctico para estudiantes y profesionales de Ingeniería Metalúrgica que tengan interés en esta actividad.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a DIOS que me dio la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Con mucho cariño principalmente a mis padres Fortunato Rolando y Juliana que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón. A mis hermanas(os) Matilde, Carmen, Ana, Reyna, Henry y Ronald gracias por todo el apoyo incondicional y mis hermanos políticos Fredy, Oliver, Wilson, Yovana. A mis sobrinas(o) Shakira, Erick, Sandra, Shumara, Zummy.

Los quiero con todo mi corazón y este trabajo me llevó un año hacerlo es para ustedes, aquí está lo que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a la meta y el compartir momentos agradables, momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mis padres, que con su demostración de unos padres ejemplares me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a todos los Ingenieros Docentes quienes con sus enseñanzas y conocimientos me ayudaron a forjar, pulir mi conocimiento y mi carácter como ingeniero.

Un agradecimiento especial al Ingeniero M. Sc. Alberto Maquera Gil y a mi asesor de tesis M. Sc. Esteban Rey Chávez Gutiérrez por sus consejos, experiencias y apoyo incondicional.

A la Sociedad Minera Realizada Limitada "San Juan Cien" por su confianza y permitirme esa oportunidad de realizar este trabajo. Especialmente a los Sres. Andrés Checca Vilcazan y Oscar Machaca Checca. Gracias a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

PORTADA

PRESENTACIÓN

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

	Pág.
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	3
1.4 Planteamiento del problema	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Hipótesis	6
1.6.1 Hipótesis general	6
1.6.2 Hipótesis específicos	6
1.7 Ubicación	7
1.8 Accesibilidad	7
1.9 Clima	8
1.10 Recurso Hídrico	9
1.11 Ecosistema terrestre	9
1.12 Geología	10
1.13 Descripción de la mina	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Características y propiedades del oro.....	14
2.1.1	Oro.....	14
2.1.2	Propiedades físicas.....	14
2.1.3	Propiedades químicas.....	15
2.1.4	Propiedades mecánicas.....	15
2.1.5	Minerales auríferos.....	16
2.1.6	Mineralogía de menas auríferos.....	17
2.1.7	Yacimientos auríferos.....	18
2.1.8	Tratamientos de minerales refractarios.....	19
2.1.9	Principales aplicaciones del oro.....	20
2.2	Fundamentos hidrometalúrgicos.....	22
2.2.1	Sistema de lixiviación.....	22
2.2.2	Métodos de lixiviación.....	23
2.2.3	Proceso de cianuración convencional.....	23
2.2.4	Química de la cianuración de oro.....	25
2.2.5	Termodinámica de la cianuración.....	25
2.2.6	Mecanismo electroquímico.....	27
2.2.7	Cinética de disolución del oro.....	28
2.3	Definición del cianuro.....	28
2.3.1	¿Qué es el cianuro?.....	28
2.3.2	Producción.....	29
2.3.3	Cianuro en soluciones.....	29
2.4	Fundamento de la lixiviación dinámica.....	32

2.4.1	Definición	32
2.4.2	Variables que afectan a la disolución	33
2.4.3	Agitación mecánica	43
2.4.4	Agitación neumática	49
2.4.5	Agitación mixta	53
2.4.6	Lixiviación a presión (en autoclave)	54
2.4.7	Patrones de flujos	55
2.4.8	Prevención de los remolinos	55
2.4.9	Cianuración convencional por agitación	56
2.4.10	Conminución	56
2.4.11	Etapa de chancado	56
2.4.12	Etapa de molienda	57
2.4.13	Concentración gravimétrica	58
2.4.14	Flotación	59
2.4.15	Circuito de espesamiento	62
2.4.16	Ciclo de cianuración	63
2.4.17	Adsorción con carbón activado CIP	64
2.4.18	Precipitación con polvo de zinc	66

CAPÍTULO III
INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1	Tamaño de la planta de cianuración por agitación	68
3.2	Ubicación de la planta	68
3.3	Dimensionamiento de maquinarias y equipos para el proceso	70
3.4	Balance metalúrgico	71

3.5	Estudio económico del proyecto	71
3.6	Costos de inversión	71
3.6.1	Costos de maquinarias y equipos proyectados	72
3.6.2	Costo de obra civil.....	73
3.6.3	Costos de operación para planta de 900TM/mes.....	73

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

4.1	Metodología descriptiva experimental.....	78
4.2	Toma de muestra.....	78
4.3	Preparación mecánica de la muestra para el análisis.....	79
4.4	Análisis químico del mineral.....	81
4.5	Análisis granulométrico.....	82
4.6	Equipos, materiales, reactivos de la cianuración dinámica.....	83
4.7	Pruebas experimentales de la cianuración	84
4.8	Determinación de los variables óptimos para la cianuración.....	86

CAPÍTULO V

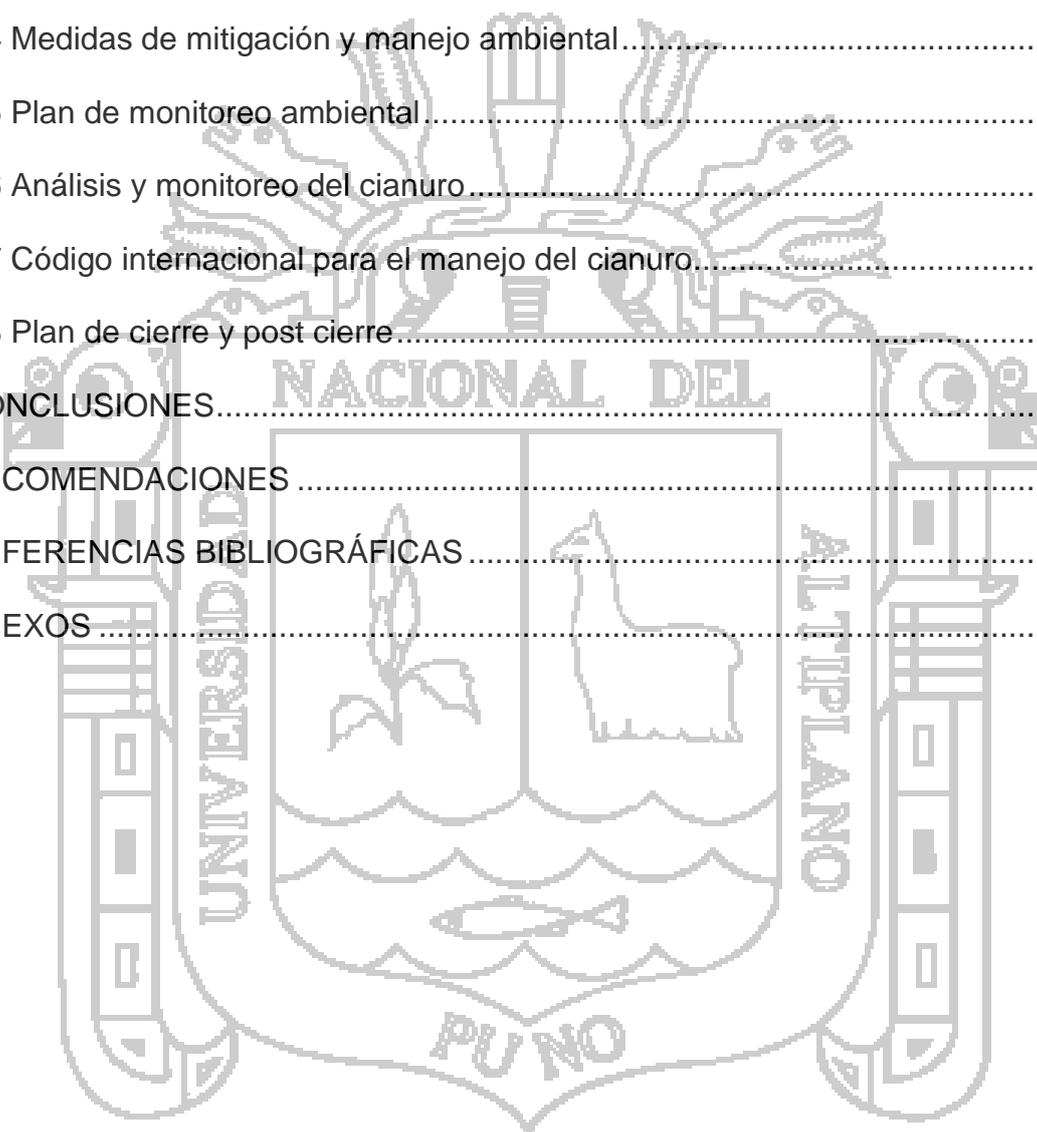
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados obtenidos.....	88
5.1.1	Análisis químico del mineral.....	88
5.1.2	Análisis granulométrico de la muestra.....	91
5.1.3	Pruebas experimentales de la cianuración.....	92
5.1.4	Determinación de los variables para la cianuración.....	92

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1 Impacto sobre el ambiente físico.	94
6.2 Impacto ambiental sobre el ambiente biológico.....	96
6.3 Impacto en el ambiente socio económico y cultural	97
6.4 Medidas de mitigación y manejo ambiental.....	98
6.5 Plan de monitoreo ambiental.....	101
6.6 Análisis y monitoreo del cianuro.....	103
6.7 Código internacional para el manejo del cianuro.....	103
6.8 Plan de cierre y post cierre.....	107
CONCLUSIONES.....	108
RECOMENDACIONES	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS.....	112



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Coordenadas UTM PSAD 56	7
Tabla N° 2. Distancia y periodo de viaje.....	8
Tabla N° 3. Propiedades físicas y químicas del oro	15
Tabla N° 4. Principales uso del oro	21
Tabla N° 5. Esquema de disolución del oro en medio cianuro	27
Tabla N° 6. Contenido de HCN en función del pH.....	30
Tabla N° 7. Concentración de equilibrio del oxígeno disuelto (del aire conteniendo 21% de O ₂) en agua varias temperaturas altitudes (valores en mg/l).....	38
Tabla N° 8. Máquinas y equipos de la planta.....	70
Tabla N° 9. Balance metalúrgico.....	71
Tabla N° 10. Costo de maquinarias y equipos proyectados.....	72
Tabla N° 11. Obra civil para construir la planta de cianuración por agitación	73
Tabla N° 12. Reactivos e insumos	74
Tabla N° 13. Personal requerido para la operación planta.....	75
Tabla N° 14. Potencia nominal de maquinarias y equipos.....	76
Tabla N° 15. Condiciones de operación en la prueba de cianuración.....	84
Tabla N° 16. Composición química del mineral.....	88
Tabla N° 17. Pureza o quilate del oro.....	90
Tabla N° 18. Resultados del análisis granulométrico del mineral 1600 g.....	91
Tabla N° 19. Balance Metalúrgico de los procesos de agitación.....	92
Tabla N° 20. Consumo de NaCN y CaO para los mejores procesos de agitación	93
Tabla N° 21. Leyenda de FLOW SHEET de cianuración por agitación.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1. Diagrama de equilibrio potencial Eh-pH para el sistema Au-H ₂ O-CN ⁻ 25 °C	26
Fig. N° 2. Potencial de las reacciones parciales de disolución del oro	28
Fig. N° 3. Equilibrio HCN/CN ⁻ en función del pH	30
Fig. N° 4. Diagrama Eh-pH para el sistema CN ⁻ H ₂ O a 25 °C	32
Fig. N° 5. Ejemplo del efecto de la concentración de cianuro en la recuperación del oro	36
Fig. N° 6. Tanque de lixiviación que utiliza para agregar mayor agitación el uso de pro pelar e impulsores axiales	43
Fig. N° 7. A flujo axial, B flujo radial	45
Fig. N° 8. Agitadores de variedades típicas de hélices	46
Fig. N° 9. Agitadores de paleta y variedades de paletas	47
Fig. N° 10. Agitadores de turbina típicos	48
Fig. N° 11. Tanque Pachuca con columna centro completa	50
Fig. N° 12. Tanque Pachuca de elevación con aire libre	51
Fig. N° 13. Lixiviación a presión en autoclave	55
Fig. N° 14. Celda de flotación	62
Fig. N° 15. Espesador empleado en la planta concentradora	63
Fig. N° 16. Esquema del circuito de cianuración-adsorción	64
Fig. N° 17. Cuarteo de mineral por el método de cono	81
Fig. N° 18. Imagen de microscopio electrónico de barrido del mineral y su composición química	89
Fig. N° 19. Imagen de microscopio electrónico de barrido del oro(18 quilates) ..	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Rendimiento de procesos de agitación	92
Gráfico N° 2. Consumo de NaCN, CaO para los mejores procesos de recuperación de oro	93

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama N° 1. Diagrama de flujo de amalgamación de minerales auríferos de “San Juan Cien”	12
Diagrama N° 2. Diagrama de flujo combinado de lixiviación dinámica de minerales auro argentíferos (Au-Ag) de “San Juan Cien”	13
Diagrama N° 3. Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en la etapa de trabajo descriptiva experimental	78
Diagrama N° 4. Diagrama de flujo por equipo usado para la preparación mecánica del mineral muestra	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Fotografías de los equipos usados y muestra	112
Anexo N° 2. La minería y el cianuro	114
Anexo N° 3. Planos de ubicación del proyecto	126
Anexo N° 4. Leyenda y su Flow Sheet de cianuración por agitación propuesta .	127

NOMENCLATURA

pH	Variación de hidrogeno
hr	Hora
tn	Tonelada
μ	Micras
μm	Micrómetro
MEB	Microscopio electrónico de barrido
%	Porcentaje
L/S	Relación liquido-sólido
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
ppm	Partes por millón
g/mol	Gramo por mol
g/cm^3	Gramo por centímetro cúbico
Kcal/g-átomo	Kilo calorías por gramo-átomo
Kcal/ $^{\circ}\text{K ms}$	Kilo calorías por kelvin metro segundo
kg/m^2	Kilogramo por metro cuadrado
cal/g	Calorías por gramo
Eh	Equilibrio potencial o diagrama potencial
E°	Potencial estándar de la reacción electroquímica
V	Voltio
CIP	Lixiviación con carbón en pulpa
DCC	Decantación en contra corriente
kg	Kilogramo
g	Gramo
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
L/s	Litros por segundo
mm	Milímetro
mmHg	Milímetro de mercurio
km/hr	Kilometro por hora
rpm	Revolución por minuto
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
atm	Atmosfera
min	Minuto
m ³	Metro cúbico
kPa	Kilo pascal
M	Molar
H	Altura
ft, (')	Pie
" , pulg	Pulgada
gpm	Galones por minuto
gal/hr	Galón por hora
HP	Caballo de fuerza
kW	Kilo watt
φ	Diámetro

RESUMEN

En el presente proyecto se estudia el comportamiento del mineral aurífero de baja ley de la mina "San Juan Cien" a ensayos de cianuración empleado por agitación neumática y mecánica, con el propósito de impulsar al posterior instalación y montaje de planta beneficio de cianuración convencional por agitación de oro sulfurado pirítico para lo cual se hará un pre tratamiento y determinar los parámetros óptimos que requiere este tipo de mineral. Se realizan las operaciones previas como la preparación mecánica del material la estabilidad del proceso, además en cada control se toma una alícuota de lixiviado para determinar cinética de cianuración mediante análisis químico por el método espectrofotómetro de adsorción atómica y/o microscopio electrónico de barrido. En la cianuración por agitación (N_1 , M_2) se evaluó la variable concentración de cianuro de sodio inicial a los valores de 0.75 g/L de NaCN y 1.25 g/L de NaCN, a una granulometría de 325-400 malla, dilución S/L: 1/3, pH: 10.5, a temperatura ambiente. Los resultados fueron los siguientes: con una recuperación de oro 86.6% (N_1), 69.1% (M_2) y el consumo de reactivos: 7.88 kg/tn (N_1) de NaCN, 7.13 kg/tn (M_2) de NaCN y 8.5 kg/tn (N_1) de CaO, 8.5 kg/tn (M_2) de CaO. Se realizó el diseño de diagrama de flujo combinado de lixiviación dinámica de minerales oro argentíferos de "San Juan Cien", FLOW SHEET y siendo el proceso de tratamiento apropiado para el mineral la cianuración convencional por agitación, ya que la granulometría muy fina es apropiada para este tipo de cianuración.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El oro es un metal conocido desde la antigüedad, 40.000 años a. de J.C. El interés suscitado por este elemento está basado, en principio, en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Este elemento siempre ha jugado un papel primordial en el desarrollo de la Humanidad, puesto que ha sido un elemento determinante en casi toda la evolución económica del hombre y de los países a lo largo de la Historia.

El cianuro de sodio es el medio lixivante utilizado por excelencia, debido a su alta extracción, fácil obtención y bajo costo. Sin embargo, en las últimas décadas se han realizado una serie de investigaciones con las cuales se buscan nuevos procesos de lixiviación, que sean capaces de competir con la cianuración, utilizando reactivos menos contaminantes y que a su vez sean regenerables. Una de las principales variantes de lixiviación es la lixiviación por agitación.

El Perú siendo un país eminentemente minero y con reservas de oro y plata en cantidades apreciables que van desde relaves hasta minerales de buen grado.

Uno de los métodos de disolución de oro más utilizado en el mundo, es la cianuración por agitación, debido a la elevada velocidad de reacción, las altas

recuperaciones de oro obtenidas y porque funciona para una amplia variedad de minerales.

El presente trabajo tiene como objetivo general aplicar el proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno, para lograr recuperaciones óptimas.

Con un objetivo específico Determinar la composición química a través de microscopio electrónico de barrido del mineral aurífero de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno. Está ubicada en el Distrito de Cabanilla, provincia de Lampa, y departamento de Puno.

Cianuración por agitación mecánica o bien a la agitación neumática para mantener la pulpa en suspensión, hasta que se logra la disolución completa, siendo el tiempo de contacto de los sólidos con la solución del orden es de horas.

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: Consumo de cianuro por tonelada de mineral tratado; Consumo de cal por tonelada de mineral tratado; óptimo grado de molienda; Tiempo de contacto, en la lixiviación por agitación; Concentración más conveniente del cianuro en la solución; Dilución más adecuada de la pulpa, parámetros que serán estudiados en la presente tesis.

1.2 ANTECEDENTES

En el siglo XVI Arícola dio una primera descripción de métodos para el minado y recuperación de minerales de oro. Muchos de los métodos descritos permanecieron en práctica durante años y algunas de las técnicas de separación

gravimétrica que actualmente se usan están basadas en principios similares. El mercurio fue usado para la amalgamación por los españoles. Un giro significativo se dio a fines del siglo XIX con la introducción de la cianuración para la recuperación de oro y plata.

La lixiviación de menas de oro empleando el proceso de cianuración fue patentada en Inglaterra en el año de 1887 (Habashi, 1992). Este proceso se basa en la propiedad de los iones cianuro de formar complejos muy estables con el oro, la plata y otros metales. Las soluciones débilmente alcalinas disuelven preferentemente el oro y la plata presentes en un mineral.

Comúnmente aplicada a un amplio rango de tipos de mineral, la lixiviación por agitación ha sido utilizada por más de 200 años aproximadamente. La lixiviación por lo general se realiza en tanques de acero. Con esta técnica se obtienen las recuperaciones más altas en tiempos más cortos. Se utiliza en los minerales de leyes más altas, para minerales con tamaños inferiores a 150 μm .

1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica desde el punto de vista tecnológico porque se trata de imponer una nueva tecnología, que va a permitir elevar el rendimiento en la recuperación de metales en el proceso de cianuración.

El mineral fresco de baja ley en la empresa es propicio para realizar la lixiviación en la misma empresa que es dueño de las concesiones mineras en pro de una mejor rentabilidad, por lo que se propone el proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno, realizando operaciones controladas, en beneficio del medio ambiente.

El presente trabajo como una primera etapa en la meta de desarrollar un modelo que sustente el escalamiento del proceso de lixiviación tomando una muestra de mineral fresco a partir de estos datos de laboratorio de análisis químico (microscopio electrónico de barrido) para obtener composición mineralógica y permita marcar las políticas de operación.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mina "San Juan Cien", aledaños en la actividad minera vienen trabajando como mineros legalizados en pequeña escala. Los procesos y tratamiento de minerales auríferos existentes actualmente en la zona minera conllevan a sistemas poco eficientes con porcentajes de recuperación de oro no mayores al 60%, con una planta piloto discontinuo de Procesamiento: Molienda, Concentración Gravimétrica, Amalgamación y Retorta. Explotación de Filones Auríferos. Produce oro refogado que se vende sin establecer sus leyes mediante ensayos metalúrgicos la condición de pago es "afirme". Finalmente los relaves, son acumulados para su posterior tratamiento. Se les presenta un problema a solucionar de minerales auríferas de baja ley, de 20 a 30 cm de potencia de veta y su recuperación del oro. Hoy se tiene a disposición de un método por el proceso de lixiviación dinámica.

En cuanto a las consecuencias sociales, los mineros han atravesado serios problemas en salud, ya que los trabajadores están a propenso a hospitalizarse en cualquier instante del año, debido a lesiones sufridas en el trabajo, también de efectos de salud adversa, debido a contactos peligrosos en el lugar de trabajo.

En el Perú, la mayoría de problemas que provoca la minería son de tipo ambiental y social. En cuanto al primero, se encuentra la contaminación y, en el segundo, la salud de los ciudadanos y el rol del Ministerio de Energía Minas.

Desarrollo de la tecnología metalúrgica esta irremediamente atado a la existencia de problemas en la industria de gran a pequeña minería a nivel nacional, se puede generalizar el concepto de que el desarrollo tecnológico siempre implica un aumento de rentabilidad económica.

En la actualidad el precio de oro a nivel mundial se encuentra a un costo muy elevado que ayuda a recuperar fácilmente el costo de inversión. Por lo tanto les permite invertir en el mejoramiento, ampliación, instalación y diseños de plantas con métodos recientes. Para sus procesos metalúrgicos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar el proceso de lixiviación dinámica para minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno, para lograr recuperaciones óptimas.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición química a través de microscopio electrónico de barrido del mineral aurífero de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno.

- Determinar los parámetros óptimos de lixiviación dinámica para minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno.
- Diseñar un diagrama de flujo de lixiviación para minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla –Puno.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL

Aplicando el proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla– Puno, se tendrán recuperaciones óptimas.

1.6.2 HIPOTESIS ESPECÍFICOS

- Determinando la composición química a través de microscopio electrónico de barrido del mineral aurífero de baja ley se tendrán resultados óptimos.
- Determinando los parámetros óptimos de lixiviación dinámica para minerales auríferos de baja ley se tendrán recuperaciones óptimas.
- Diseñando un diagrama de flujo de lixiviación dinámica para minerales auríferos de baja ley se tendrán recuperaciones óptimas.

1.7 UBICACIÓN

El Proyecto Metalúrgico – Minero “San Juan Cien” se encuentra ubicado en el paraje de Quebrada Cumini Huaycco, distrito de Cabanilla, provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altura promedio de 4000-4200 m.s.n.m. y de acuerdo al mapa geológico del Perú.

Tabla N°1. Coordenadas UTM - PSAD 56

Vértice	Norte	Este
1	8' 280,499.05	349,545.82
2	8' 281,536.57	351,820.36
3	8' 280,845.11	352,135.77
4	8' 279,807.59	349,861.23

Fuente: Sector Energía Minas INGEMMET

Plano de ubicación geográfica - política, plano topográfico (ver en el anexo N° 3), leyenda y su FLOW SHEET de cianuración por agitación propuesta del proyecto “san juan cien”. Para su mayor información ver en el anexo N° 4.

1.8 ACCESIBILIDAD

El acceso a la mina “San Juan Cien” se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Juliaca por dos rutas según la siguiente tabla de distancias ver tabla N° 2.

Tabla N° 2. Distancia y periodo de viaje

RUTA	Origen	Destino	km	Tipo de Vía	Tiempo(hr)
A	Juliaca	Cabanillas	35	Carretera Asfaltada	1/2
	Cabanillas	San Juan Cien	20	Carretera Afirmada Trocha Carrozable	1
B	Juliaca	Lampa	32	Carretera Asfaltada	1/2
	Lampa	San Juan Cien	18	Carretera Afirmada Trocha Carrozable	1

Fuente: Elaboración propia

1.9 CLIMA

El clima típico y dominante en el área de estudio es Frígido, seco y lluviosos diferenciados. La precipitación asciende a 663.9 mm/año, la temperatura media anual es de 7.9°C; las temperaturas máximas oscilan entre 14.8 a 18.2 °C y las mínimas entre 4.7 a -6.0 °C, la estación de lluvias se presenta habitualmente desde octubre hasta abril y la estación seca desde mayo hasta septiembre, en la cual suelen presentarse precipitaciones sólidas, nieve o nevadas, que en muchos casos imposibilitan las labores y trabajo de campo. Los valores de Humedad relativa máximos son de 81.98% y mínimos de 50.07%. Las precipitaciones en su mayor grado se dan en los meses de enero-marzo alcanzado valores de hasta 170 mmH₂O y las mínimas de julio a octubre con 20 mmH₂O.

Se reporta una velocidad promedio del viento de 3.48 km/hr. La mayor velocidad fue de 6.84 km/hr en el mes de Agosto y la menor velocidad fue de 1.8 km/hr se registrado en el mes de febrero y mayo.

1.10 RECURSO HÍDRICO

En el área del proyecto las corrientes de agua son escasas, limitándose solo a pequeños cuerpos de agua manantiales (hay 4 manantiales) permanentes y que solo en la temporada de lluvias, éstas se convierten en riachuelos. Por tanto las aguas que discurren al riachuelo quebrada cumini huaycco. Manantiales que presentan mayor caudal, a 2 - 5 L/s y del cual se hace la captación de agua para uso doméstico y para el proyecto.

1.11 ECOSISTEMA TERRESTRE

La zona del proyecto presenta una orografía complicada para la vida silvestre, predominando laderas empinadas de base rocosa y de suelo edáficos de poco espesor y de baja profundidad, formando extensiones de terrenos para el pastoreo de ganado lanar y auquénidos, no apto para la agricultura.

❖ **Flora.**- La vegetación existente en el entorno de la ubicación de la mina está constituida principalmente por gramíneas, entre ellos conocidos como “paja” o “ichu”, asimismo se ha podido observar en terrenos planos y húmedos y en laderas rocosas, plantas que forman alfombras cerradas y duras, que pueden cubrir grandes extensiones, conocida como “Jurcacca”. Las gramíneas son aprovechadas en la alimentación de los animales mediante el pastoreo y el “ichu” o “paja” es utilizado por el hombre, para la elaboración de adobes o construcción de sus chozas o viviendas.

❖ **Fauna.**- La fauna nativa en la zona del proyecto es muy escasa, entre ellos las vizcachas, refugiados en las rocas tal como corresponde a un biotopo rocoso.

1.12 GEOLOGÍA

a) Geología Regional.- La zona en estudio está ubicada en una secuencia volcánica que aflora extensamente en la región altiplánica del sur del Perú, en la unidad morfo estructural comprendida entre las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental y Cordillera Oriental, región adyacente a la sub unidad Puna altiplánica Occidental, al Oeste del lago Titicaca.

La Cordillera Occidental, en la franja que enmarca la región altiplánica está constituida por una cadena de montañas de dirección NO - SE, con picos que están sobre los 6.000 m.s.n.m, siendo el más alto el nevado de Ampato (Arequipa) con 6.318 m.s.n.m.

Estas montañas están unidas a la altiplanicie conocida como Puna, región de pampas, colinas y mesetas altas de extensos afloramientos volcánicos que va desde los 4.500 a 5.000 m.s.n.m.

Según Laubacher, la construcción del altiplano moderno empezó a partir del Plioceno, por el juego en forma normal de fallas antiguas, la depresión así formada se rellenó con depósitos recientes: lacustres volcánicos, aluviales y flubioglaciales.

Los ríos de esta parte de la divisoria de la Cordillera Occidental drenan a la cuenca del lago Titicaca, recorriendo grandes extensiones y formando en su trayecto muchos meandros.

b) Geología Local.- El área donde se localiza el proyecto se encuentra ubicado en una zona de altas mesetas y colinas, que conforman el paraje de Quebrada Cumini Huaycco, donde se destacan los cerros Quinsacana de 4.400 m.s.n.m. y el Cacamcorane de 4.200 m.s.n.m., los cuales forman parte del

contrafuerte de los nevado Cuachico que se desprenden de la Cordillera Occidental.

En el área de estudio afloran rocas de origen sedimentario, conformadas generalmente por arena arcillosas de tonalidades ligeramente blanquecinas a oscuras. Las rocas existentes en el subsuelo conforman un heterogéneo conjunto de rocas sedimentarias metamórficas e ígneas.

La zona se encuentra conformada por un homogéneo conjunto de rocas sedimentarias, metamórficas.

Las rocas sedimentarias están representadas por, areniscas, diatomitas, alternancia de sedimentos finos con material volcánico, etc. Las rocas metamórficas están representadas por cuarcitas.

1.13 DESCRIPCIÓN DE LA MINA

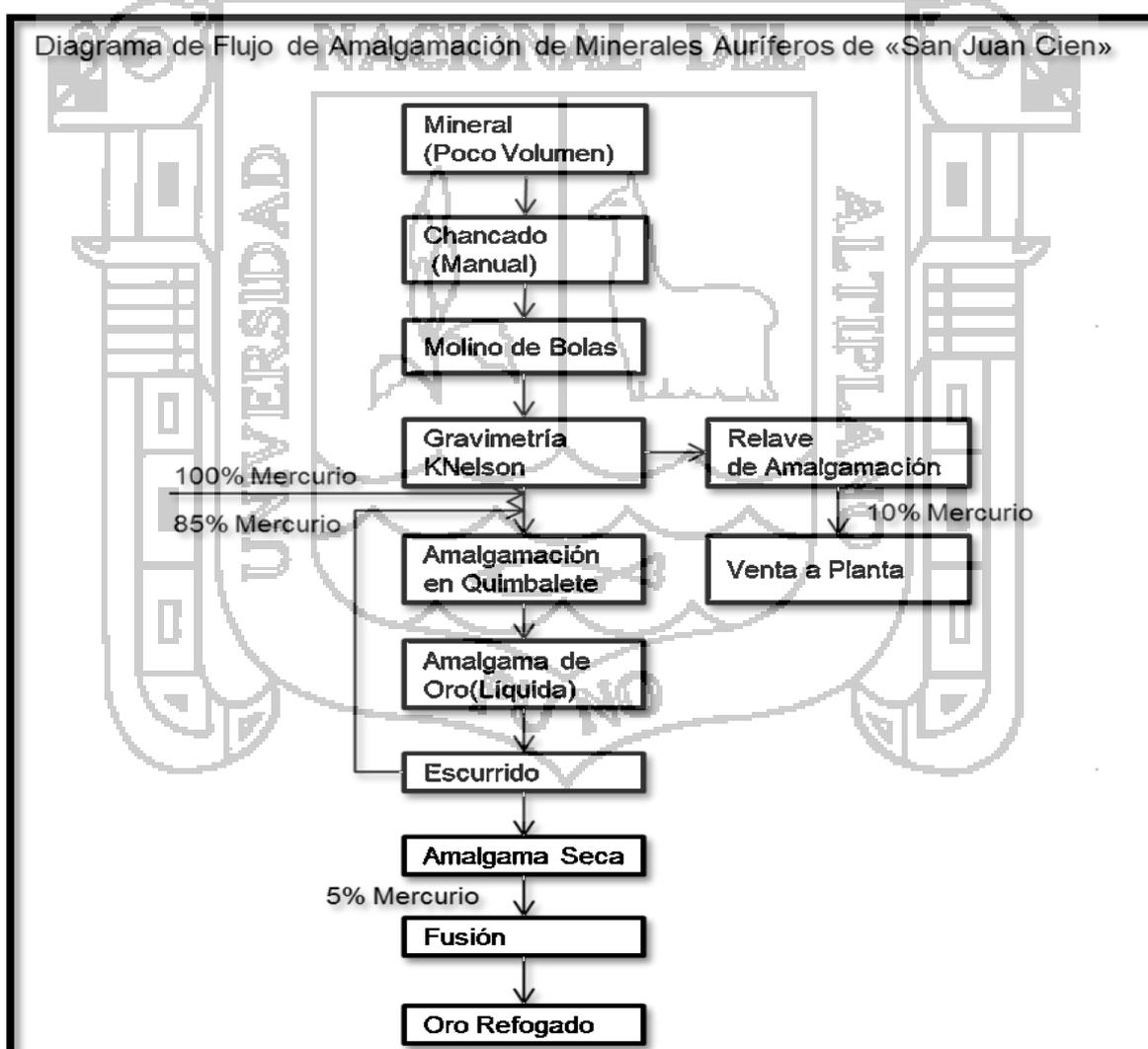
A. La mina “San Juan Cien” es un yacimiento aurífero cuya mineralización ocurre en estructuras de tipo relleno de fisuras (vetas o filones), con contenido variable de minerales de rubidio, niobio, wolframio, cobre, plata, manganeso, fierro y azufre. La mina está emplazada en un área donde predominan rocas volcánicas e intrusivas hipoabisales y sedimentario. La mineralogía es variada, encontrándose como minerales principales: oro libre, oro argentífero (electrum), calcopirita y como minerales de ganga: cuarzo, pirita, rodonita, rodocrosita y limonita.

El método de explotación en la mina “San Juan Cien”, es el de almacenamiento provisional y en algunos casos corte y relleno ascendente.

Las perforadoras, BOSCH para los avances horizontales y para los avances verticales. La rotura de mineral es de 1TM / Guardia, 2 TM / día, 60 TM / mes.

B. Procesamiento de Mineral Aurífero.- Los procesos y tratamiento de minerales auríferos existentes actualmente en la zona minera conllevan a sistemas poco eficientes con porcentajes de recuperación de oro no mayores al 60%, con una planta piloto discontinuo de Procesamiento: Molienda, Concentración Gravimétrica, Amalgamación y Retorta. Explotación de Filones Auríferos. Produce oro refogado que se vende sin establecer sus leyes mediante ensayos metalúrgicos la condición de pago es “afirme”. Se muestra en el diagrama N° 1.

Diagrama N° 1. Diagrama de flujo de amalgamación de minerales auríferos de “San Juan Cien”.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ORO

2.1.1 ORO

Latín (aurum = oro, aura = brillo). Es un metal amarillo brillante, en láminas muy delgadas es azul o verde, de raya amarillo dorado, en estado natural se denomina oro puro de 24 quilates es sumamente maleable, es demasiado blando para ser usado en joyería y acuñar moneda, por lo que se alea siempre para aumentar su dureza sobre todo su durabilidad tales fines con plata y cobre. Es utilizado por el ser humano desde hace miles de años y ha sido siempre un elemento en toda las civilizaciones, como material ornamental por su brillo, color permanente y como medida de valor.

2.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS

El oro es un metal maleable y dúctil, presenta varias tonalidades de color amarillo dependiendo de su pureza, no se corroe y no se empaña.

Tabla N°3. Propiedades físicas y químicas del oro

Nombre(Oro)	Valor/Unidad	Nombre	Valor/Unidad
Símbolo químico(Au)		Calor de fusión	16.3 cal/g
Color (Amarillo)		Dureza	2.5- 3 (Mohs)
Peso Atómico	197 g/mol	Radio atómico	1.46 Angstroms
Número Atómico	79	Radio iónico.	1.37 Angstroms
Estado de oxidación	1, 3	Potencial normal	1.498 voltios
Densidad Específica	19.3 g/cm ³	Resistencia Eléctrica	2.25 Ohm.
Punto de Fusión	1063 °C	Electronegatividad	2.4 Pauling
Punto de ebullición	2530 °C	Conductividad térmica	2.7x10 Kcal/°K ms
Calor de vaporización	81.08Kcal/g- átomo	Módulo de elasticidad	7.6-8.16 x10 ⁹ Kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 PROPIEDADES QUÍMICAS.

- El oro es fácilmente soluble en agua regia, que produce cloro nascente.
- El oro disuelve en ácido clorhídrico en presencia de sustancias orgánicas.
- El oro es disuelto por cloruros férricos u cúpricos.
- El oro es algo soluble en una solución de carbonato de sodio al 10%
- El oro es soluble en soluciones diluida de cianuro de sodio.

2.1.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

El oro es uno de los metales más dúctiles y se puede laminar hasta obtener hojas (panes de oro) de un espesor de 0.0001 mm, las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico. Se puede estirar en hilos finísimos, con un gramo se consigue un hilo de 2000 metros de longitud.

2.1.5 MINERALES AURÍFEROS

Aleaciones Naturales

- Oro argentífero (electrum) (Au, Ag)
- Oro cuprífero (cuproaururo) (Au, Cu)
- Oro platinífero (porpesita) (Au, Pd)
- Oro rodonífero (rodita) (Au, Rh)
- Oro irídico (Au, Ir)
- Oro platinífero (Au, Pt)
- Oro bismutífero (Au, Bi)
- Amalgama de oro (Au₂Hg₃)
- Maldonita (Au₂Bi)
- Auricúprico (AuCu₃)
- Paladio cupriáurico (Cu, Pd)₃Au₂

Sulfuros

- Uytembogarditita (Au₃AuS₂)

Teluros

- Calaverita (Au, Ag) Te₂
- Krennerita (Au, Ag) Te₂
- Montbrayita (Au, Sb)₂Te₃
- Muthmannita (Au, Ag) Te
- Silvanita (Au, Ag) Te₄
- Kostavita (Au, Cu) Te₄
- Nagyagita (Pb₅Au (Te, Sb)₄S₅)

Antimoniuros

- Aurostibita (AuSb₂)

Seleniuros

- Fischesserita $(\text{AuAg}_2\text{Se}_2)$

OCURRENCIAS DE ORO:

- ORO GRUESO, cuyo tamaño está entre 100 a 1000 micrones, por habersele encontrado en muchos puntos de la concentradora; sin embargo es el oro que se puede controlar con facilidad.
- ORO MICROSCOPICO, cuyo tamaño está entre 10 a 100 micrones, su tratamiento por flotación o cianuración ha alcanzado bastante éxito.
- ORO INVISIBLE, conocido en la metalurgia casera como oro volador tiene un tamaño por debajo de los 10 micrones, su recuperación depende mucho de la forma como se encuentra en la naturaleza. Aquellas partículas de oro invisible que están en rocas diseminadas.

2.1.6 MINERALOGÍA DE MENAS AURÍFEROS.

- Menas de óxidos simples que contienen partículas finas de oro nativo, ya sea en cuarzo o ganga de piedra caliza
- Menas de sulfuros simples en el que el oro está asociado con pequeñas cantidades de piritita y arsenopiritita.
- Material aluvial o placer. compuestos por areniscas y grava no consolidada, están en los cauces de los ríos.
- Menas complejas refractarias en las que las especies minerales que contienen oro no son solubles en el cianuro. Son de recuperación complicada porque requiere la destrucción de la matriz que los

encapsula, mediante la tostación, ataque ácido en autoclaves con bacterias.

- Menas de metales comunes, en el que los metales preciosos están como subproductos de un proceso metalúrgico como el cobre, plata y plomo.

2.1.7 YACIMIENTOS AURÍFEROS

Yacimientos primarios:

- Segregaciones magmáticas: Formadas por la consolidación de magmas fundidos. Estos depósitos se conocen también con el nombre de “orto magmáticos”.
- Depósitos pirometasomáticos: Formadas a temperaturas y presiones altas en las rocas invadidas, cerca de los contactos de intrusivos ígneos, por fluidos térmicos que emanan de las rocas invasoras.
- Depósitos hipertermales: Son filones y depósitos formados por fluidos térmicos a grandes profundidades a temperaturas y presiones altas.

Yacimientos secundarios:

- Depósitos geotermales: La mineralización se presenta como vetas, stockwork y diseminado, con pirita-arsenopirita-calcopirita, localmente con estibina
- Depósitos epitermales: Filones y depósitos formados por fluidos térmicos a poca profundidad, a temperaturas y presiones relativamente bajas.
- Depósitos sedimentarios: Formados por procesos de degradación. Estos se refieren a los placeres de oro. Las aguas termales contienen mayor cantidad de oro que otras aguas.

- Depósitos diseminados: Los yacimientos de este tipo han sido puestos en explotación recientemente. Consisten en diseminados de oro en granos muy finos en calizas, dolomitas carbonáceas y limosas. El oro que mayormente es sub-microscópico, está acompañado de sílice, pirita y otros sulfuros.
- Oro como Subproducto: Donde el oro es el constituyente menor común de la mena y puede ser recuperado durante los procesos de fundición y refinación de los concentrados de los metales base. A pesar de que el contenido de oro en estas menas es baja

2.1.8 TRATAMIENTOS DE MINERALES REFRACTARIOS

La recuperación de metales preciosos a partir de minerales refractarios ha recibido una importante atención debido a la disminución de los recursos de los depósitos fácilmente realizables y la naturaleza compleja de los minerales en la que el oro está encerrado en varios minerales sulfurados.

Al menos el 80% del oro no puede ser extraído por métodos tradicionales, una causa muy frecuente de refractariedad es la difusión en los minerales de sulfuro como arsenopirita y pirita. Minerales de este tipo requieren un proceso de pre tratamiento para alterar o destruir la matriz de sulfuros y hacer que el oro accesible para el cianuro y el oxígeno.

Algunas opciones de pre tratamientos son:

- Tostación
- Bio-oxidación
- Oxidación a Presión
- Molienda ultra fina

Los procesos de pre tratamiento de mineral refractarios pueden ser precedidos por la concentración (por lo general de la flotación de sulfuros). La tostación se utiliza para oxidar tanto el carbono orgánico y azufre a altas temperaturas con el aire y/ o el oxígeno. La bio-oxidación implica el uso de bacterias que promueven las reacciones de oxidación en un medio acuoso. La oxidación a Presión es un proceso acuoso para la eliminación del azufre se lleva a cabo en un autoclave continua, operando a altas presiones y temperaturas algo más elevadas. La molienda ultra fina se puede utilizar cuando la liberación de partículas de oro de la matriz mineral circundante es la característica básica del mineral refractario.

2.1.9 PRINCIPALES APLICACIONES DEL ORO

El oro puro es demasiado blando para ser usado normalmente y se endurece aliándolo con plata o cobre, con lo cual el oro podrá tener distintos tonos de color o matices. El oro y sus muchas aleaciones se emplean bastante en joyería, fabricación de monedas y como patrón monetario en muchos países. Debido a su buena conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, así como una buena combinación de propiedades químicas y físicas, se comenzó a emplear a finales del siglo XX como metal en la industria. Otras aplicaciones:

- El oro ejerce funciones críticas en ordenadores, comunicaciones, naves espaciales, motores de aviones a reacción, y otros muchos productos.
- Su alta conductividad eléctrica y resistencia a la oxidación ha permitido un amplio uso como capas delgadas electrodepositadas sobre la

superficie de conexiones eléctricas para asegurar una conexión buena, de baja resistencia.

- Como la plata, el oro puede formar fuertes amalgamas con el mercurio que a veces se emplea en empastes dentales.
- El oro coloidal (nanopartículas de oro) es una solución intensamente coloreada que se está estudiando en muchos laboratorios con fines médicos y biológicos. También es la forma empleada como pintura dorada en cerámicas.
- El ácido cloro áurico se emplea en fotografía.
- El isótopo de oro ^{198}Au , de una vida media de 2,7 días, se emplea en algunos tratamientos de cáncer y otras enfermedades.
- Se emplea como recubrimiento de materiales biológicos permitiendo ser visto a través del microscopio electrónico de barrido (SEM).
- Se emplea como recubrimiento protector en muchos satélites debido a que es un buen reflector de la luz infrarroja.

Tabla N°4. Principales usos del oro

Joyería	44.1 %
Electrónica	15.0 %
Odontología	14.6 %
Reservas	10.2 %
Otros usos	16.1 %
Total	100.00%

Fuente: Estudios Mineros del Perú S.A.C.

2.2 FUNDAMENTOS HIDROMETALÚRGICOS

2.2.1 SISTEMA DE LIXIVIACIÓN DE ORO

El proceso de disolución de oro ha sido extensamente investigado, utilizándose una gran variedad de solventes y agentes oxidante. De acuerdo al tipo de solvente utilizado, los sistemas de lixiviación de oro pueden clasificarse en alcalinos, neutros y ácidos. La lixiviación consiste en poner en contacto la mena deseada, ya sea previamente triturada y molida con el material directamente de la mina o cancha de acopio de mineral aurífero, con una solución que contiene un agente lixivante (NaCN) como un oxidante (O_2 , suministrado por el aire) que disuelve selectivamente el valor metálico contenido en la mena.

La lixiviación de oro en condiciones alcalinas puede realizarse utilizando una variedad de soluciones cianuradas diluidas tales como: NaCN , KCN , $\text{Ca}(\text{CN})_2$ y NH_4CN . El cianuro de sodio es el compuesto más utilizado por su costo, factibilidad y existencia en el mercado.

La disolución de oro en solución alcalina cianurada se lleva a cabo generalmente en condiciones de presión y temperatura ambiente. Sin embargo, cuando este proceso es efectuado bajo condiciones presurizadas, la velocidad de disolución y el poder disolvente del cianuro se eleva considerablemente. Esta técnica aunque parece atractiva, principalmente para minerales refractarios, requiere ser evaluada desde el punto de vista de su rentabilidad.

La disolución de oro en soluciones neutras como tiosulfato y bromocianuro, es más lenta que la disolución alcalina y requiere de una concentración de oxígeno y una temperatura relativamente alta.

Dentro de los sistemas ácidos, la tioúrea es un reactivo que ha sido bastante investigado en la disolución de minerales de oro. A diferencia de los demás reactivos ácidos, la tioúrea forma con el oro el complejo catiónico Au (I). Dentro de las ventajas que presenta la tioúrea como disolvente del oro, se destaca su elevada velocidad de disolución y baja toxicidad.

2.2.2 MÉTODOS DE LIXIVIACIÓN

En general, la práctica industrial de la lixiviación presenta diferentes sistemas de operación que se seleccionan de acuerdo a factores técnicos y económicos en el análisis de un proyecto.

Lixiviación de lechos fijos (Estática):

- Método de lixiviación in situ, in place
- Método de lixiviación en botaderos
- Método de lixiviación en pilas
- Método de lixiviación en batea

Lixiviación de pulpas (Dinámicas):

- Método de lixiviación por agitación (mecánica, neumático y mixta)
- Métodos de lixiviación a presión (en autoclave)

2.2.3 PROCESO DE CIANURACIÓN CONVENCIONAL

En una planta convencional de cianuración se usan los sistemas tradicionales de trituración y molienda para llevar el grado de molienda a un tamaño que indique las pruebas metalúrgicas. Esta molienda generalmente es de 80% a menos 150 mallas a 400 mallas, según las características del mineral. Debe advertirse si el mineral es libre de cianicidas y refractarios, que la disolución de los valores empieza en el circuito de la molienda

agregándose solución de cianuro. Una parte de los valores quedan disueltos en el circuito de molienda y posteriormente la pulpa ya molida que es bombeada a los hidrociclones para su clasificación los gruesos retornan a la molienda y los finos pasan a los tanques de agitación donde se le da a la pulpa un tiempo de tratamiento que varía de 24 a 72 horas para lograr una recuperación óptima.

En general cuando se trata de mineral aurífero, el tiempo de tratamiento varía de 10 a 24 horas y cuando se trata de minerales argentíferos, se necesitan hasta 72 horas.

Deben usarse un mínimo de tres tanques cilíndricos para evitar que algunas partículas hagan un corto camino o sea sin pasar por la agitación necesaria.

Tanto en los tanques Pachuca como en los tanques mecánicos, se inyectan aire para producir una buena aireación y lograr una mayor actividad del cianuro.

El proceso de la cianuración puede llevarse a efectos de dos maneras:

- **Lixiviación cianurada directa.**- Siendo un proceso ideal para menas no refractarias, para minerales en donde el oro se encuentra liberado o es fácilmente lixiviado, tales como disolución directa en una solución alcalina diluida de cianuro, concentración gravitacional y cianuración.
- **Lixiviación cianurada indirecta (concentración y cianuración).**- Para minerales refractarios en donde el oro se encuentra íntimamente asociado a otras especies mineralógicas o posee un tamaño microscópico. La concentración gravimétrica y/o por flotación del mineral problema; se hace con el fin de eliminar el material estéril, el

cianicida, el refractario y así lograr un concentrado de alto tenor de oro y plata.

2.2.4 QUÍMICA DE LA CIANURACIÓN DE ORO

El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una reacción directa disolvente preferencial sobre el oro contenido en el mineral.

Las principales teorías de la disolución de oro en la solución cianurada:

Teoría del oxígeno. (Elsner 1846), propone que el oxígeno es fundamental para que se produzca la disolución del oro en la solución de cianuro. La reacción química general del proceso de cianuración de oro es:



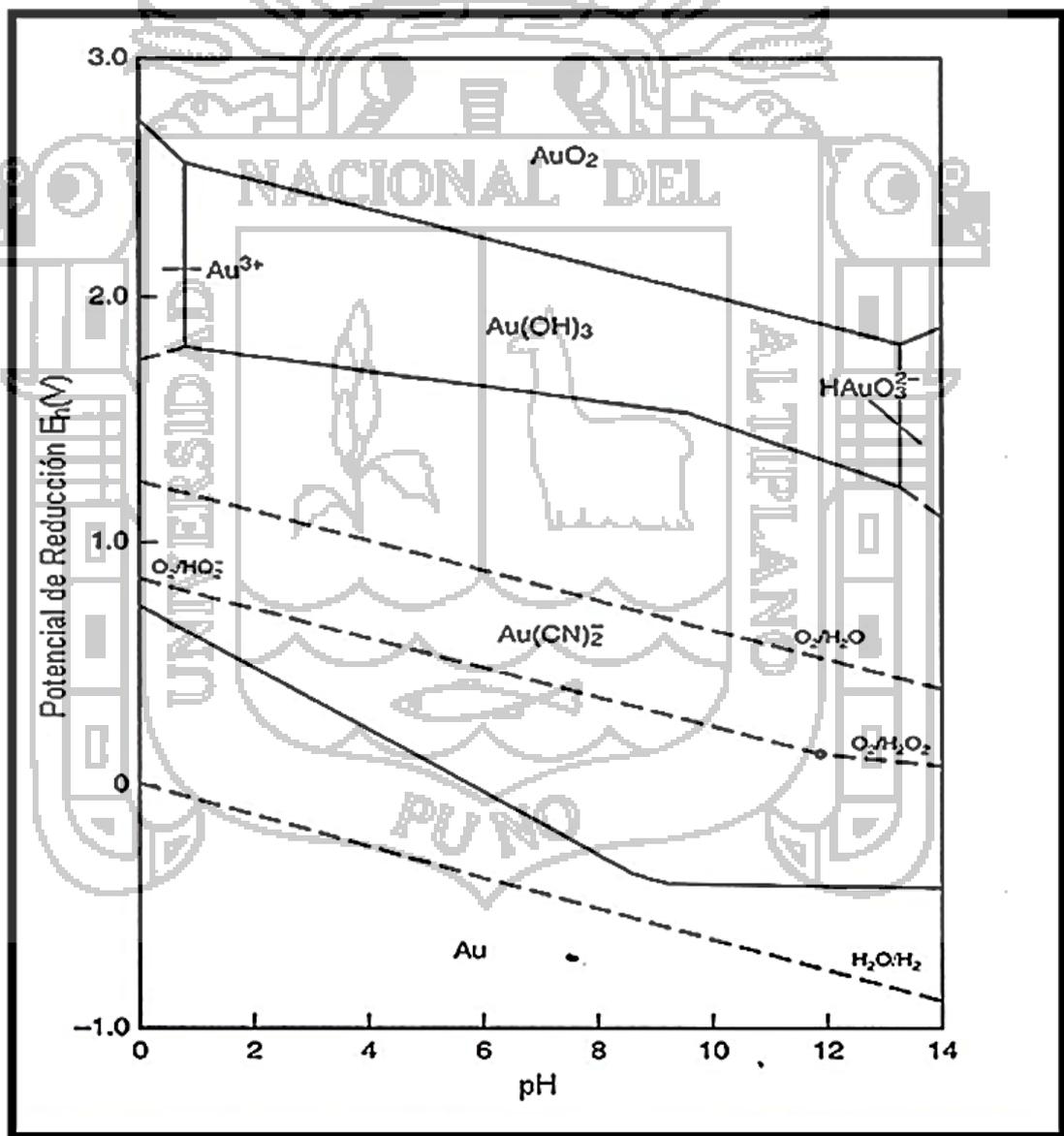
Teoría de la corrosión. (B. Boonstra 1946), propone que la disolución de oro en medio cianuro es similar a un proceso de corrosión metálica, en el que oxígeno disuelto se reduce a H_2O_2 y OH^-

2.2.5 TERMODINÁMICA DE LA CIANURACIÓN

Los diagramas de Pourbaix que relacionan el potencial de óxido-reducción (Eh) del metal con el pH del medio (ver Figura N° 1), muestran que compuestos como: Au (OH)_3 ; AuO_2 ; $(\text{HAuO}_3)^{-2}$ y también el ion $(\text{Au})^{+3}$ requieren elevados potenciales Redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. La lixiviación del oro metálico es, por lo tanto, muy difícil a causa de la gran estabilidad de este último. En el diagrama Au- H_2O -CN, no obstante la reacción: $\text{Au (CN)}_2 + e = \text{Au} + 2 \text{ CN}$ se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del agua. El campo de estabilidad del complejo aurocianuro está limitado por una recta que inicialmente muestra

una pendiente pronunciada (efecto de la hidrólisis del cianuro a pH menor a 9) tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico, hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por formación de aurocianuros. En el mismo gráfico se puede observar que los compuestos $\text{Au}(\text{OH})_3$, Au^{+3} y $(\text{HAuO}_3)^{-2}$ son reducidos por la introducción del cianuro.

Figura N° 1. Diagrama de equilibrio potencial Eh-pH para el sistema $\text{Au} - \text{H}_2\text{O} - \text{CN}^-$ a 25 °C



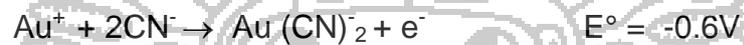
Fuente: Universidad Atacama de Chile (Hidrometalurgia)

2.2.6 MECANISMO ELÉCTRO QUÍMICO

La disolución del oro está regida por los principios electroquímicos de la corrosión, la explicación esquemática de este fenómeno se facilita mediante la tabla N° 5.

Es la resultante de dos 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:

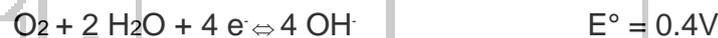
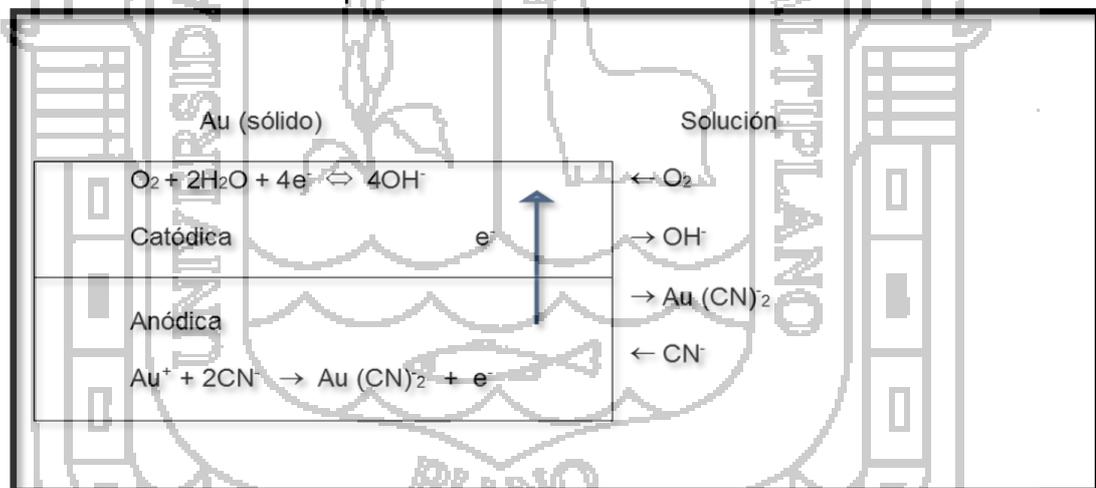


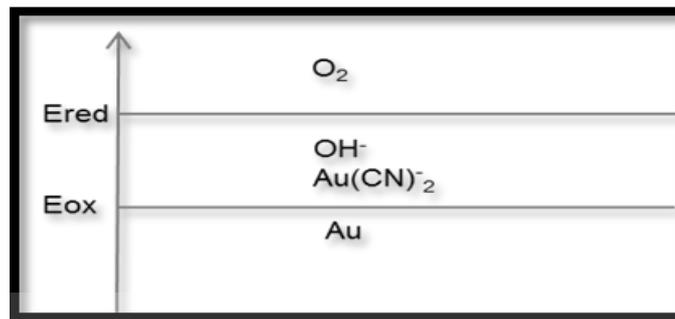
Tabla N° 5. Esquema de disolución del oro en medio cianuro



Fuente: Universidad Atacama de Chile (Hidrometalurgia)

Desde el punto de vista termodinámico, y tal como se representa en la figura N° 2, la reacción de disolución del oro se realizará si el potencial de reducción del oxígeno disuelto (E_{red}), es superior al potencial de oxidación del oro (E_{ox}). Así como se necesita que $E_{\text{red}} > E_{\text{ox}}$.

Figura N° 2: Potencial de las reacciones parciales de disolución del oro.



Fuente: Universidad Atacama de Chile (Hidrometalurgia)

2.2.7 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:

- Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interface sólido-líquido.
- Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
- Reacción en la superficie.
- Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
- Difusión de estos productos de la interface sólido-líquido a la solución.

2.3 DEFINICIÓN DEL CIANURO

2.3.1 ¿QUÉ ES EL CIANURO?

El cianuro es una molécula de carbono (C) y nitrógeno (N) que ocurre naturalmente y existió en la tierra antes del comienzo de la vida y fue uno de los compuestos fundamentales en su evolución. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso (HCN) y el cianuro sólido de sodio (NaCN) y de potasio (KCN).

Las operaciones mineras para la extracción de oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio, típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón).

2.3.2 PRODUCCIÓN

En el mundo hay tres productores primarios de cianuro sólido, líquido y gaseoso: Dupont y FMC Corporation en los Estados Unidos, ICI, en Inglaterra y Degussa Corporation, en Alemania. La producción anual mundial es de aproximadamente 1.4 millón de toneladas de HCN tal como se mencionó anteriormente el 20% de la producción total de HCN se usa para producir cianuro de sodio (NaCN) y el 80% restante se usa en numerosas actividades industriales, por ejemplo, en la producción de químicos.

2.3.3 CIANURO EN SOLUCIONES

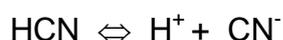
Las sales simples de cianuro (como el sodio y potasio) se disuelven y ionizan en agua para formar los respectivos cationes de metal e iones de cianuro libres, como se muestra en:



Los iones de cianuro se hidrolizan en agua para formar iones moleculares de cianuro de hidrógeno (HCN) e hidroxilo (OH⁻)



El cianuro de hidrógeno es un ácido débil que no se disocia por completo en agua de la siguiente manera:



La Figura N° 3. Muestra el alcance de dicha reacción de disociación en equilibrio como una función del pH. En una escala aproximada de pH 9.3, la mitad del cianuro total existe como cianuro de hidrógeno, y la otra mitad, como iones de cianuro libre.

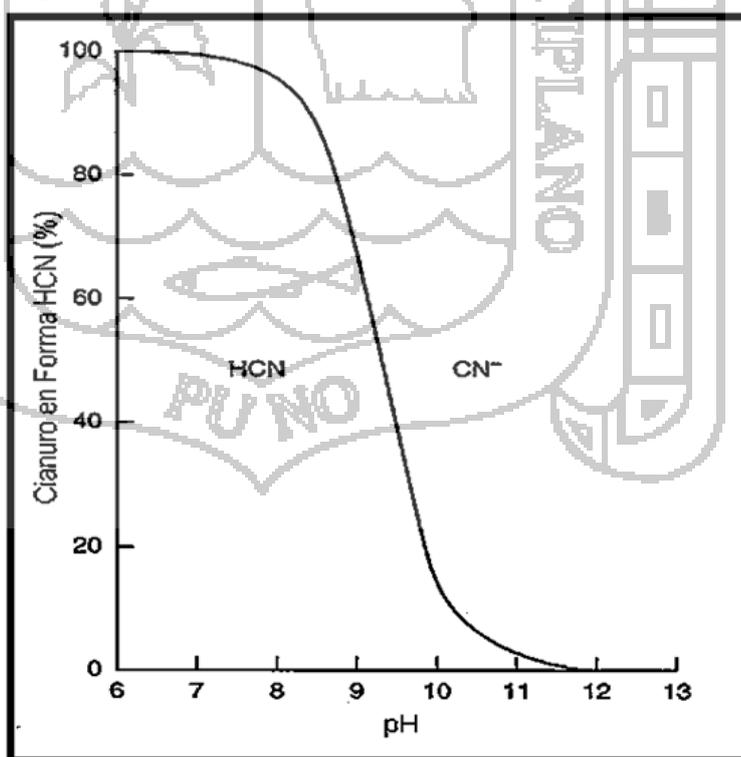
La proporción de ácido cianhídrico e ion cianuro presente en la solución de cianuración, depende del pH, de la forma siguiente se muestra en la tabla N°6.

Tabla N°6. Contenido de HCN en función del pH

pH	HCN (%)	CN ⁻ (%)
8.4	90	10
9.3	50	50
10.2	10	90

Fuente: F. Sergio Misari. Metalurgia del oro

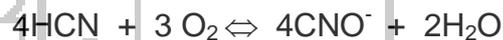
Figura N° 3. Equilibrio HCN/CN⁻ en función del pH



Fuente Universidad Atacama de Chile (Hidrometalurgia):

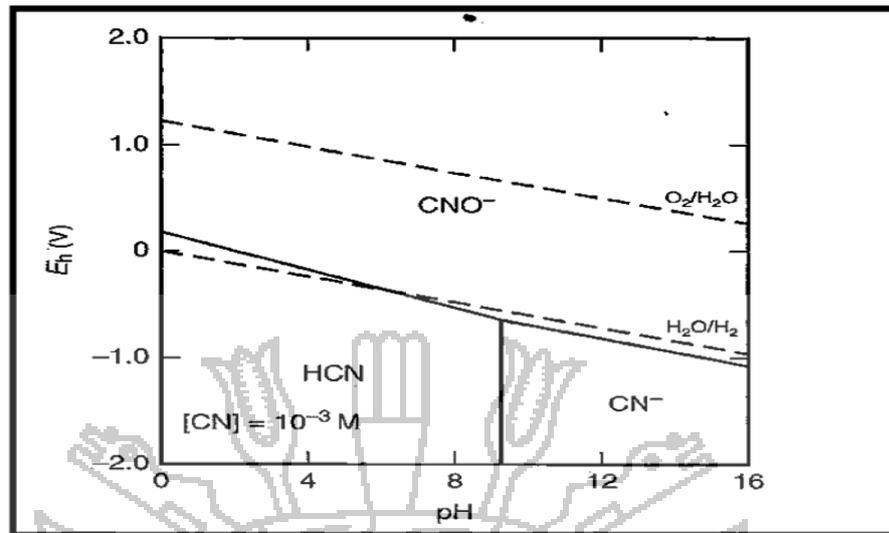
Esto es importante debido a que el cianuro de hidrógeno tiene una presión de vapor relativamente alta (100 kPa a 26 °C); por consiguiente, se volatiliza más fácil en la superficie líquida en condiciones ambientales, causando una pérdida de cianuro de la solución. Como resultado, la mayoría de sistemas de lixiviación con cianuro se operan a un pH que minimice la pérdida de cianuro, por lo general, por encima de pH 10.

Tanto el cianuro de hidrógeno como el cianuro libre pueden oxidarse a cianato en presencia del oxígeno, y bajo las condiciones de oxidación adecuadas, como se muestra en el diagrama Eh-pH para el sistema $\text{CN}^-/\text{H}_2\text{O}$, dado en la Figura 4. Las reacciones importantes son de la siguiente manera:



Dichas reacciones son indeseables durante la lixiviación ya que reducen la concentración de cianuro libre; además, las especies de cianato formadas no disuelven el oro.

La Figura N° 4. Indica que la oxidación del cianuro a cianato debe producirse espontáneamente con oxígeno; pero la reacción es muy baja y, en la práctica, se requieren agentes oxidantes fuertes como el ozono (O_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o ácido hipocloroso (HOCl) para que la reacción proceda a una velocidad considerable. En soluciones cianuradas aireadas, la reacción es extremadamente baja, pero puede acelerarse mediante la acción de la luz ultravioleta, el calor, las bacterias y catalizadores como el dióxido de titanio, óxido de zinc y sulfuro de cadmio.

Figura N° 4. Diagrama Eh-pH para el sistema $\text{CN}^-/\text{H}_2\text{O}$ a 25 °C

Fuente: Esteban Miguel y Domic Mihovilovic (Hidrometalurgia).

2.4 FUNDAMENTO DE LA LIXIVIACIÓN DINÁMICA

2.4.1 DEFINICIÓN

Comúnmente aplicada a un amplio rango de tipos de mineral, la lixiviación por agitación ha sido utilizada por más de 200 años aproximadamente. La lixiviación por lo general se realiza en tanques de acero. Con esta técnica se obtienen las recuperaciones más altas en tiempos más cortos. Se utiliza en los minerales de leyes más altas, para minerales con tamaños inferiores a 150 μm , existiendo operaciones que trabajan con minerales a 45 μm , para liberar sus valores y exponerlos a la solución lixiviante. La lixiviación por agitación puede realizarse de forma intermitente, continua, en contracorriente, o continuo en paralelo. Se clasifica en:

- Agitación mecánica
- Agitación neumática
- Agitación mixta

Sus ventajas comparativas con otros métodos de lixiviación son:

- Alta extracción del elemento a recuperar
- Tiempos cortos de procesamiento (horas)
- Proceso continuo que permite una gran automatización
- Facilidad para tratar menas alteradas o generadoras de finos

Sus desventajas son:

- Un mayor costo de inversión y operación
- Necesita una etapa de molienda y una etapa de separación sólido líquido (espesamiento y filtración).

2.4.2 VARIABLES QUE AFECTAN A LA DISOLUCIÓN

Los principales factores que se deben tener en cuenta en el proceso de cianuración son:

❖ **Tamaño de las partículas.**- La velocidad de disolución es directamente proporcional al área de la superficie expuesta del oro y otros factores particulares. Cuando se presenta oro grueso libre en la mena, la práctica generalizada es recuperarlo por medio de gravimetría (jigs), antes de la cianuración, ya que las partículas gruesas podrían no disolverse en el tiempo disponible de cianuración. Barsky al encontrar la velocidad máxima de disolución de oro es de $3.25 \text{ mg/cm}^2/\text{hr}$, una partícula de oro $44 \mu\text{m}$ de espesor se disuelve aproximadamente 13 horas, una partícula de oro $150 \mu\text{m}$ de espesor se disuelve aproximadamente 44 horas.

En general, la velocidad de disolución aumenta con el menor tamaño de partícula (mayor liberación de oro). El grado de molienda debe ser lo suficiente para ser lixiviado por agitación se muele de un tamaño que se

optimice la recuperación de oro y la disminución de costos, regularmente al 80% está entre 150 μm y 45 μm . Cada vez la lixiviación por agitación es considerada para materiales muy finamente molidos y ultra finos, los concentrados se han convertido de 7 a 10 μm para liberar el contenido de oro en matrices de minerales sulfurosos refractarios o no refractarios antes del procesamiento de lixiviación agitada.

❖ **Densidad de la pulpa.**- Usualmente, la lixiviación se realiza a densidades de pulpa de sólidos de entre 35% y 50%, dependiendo de la gravedad específica de los sólidos, el tamaño de la partícula y la presencia de minerales que afectan la viscosidad de la pulpa (arcilla). Los fenómenos de transferencia de masa se maximizan a densidades bajas de pulpa. El fenómeno de transporte de masa es maximizado en densidades bajas de la mezcla; sin embargo, el tiempo de retención de sólidos en un volumen fijo en el equipo de lixiviación incrementa el aumento de densidad.

❖ **pH.**- Alkali, requerido para el control y modificación del pH de la mezcla, siempre debe ser añadido antes de la adición de cianuro para proveer protección de alcalinidad, el cual previene la pérdida excesiva de cianuro por hidrólisis. El hidróxido de calcio (cal apagada, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) o hidróxido de sodio pueden utilizarse para la modificación de pH. El hidróxido de calcio es el más barato de los dos, pero es menos soluble y produce soluciones que son mucho más susceptibles a la precipitación con sal y formación de incrustaciones. La cal viva (CaO) es a veces utilizada debido a que es menos costosa que la cal apagada, pero es menos efectiva para la modificación del pH, generalmente se requieren concentraciones de hidróxido de calcio de 0.15 a 0.25 g/L para alcanzar el rango de pH deseado

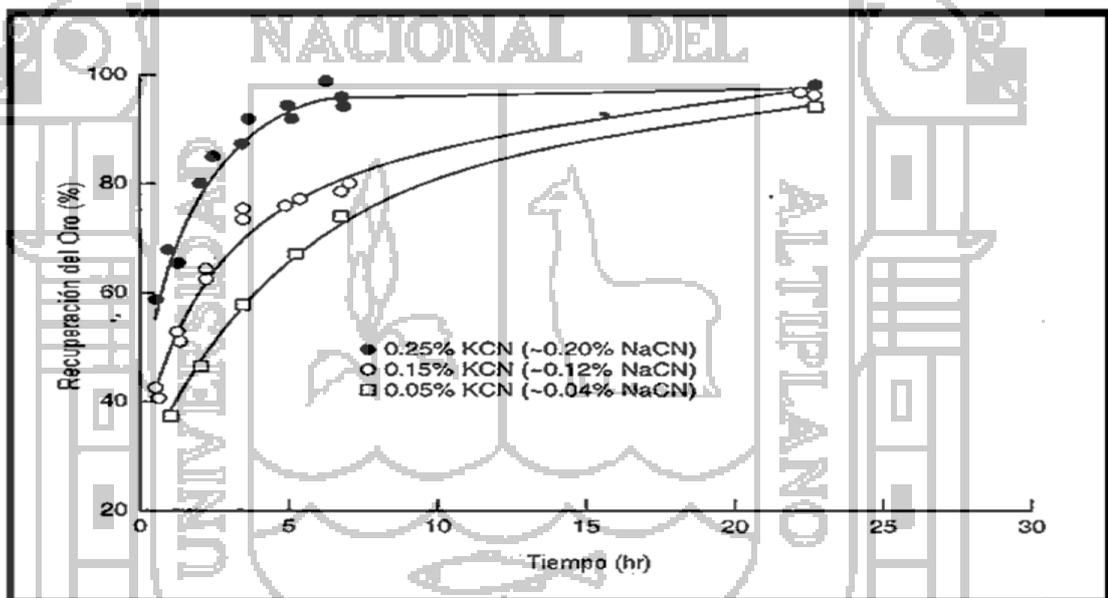
para la lixiviación (es decir, pH 10.5 a 11.5). Las funciones de hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis.
- Evitar pérdidas de cianuro por acción del CO_2 del aire.
- Descompone los bicarbonatos en el agua antes de ser usados en cianuración.
- Neutralizar los componentes ácidos tales como sales ferrosas, sales férricas y sulfato de magnesio en el agua antes de adicionar al circuito de cianuro.
- Neutralizar los compuestos ácidos que resultan a partir de la descomposición de varios minerales en solución de cianuro.
- Facilita a la sedimentación de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.

❖ **Concentración de la solución de cianuro.**- El cianuro puede ser añadido antes del circuito lixivante, esto es, durante la molienda, o en la primera etapa de lixiviación. Sub-secuente la adición de reactivos puede ser hecha más tarde dentro de las etapas de lixiviación para mantener el impulso de la concentración de cianuro para maximizar la disolución del oro. Se ha determinado, con valores experimentales y prácticos, que es adecuado tener una relación $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]$ cercana a 6, para tener la máxima velocidad de disolución de oro. En ausencia de minerales consumibles de cianuro en el oro o concentrado a lixiviar, se usan en la práctica los siguientes rangos de concentración de cianuro de 0.05 a 0.5 g/L NaCN, y entre 0.15 a 0.30 g/L NaCN. Regularmente el consumo de cianuro observado en los sistemas de lixiviación agitada para molienda libre de

minerales es de alrededor de 0.25 a 0.75 kg/tn, se puede observar en la (Figura N° 5). Que muestra que el incremento de las velocidades de disolución se alcanza a 0.25% de cianuro de potasio (KCN) (0.10% o 0.04 M de CN^-) comparado con las bajas concentraciones de NaCN. Las concentraciones de cianuro son monitoreadas normalmente mediante técnicas manuales de titulación o menos comúnmente, mediante analizadores online, basados en las técnicas de titulación, colorimétricas, potenciométricas y de electrodos de ion específico.

Figura N° 5. Ejemplo del efecto de la concentración de cianuro en la recuperación del oro



Fuente: Inter Met (Consultores Metalúrgicos)

❖ **Concentración de oxígeno.-** El oxígeno es un elemento indispensable en la disolución del oro y plata (aireación de la pulpa); siendo el aire atmosférico la fuente de oxígeno utilizado en el proceso de cianuración. Usualmente, la concentración de oxígeno disuelto puede ser mantenida, o incluso ligeramente por encima, de los niveles de saturación calculadas con aire (8.2 mg/L O_2 a 25 °C a nivel del mar). Ver la tabla N° 7.

La cantidad de oxígeno disuelto en soluciones diluidas de cianuro depende de cuatro parámetros:

- La altitud (presión barométrica)
- La temperatura de la solución
- El tipo e intensidad de agitación
- La fuerza o intensidad iónica de la solución

En algunos casos, particularmente cuando se tratan minerales que contienen minerales consumidores de oxígeno, se ha añadido oxígeno puro o peróxido de hidrógeno para incrementar las concentraciones de oxígeno disuelto por encima de aquellos alcanzables con sistemas de aspersion de aire simples. Las opiniones sobre el mejor método para introducir aire en los tanques de lixiviación varían, lo cual incluye la aspersion de aire:

- Al fondo del tanque (puntos de adición simples o múltiples)
- Por debajo del eje del agitador

El óptimo sistema de aspersion depende de la geometría de los tanques de lixiviación. Es común en el proceso convencional de cianuración, mantener una agitación que permita la aireación continua de la pulpa de lixiviación. En los diseños de tanques agitados, se han introducido accesorios que aumentan la aireación en el proceso. Se ha sugerido que las altas concentraciones de oxígeno disuelto >20 mg/L pueden causar la pasivación de la superficie del oro debido a la formación de capas de óxido.

Tabla N° 7. Concentración de equilibrio del oxígeno disuelto (del aire conteniendo 21% de O₂) en agua a varias temperaturas y altitudes (valores en mg/L).

Temperatura °C	Nivel del mar (760 mm Hg)	Altitud de 914m (680 mm de Hg)	Altitud de 1,828 (610 mm de Hg)
0	14.16	13.1	11.7
5	12.8	11.4	10.3
10	11.3	10.1	9.1
15	10.1	9.0	8.1
20	9.1	8.2	7.3
25	8.3	7.3	6.6
30	7.5	6.7	6.1
35	7.0	6.2	5.6
40	6.5	5.7	5.2
45	6.0	5.3	4.8
50	5.6	4.9	4.5
60	4.8	4.2	3.8
70	3.9	3.4	3.0
80	2.9	2.4	2.0
90	1.7	1.1	0.7
100	0	0	0

Fuente: Inter Met (Consultores Metalúrgicos)

- ❖ **Temperatura.-** La velocidad de disolución del oro se incrementa con la temperatura, hasta un máximo de 85 °C. Por otra parte, el contenido de oxígeno, de la solución podrá disminuir con incremento de temperatura. El alto costo asociado a dicho incremento en la temperatura raramente puede justificarse para el tratamiento de materiales de baja ley; frecuentemente se aplica temperatura ambiente.
- ❖ **Agitación.-** La disolución de oro frecuentemente es controlada por transferencia de masa bajo las condiciones normalmente aplicadas para la

lixiviación con cianuro; por lo tanto, la velocidad depende del espesor de la capa de difusión y características de la mezcla de la solución total. El aumento de la agitación incrementa la velocidad de disolución al máximo, por encima de los cuales, la agitación tiene un pequeño o nulo beneficio adicional. El espesor de la capa de difusión es minimizado mediante la maximización de los caudales de solución que pasan sobre las partículas sólidas. En los sistemas de lixiviación en pulpa esto se logra mediante la mezcla de sólidos y soluciones con aire o mediante la agitación mecánica.

❖ **Tiempo de Residencia.-** Los requerimientos del tiempo de residencia varían dependiendo de las características de lixiviación del material tratado y deben determinarse mediante una prueba de trabajo metalúrgica. Los tiempos de lixiviación aplicados en la práctica varían de unas horas a varios días. La lixiviación frecuentemente se realiza de 4 a 10 etapas, con el volumen de la etapa individual y el número de etapas dependiendo de la velocidad de flujo de la pulpa, tiempo de residencia requerido y eficiencia del equipo de mezcla utilizado.

❖ **Iones extraños.-** Los iones extraños en el proceso de cianuración pueden tener un efecto acelerante o retardante; las sales de plomo y las sales de mercurio en pequeñas cantidades aceleran la disolución. Aunque se ha encontrado que la adición de iones de plomo para obtener concentraciones de 1 a 10 mg/L es beneficiosa para cancelar el efecto inhibitor de los sulfuros. En exceso concentraciones de plomo de 20 mg/L retardan la disolución del oro.

❖ **Comportamiento de otros minerales en Soluciones Cianuradas Alcalinas.-** Además del oro, muchos otros metales y minerales también se

disuelven en soluciones cianuradas alcalinas diluidas. Estas reacciones pueden consumir cianuro y oxígeno, así como producir una serie de especies de solución que pueden reducir la eficiencia de la lixiviación del oro y posteriores procesos de recuperación.

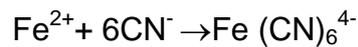
La mayoría de metales sulfuros se descomponen rápidamente en soluciones cianuradas alcalinas aireadas para formar iones metálicos, óxidos de metal, o complejos de metal cianuro y diversas especies que contienen azufre, incluyendo iones de tiocianato, sulfuro y tiosulfato.

Cuando la disolución de mineral sulfuro es significativa, muchos métodos de pre-tratamiento están disponibles para mejorar la respuestas a la cianuración. La pre-aireación puede considerarse para minerales que contienen los sulfuros más reactivos (pirrotita y marcasita).

Los minerales de hierro la hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), goethita (FeOOH), siderita (FeCO_3) y silicatos de hierro son virtualmente insolubles en soluciones cianuradas alcalinas. Algunos carbonatos de hierro, y otros minerales carbonatos complejos, se descomponen en soluciones de baja alcalinidad ($\text{pH} < 10$) en cierta medida; sin embargo, no reaccionan con valores altos de pH. Los minerales de óxido que no se disuelven producen una complejo cianurado Fe (II), $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, éste puede oxidarse más adelante a cianuro Fe (III), $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, dependiendo de las condiciones de la solución:

• **Formación de cianuro complejo.-** Algunos minerales de cobre, zinc, hierro, arsénico, antimonio y/o etc. que pueden estar asociados con mineral de oro se disuelven en soluciones de cianuro, disminuyendo su contenido.

Por ejemplo la pirrotita (FeS):



El número de coordinación complejo preferido es 6 y tanto los complejos Fe (II) como Fe (III) son muy estables en soluciones cianuradas alcalinas diluidas.

En el estado monovalente el cobre Cu (I), forma una serie de complejos solubles en el medio cianurado:

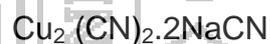


La cinética de disolución del oro no es afectada por la presencia de estos iones, siempre y cuando se mantenga un exceso de cianuro en el medio lixivante, siendo la relación:

$$\frac{\text{CN}_{\text{total en lixiviación}}}{\text{Cu}_{\text{total en medio}}} > 4$$

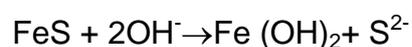
Si el mineral existen grandes cantidades de cobre que no pueden ser eliminados previo a la cianuración, se debe agregar cianuro en exceso.

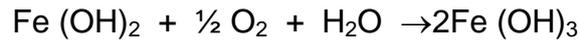
Cuando en el medio lixiviado existe más de 0.03% de cobre ocurre lo siguiente:



Este compuesto debe ser precipitado en la flotación selectiva. A nivel industrial es permitido que el contenido del cobre en el medio lixiviado no sobrepase a 0.03%, impidiéndose que la disolución del oro sea óptimo.

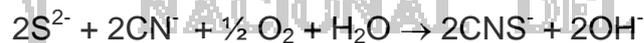
• **Consumo de oxígeno de la disolución:** La presencia de oxígeno influye, sobre la disolución puesto que su consumo la retarda. Así por ejemplo, pirrotita, ésta se descompone fácilmente formando hidróxido ferroso que posteriormente se oxida con el oxígeno a hidróxido férrico:





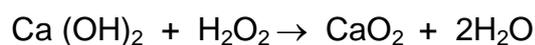
Si la mena contiene en una cantidad considerable de pirrotita, marcasita y pirita, se debe pre-airear la pulpa antes de agregar el cianuro, para formar a hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, evitando la formación de ferrocianuros $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ y ion sulfuro.

• **Formación de tiocianato:** Cuando la mena contiene minerales sulfurosos, el ion sulfuro liberado reacciona con cianuro y oxígeno para formar ion tiocianato (CNS^-), el cuál no disuelve al oro en medio alcalino pero si disuelve al oro en medio ácido en el rango de pH de 1-3 en altas temperaturas hasta 85 °C.



❖ **Formación de una película sobre la superficie del metal:**

- **Sulfuros:** Se conoce bien el efecto retardante del ion sulfuro en soluciones de cianuro. Puede observarse que una cantidad tan pequeña como a 5 ppm retarda la disolución, al formar una película de sulfuro-auroso insoluble sobre el oro, que protege de la disolución.
- **Peróxidos:** El ion calcio no tiene efecto con la disolución de oro. Sin embargo, a pH mayor de 11.5 la velocidad de disolución se reduce notablemente, resultante de la descomposición del hidróxido del mismo a la formación de peróxido de calcio (CaO_2 , formando por la reacción de calcio con peróxido acumulado en solución):



- **Xantatos:** La velocidad de disolución disminuye con la adición de una cantidad tan pequeña como 0.4ppm de xantato etílico de sodio (xantato AERO 325 de la Cyanamid). Esto se presenta cuando se

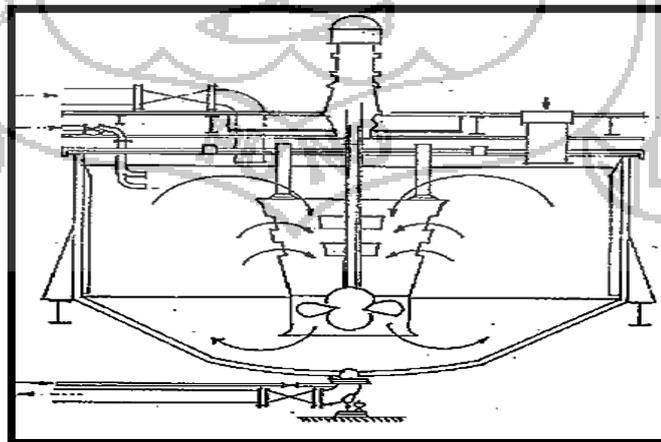
utiliza la flotación, antes del proceso de cianuración. Que da lugar a la aparición de una fina capa de xantato áurico insoluble que evita la disolución del oro.

2.4.3 AGITACIÓN MECÁNICA

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje suspendido y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido.

Esta circunstancia provoca la aparición de volúmenes de altas turbulencias en las zonas próximas al agitador mecánico, mientras que en el resto del volumen del tanque se provoca una corriente de circulación de la pulpa que entra y sale de la zona de alta turbulencia de forma continua. Se muestra en la figura N° 6.

Figura N° 6. Tanque de Lixiviación que utiliza para agregar mayor agitación el uso de pro pelas e impulsores axiales.



Fuente: Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche ITESCAM (Hidrometalurgia)

Ventajas:

- Mineral finamente molido a malla 100(150 μ m), aumentando el área expuesta.
- Preferentemente para minerales no porosos o que produzcan muchos finos y especies que requieren drásticas condiciones de operación.
- Las extracciones de metal precioso puede alcanzar el 95%

Desventajas:

- Se aplica a minerales de leyes altas, que justifican la molienda.
- El reactor es de un diseño extremadamente complicado y tiene partes móviles.
- Son más costosas para operar y tienen más problemas de operación y mantenimiento.

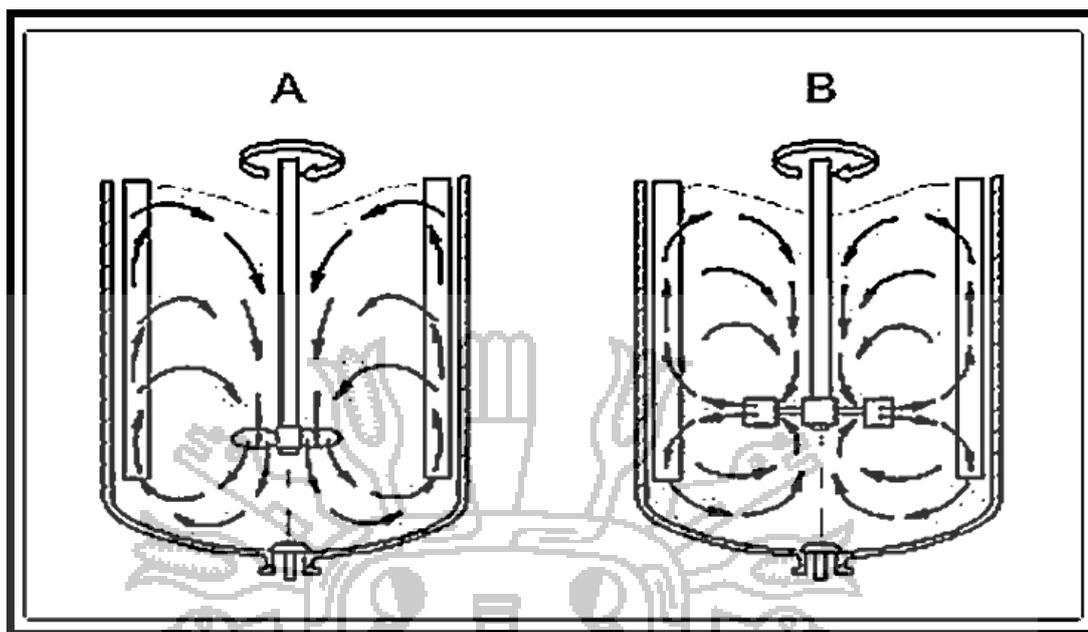
Objetivos:

- Dispersar los sólidos en una emulsión, formando una suspensión homogénea.
- Dispersar burbujas de gas en la solución.
- Acelerar velocidades de disolución, incrementando la transferencia de masa.

Clases de Agitadores:

- Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor que se denominan impulsores de flujo axial;
- Y aquellos que generan corrientes en dirección radial tangencial que se llaman impulsores de flujo radial. Se muestra en la (figura N° 7).

Figura N° 7. A flujo axial, B flujo radial



Fuente: Universidad Nacional de Colombia Medellín (Hidrometalurgia)

Tipos de agitadores son:

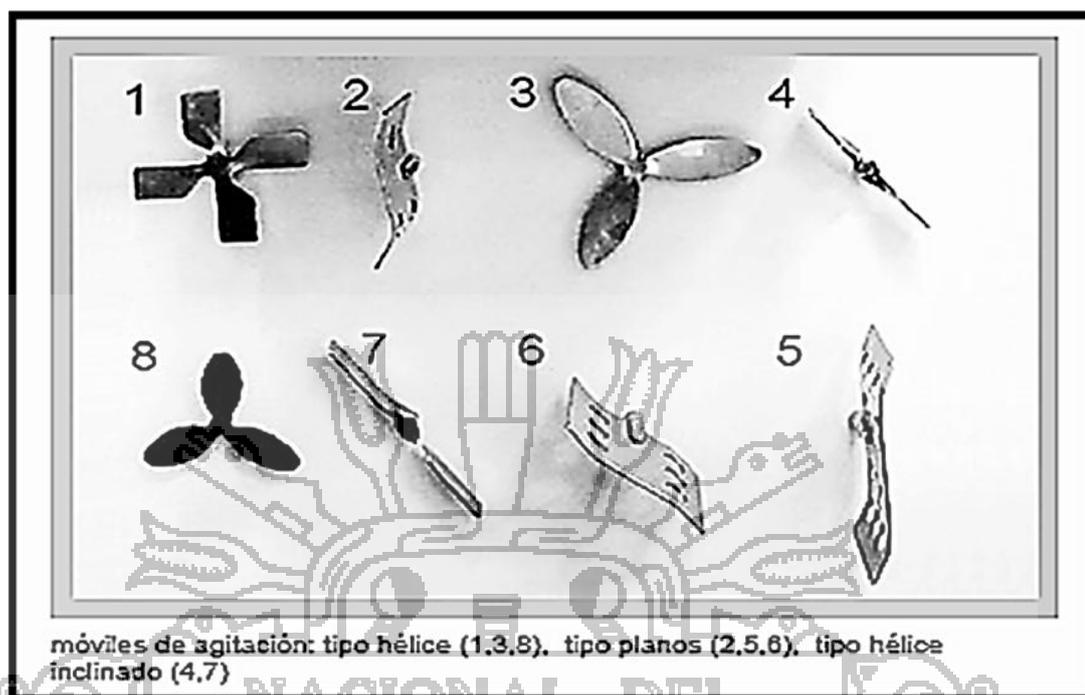
- Hélice (crea un flujo axial, giran de 400 a 800 rpm.)
- Paleta (crea un flujo tangencial y radial, giran 20 a 200 rpm.)
- Turbina (crea un flujo radial y axial 200 a 900 rpm)

a) AGITADORES DE HÉLICE

Poseen elementos impulsores de hojas cortas (corrientemente de menos de $\frac{1}{4}$ del diámetro del tanque); giran a gran velocidad (de 400 a varios millares de rpm). Las hélices no son muy efectivas si van montadas sobre ejes verticales situados en el centro del depósito de mezcla.

La velocidad de flujo creada, tanto la componente radial como la longitudinal contribuyen, generalmente, a la mezcla, pero no siempre la componente rotatoria. Ver la (figura N° 8).

Figura N° 8. Agitadores de variedades típicas de hélices



Fuente: Depto. De Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile

b) AGITADORES DE PALETAS

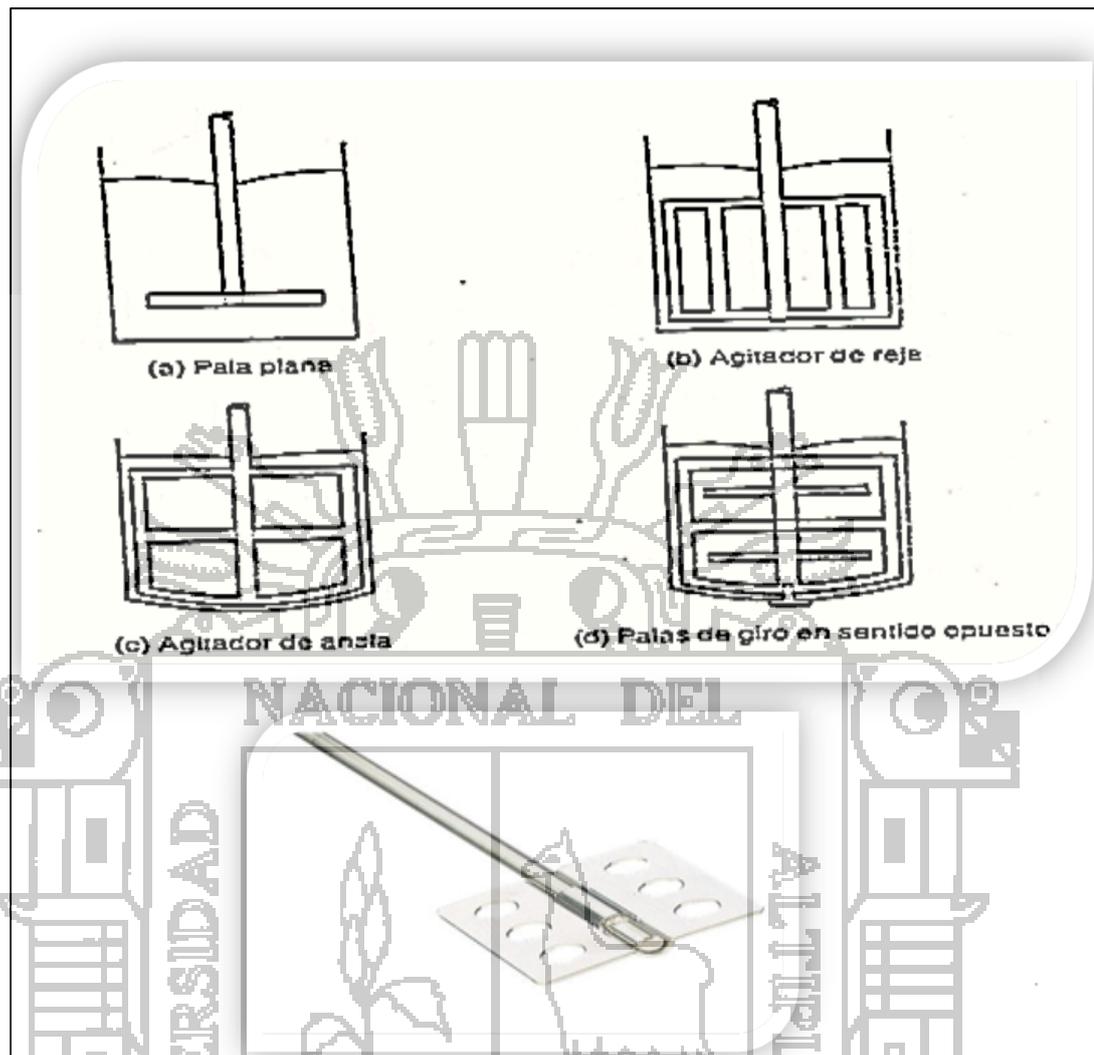
Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 200 rpm.

La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque.

La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud.

A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. Ver la figura N° 9.

Figura N° 9. Agitadores de paleta y variedades de paletas



Fuente: Universidad Nacional de Colombia Medellín (Hidrometalurgia)

C) AGITADORES DE TURBINA

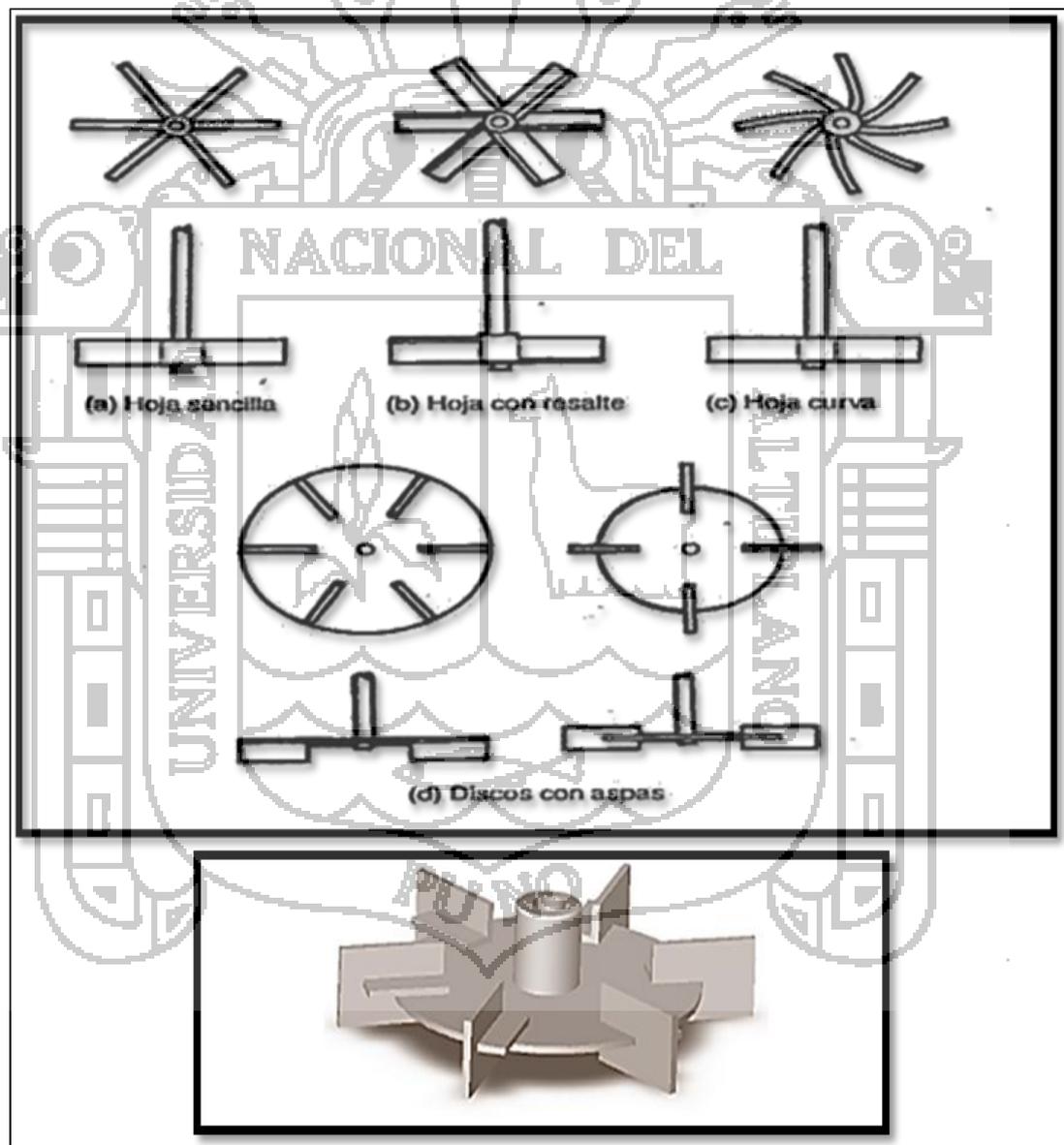
Están constituidos por un componente impulsor con más de cuatro hojas, montadas sobre el mismo elemento y fijadas a un eje rotatorio. Los agitadores de turbina se pueden utilizar para procesar numerosos materiales.

En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices

y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. Ver la figura N° 10.

Figura N° 10. Agitadores de turbinas típicos



Fuente: Depto. de Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile

2.4.4 AGITACIÓN NEUMÁTICA

Se realiza a escala comercial y se emplean los denominados elevadores de aire conocidos en nuestro medio como TANQUE PACHUCA en los cuales se establece una circulación ascendente- descendente de la pulpa lo que facilita la reacción de lixiviación.

Una técnica común es inyectar aire por el vértice del cono del tanque de manera que la pulpa suba a través del tubo hasta la salida y retorne hacia abajo por el espacio anular externo (tiene un ángulo de inclinación de 60°).

En la industria metalúrgica los reactores tipo Pachuca con tres fases se han empleado para el ataque y lixiviación de menas de oro, uranio, cobre, cinc y otros metales no férricos beneficiados por vía hidrometalurgia.

Ventajas:

- El reactor es de un diseño extremadamente simple y no tiene partes móviles.
- Son menos costosas para operar y tienen menos problemas de operación y mantenimiento en comparación con los tanques que se emplean agitación mecánica.
- Las extracciones de metal precioso puede alcanzar el 97%

Desventajas:

- Se requiere de una molienda más fina a malla 200-400(75 μ m - 38 μ m) para lograr una agitación adecuada.
- Se aplica a minerales de leyes altas, que justifican la molienda.

Objetivos:

- Que debe mantener una suspensión de sólidos en líquidos, que no permita al sólido a sedimentar acumulativamente.

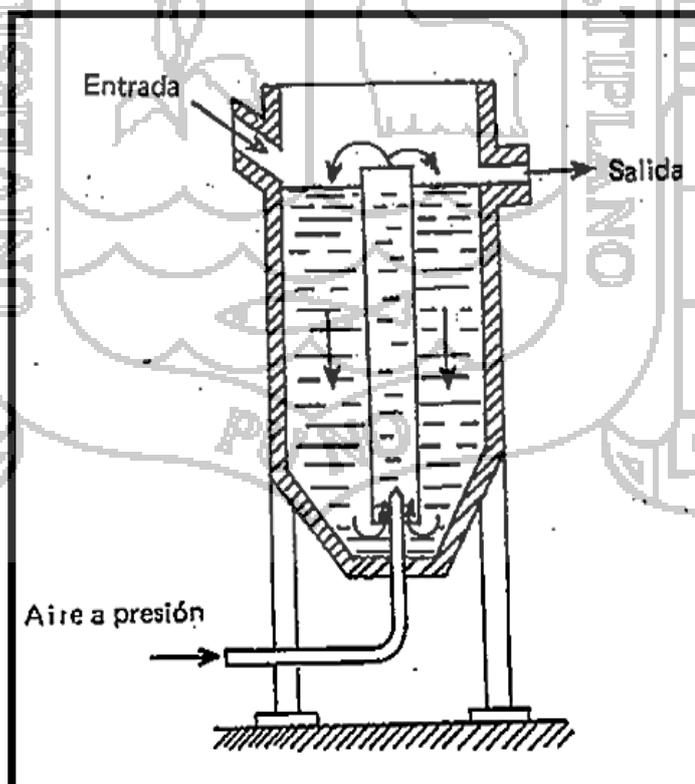
- Que la pulpa contenida en el tanque esté aireada.
- La limpieza de películas de partículas sólidas presentes para incrementar la transferencia de masa.

Los tanques Pachuca se clasifican dependiendo de la longitud y la posición del tubo del centro en tres tipos:

- Tanque Pachuca con columna en el centro completa
- Tanque Pachuca con columna parcial
- Tanque Pachuca de elevación con aire libre

Se muestra en la figura N° 11. Un tanque con agitador neumático denominado Tanque Pachuca donde el aire entra a 200 kPa directamente al mineral en forma de pulpa, la agitación acelera la disolución y el arrastre de iones metálicos.

Figura N° 11. Tanque Pachuca con columna centro completa

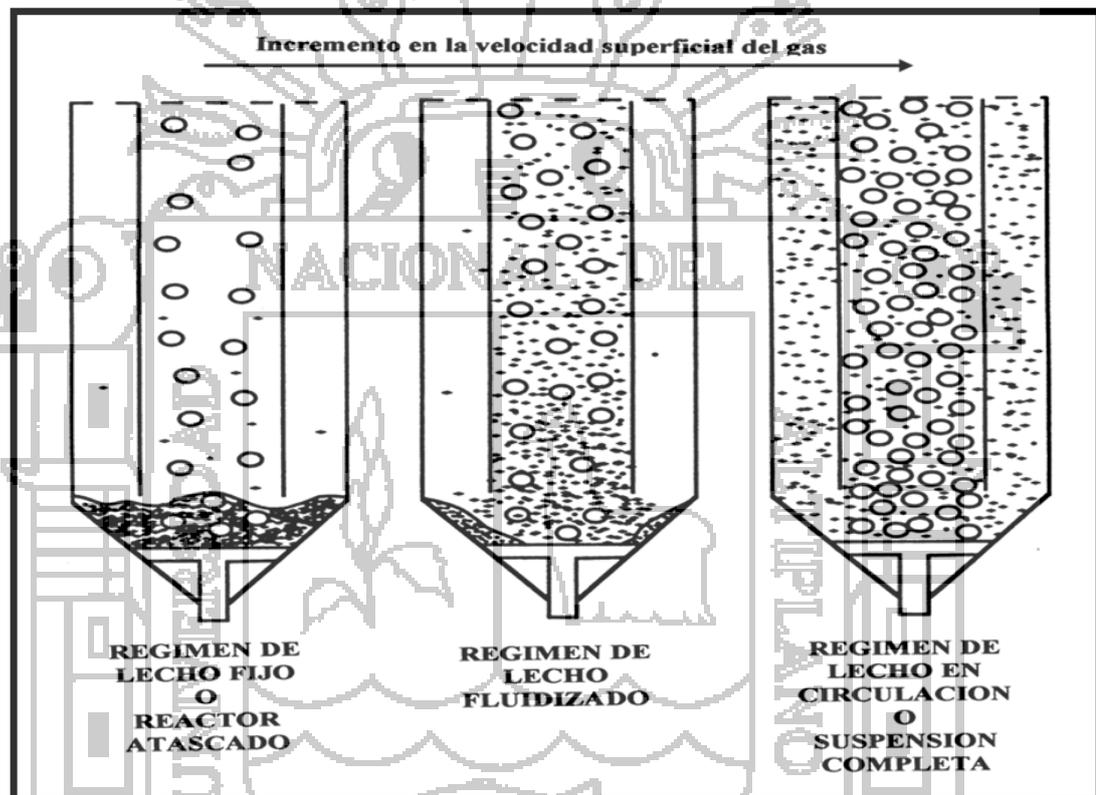


Fuente: Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche ITESCAM (Hidrometalurgia)

Así, se pueden identificar tres regímenes básicos de flujo en la agitación neumático trifásicos, que en orden creciente a la velocidad del gas inyectado se pueden clasificar de la siguiente forma ver la (figura N° 12).

Tanto los regímenes de lecho fijo como el de lecho fluidizado no son modos deseables de operar, dado que el óptimo contacto entre las tres fases se consigue cuando se alcanza el régimen de lecho circulante.

Figura N° 12. Tanque Pachuca de elevación con aire libre



Fuente: Dr. Díaz Martín (2002) de Universidad Complutense de Madrid.

➤ GRADO DE MEZCLA CON TRES FASES

Como ya se ha mencionado, la dispersión de una fase gaseosa sobre el seno de una fase líquida o pseudo – homogénea líquido – sólido provoca, en la zona central del reactor, una corriente ascendente de flujo con tres fases en el que la formación de burbujas gaseosas arrastra a la fase continua y conjunta líquido – sólido que posteriormente retorna por las zonas periféricas

del tanque. También se ha indicado anteriormente que en las zonas inmediatamente superiores a los dispositivos de inyección de gas se originan altas velocidades en la fase continua debido al fuerte arrastre producido por la expansión del gas.

Un modelo simplista del flujo en este tipo de etapas de contacto de tres fases con conducto de elevación, podría resumirse como la suma de dos zonas de contribución a la mezcla y homogeneización; la primera correspondería a la zona superior del tanque donde se localiza una fuerte mezcla por el desarrollo de elevadas turbulencias y una segunda zona de menor contribución a la homogeneización del sistema y que correspondería a las zonas donde se produce la circulación de la fase pseudo – homogénea.

➤ **VELOCIDADES MÍNIMAS DE ARRASTRE DE SÓLIDOS Y FENÓMENO DE HISTÉRESIS.**

Jean y Fan estudiaron el efecto que la velocidad del gas ejerce sobre la velocidad terminal de sedimentación de distintos tipos de partículas sólidas en un medio aire – agua. Las conclusiones de su estudio se resumen en que la velocidad terminal de las partículas menores de $460\mu\text{m}$ no varía considerablemente con la velocidad del gas. Esta exigencia posibilita la máxima superficie de contacto entre fases y a que cuanto menor sea el tamaño de la partícula sólida, menor será la velocidad necesaria del gas inyectado para producir el arrastre de las partículas. Autores como Livingston y Zhang determinaron, como primera aproximación, que la velocidad relativa entre las partículas sólidas y la fase líquida se puede considerar como igual a la velocidad terminal de la partícula sólida en un

medio líquido estancado. De este modo se puede considerar que en la zona de elevación o del tubo, la velocidad del sólido es igual a la velocidad del líquido que lo arrastra menos la velocidad de sedimentación de la partícula sólida. Análogamente en la zona de descenso o zona anular, la velocidad de descenso del sólido será la suma de su velocidad de sedimentación sobre un líquido en reposo y la velocidad de descenso del propio líquido.

2.4.5 AGITACIÓN MIXTA

La agitación mecánica asistida con la inyección de aire, ha demostrado un método excelente en los procesos extractivos de metales preciosos. El mineral que se trata por este método debe ser alto tenor y su granulometría debe ser fina (para los minerales auríferos debe estar en la malla 200 a malla 400), requiere alta inversión de capital, pero este se recupera debido a la dinámica del proceso que suele tomar entre 4 a 24 horas. Las extracciones puede alcanzar el 95% y la concentración de agente lixivante en las soluciones debe estar entre media y alta.

Después del proceso de lixiviación, se requiere hacer la separación sólido/líquido, la cual generalmente se ejecuta mediante un lavado en contracorriente para lograr eliminar los sólidos agotados y que no queden impregnados de la solución cargada, para esto se instalan en planta los espesadores y la separación puede hacerse mediante un filtro rotatorio o disco.

2.4.6 LIXIVIACIÓN A PRESIÓN(EN AUTOCLAVE)

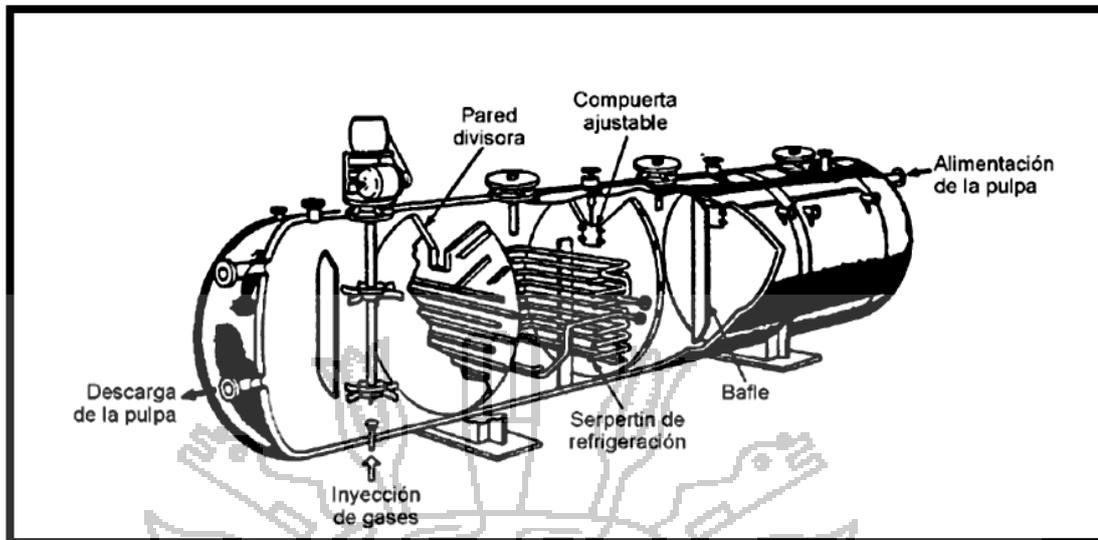
Esta técnica se aplica a concentrado gravimétricos y /o concentrados de flotación. Esta lixiviación se lleva a cabo para aquellos valores que son difíciles de lixiviar y poco solubles a presión atmosférica.

La lixiviación a presión se lleva a cabo en autoclaves que permiten altas temperaturas entre 180-250 °C y presiones, tanto en medio ácido como alcalino; como consecuencia de la misma se produce la oxidación completa de la matriz pirítica, arsenopirítica y carbonatos el oro se libera de las mismas. El empleo de altas presiones durante la cianuración hace que se consigan altas recuperaciones de oro en complejas que contienen sulfuros, telurios, selenios, arsénico, antimonio y bismuto. El bajo consumo de oxígeno indica una oxidación limitada de los sulfuros y otros contaminantes, y puede decirse que la cianuración se favorece por el aumento de la solubilidad del oxígeno en la disolución.

El tiempo de operación del proceso es de 3-4 horas para cantidades de mineral de 1.5 - 2.5 TM, e incluye tiempos de autoclave de 1-3 horas, siendo, por tanto un proceso muy costoso.

Existe una patente de lixiviación a presión de menas de oro y plata con cianuro, la cual propone la compresión de la mena, cianuro, solución, en un reactor bajo altas presiones de oxígeno (25-130 atm). Los tiempos de retención en el reactor son de 10-25 min, obteniéndose recuperaciones de oro del 94-97% y se muestra en la figura N° 13.

Figura N° 13: Lixiviación a presión en autoclave



Fuente: Dr. José Refugio Parga Torres ITS

2.4.7 PATRONES DE FLUJOS MECÁNICOS

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador.

La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro.

La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

2.4.8 PREVENCIÓN DE LOS REMOLINOS

- **Colocando el agitador fuera del eje central del tanque.-** En tanques pequeños se debe colocar el rodete separado del centro del tanque, de tal manera que el eje del agitador no coincida con el eje central del tanque. En

tanques mayores el agitador puede montarse en forma lateral, con el eje en un plano horizontal, pero no en la dirección del radio.

• **Instalando placas deflectoras.-** Estas son placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En tanques pequeños son suficientes 4 placas deflectoras, para evitar remolinos y formación de vórtice. El ancho de las placas no debe ser mayor que un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de la placa puede ser de un octavo del diámetro del tanque.

2.4.9 CIANURACIÓN CONVENCIONAL POR AGITACIÓN

2.4.10 CONMINUCIÓN

Los minerales a beneficiar por el proceso metalúrgico, son extraídos de concesiones formalizadas de “San Juan Cien” y serán recepcionados y almacenados en plataformas de almacenamiento o canchas de minerales.

El material que previamente ha sido muestreado, pesado y descargado en la plataforma de almacenamiento (luego será alimentado a la tolva de minerales gruesos). Conminución tiene dos etapas:

2.4.11 ETAPA DE CHANCADO

La tolva metálica de gruesos, la cual contará en su parte inferior con un alimentador de faja transportadora de mineral fresco que abastecerá a la chancadora primaria de mandíbulas, el producto de esta será recepcionada por una faja transportadora primario, la cual enviará y alimentará a una zaranda vibratoria de un solo piso, obteniéndose dos productos.

El pasante será decepcionada por una faja transportadora larga, la cual enviará a la tolva de finos de recepción de minerales y el producto rechazado de la zaranda abastecerá a la chancadora secundaria cónica cuyo producto es la carga circulante y será decepcionada también por la faja transportadora primaria, la cual formará un circuito cerrado entre la chancadora secundaria, faja transportadora primaria, faja transportadora secundaria, zaranda vibratoria.

El O/S (Overzise) de la zaranda será direccionado a la chancadora secundaria y el producto pasante de la zaranda U/S (Underzise) será decepcionada por una faja transportadora larga, la cual enviará a la tolva de mineral fino de recepción de minerales, el mineral chancado es de ($\frac{1}{2}$ “).

2.4.12 ETAPA DE MOLIENDA

Desde el tolva de mineral fino ($\frac{1}{2}$ “) donde se trasladará el material por medio de una faja transportadora a la sección molienda, en la que existirá una molienda primaria y molienda secundaria integrada con sistemas de clasificación y recirculación de carga, utilizándose para ello hidrociclones. El circuito está conformado por dos medidas de molinos de bolas un molino primario y unos molinos secundarios de remolienda, destinados a la molienda del mineral que proviene de la sección chancado y que ingresará con una malla ($\frac{1}{2}$ ”), estos molinos tendrán las siguientes características:

- molino de bolas primario 4'x 5'
- molino de bolas de remolienda 4'x 4'

La tolva metálica de finos distribuirá por gravedad a una faja transportadora, pasará por una balanza automática para el control de peso de mineral TM/hr

y abastecerá al molino de bolas, obteniéndose como producto final un material mixto entre intermedios y finos.

Estos productos (pulpa), del descarga del molino pasa a una caja colector y junto a ella una bomba para abastecer pulpa a un hidrociclón para su clasificación, la pulpa con fragmentos finos irán directamente a la etapa de flotación (celdas de flotación), y el producto de pulpa gruesa del hidrociclón servirá de alimento al segundo molino (remolienda) en forma de carga circulante.

2.4.13 CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Los métodos de separación gravimétrica se usan para tratar una gran variedad de minerales, que varían desde los sulfuros pesados como la galena (peso específico 7.5) hasta el carbón (peso específico 1.3), y tamaños de partículas en algunos casos por debajo de 50 μm . Las plantas de concentración gravimétrica tienen dos propósitos:

- Separación de acuerdo a una clasificación por tamaños, minerales de la misma densidad (clasificación).
- Separación de acuerdo a diferentes densidades de minerales de aproximadamente el mismo rango de tamaño (concentración).

La concentración gravimétrica separa minerales de diferentes densidades debido a un movimiento relativo debido a la gravedad y otras fuerzas, como la que ofrece al movimiento de un cuerpo un fluido viscoso, como el agua, aire, etc.

Los equipos más conocidos de separación gravimétrica de oro son: Jigs, canaletas, conos, espirales, mesas concentradoras, concentradores centrífugos.

➤ **Jigs.-** Son normalmente usado para concentrar material relativamente grueso y, si el material de alimentación es relativamente uniforme, entre 3 – 10 mm, y si la diferencia de pesos específicos es mayor la separación será mejor.

➤ **Concentradores centrífugos.-** Los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravimétrica de oro en minas grandes; frecuentemente en los circuitos de molienda para separar oro libre y evitar sobre molienda y antes de plantas de cianuración o flotación para recuperar el oro grueso.

Los tipos de concentradores centrífugos más utilizados están basados en el mismo principio pero difieren en su diseño técnico. Se encuentran los concentradores Knelson, Knudsen y Falcón.

2.4.14 FLOTACIÓN

La flotación es un método para concentrar minerales finamente molidos. Consiste en separar el mineral de la ganga, haciendo flotar las partículas del primero, mediante burbujas de aire y hundirlas del segundo, en un líquido de densidad inferior a ambos.

En la flotación se aprovechan las diferentes características físico-químicas de la superficie de los minerales para el proceso de separación: algunos

minerales en una pulpa de grano fino se vuelven hidrófobos añadiéndoles reactivos (colectores, activadores). El aire inyectado al tanque (celda de flotación) que contiene la pulpa lleva las partículas hidrófobas a la superficie, donde flotan en forma de espuma, y entonces se retira. Gracias a las variaciones de pH de la pulpa y a los reactivos adicionados, se puede recuperar selectivamente diferentes minerales.

La flotación se utiliza muy poco en la minería aurífera para sólo recuperar oro libre, y sí más a menudo para recuperar sulfuros auríferos junto con el oro liberado (flotación selectiva). Existen diferentes tipos de celdas de flotación en uso, en las que se combina la agitación de la pulpa y su aireación. Esto funciona solamente para un tamaño limitado de granos, debido a que el oro más grueso, por su masa, no flota tan fácilmente. También es difícil hacer flotar las partículas ultra finas. Sin embargo, en un tamaño de grano apropiado (aproximadamente 100 a 20 μm), la separación del oro y sulfuros puede funcionar (ver la figura N° 14).

❖ **Reactivos o Agentes de Flotación**

Son sustancias que se agregan a la pulpa para producir la flotación. Se clasifican de la siguiente manera:

- Espumantes
- Colectores
- Modificadores (reguladores)

✓ **Espumantes:** Los espumantes utilizados son compuestos orgánicos heteropolares que contienen grupos funcionales alcohol (OH), carboxilo (CO.OH), amidas (CONH₂), etc.

Los espumantes comerciales más importantes incluyen:

$C_5H_{11}OH$ Alcohol amílico

$CH_3-C_6H_4-OH$ Cresol (en ácido cresílico)

$C_{10}-H_{17}-OH$ Terpinol (en aceite de pino)

✓ **Colectores:** El objeto de estas sustancias es unir las burbujas de aire a las partículas minerales que deben flotar y producir el enriquecimiento de la espuma en mineral. Los xantatos usados como reactivos para flotación son sales de sodio y potasio del ácido xántico (o ditiocarbónico). Xantato AERO 343(Z-11).- Xantato Isopropilico de Sodio y Xantato AERO 350(Z-6).- Xantato Amílico de potasio.

✓ **Modificadores.**-Estas sustancias en presencia de colectores y espumantes actúan sobre las propiedades superficiales del mineral modificando su flotabilidad. Se clasifican según el resultado que se consigue por su agregado a la pulpa en:

- **Depresores:** reducen la flotabilidad de los minerales que no quieren flotarse. Ejemplos de estos son: cianuros, sulfitos y álcalis.
- **Agentes re flotadores (activadores):** favorece al mineral para que se forme con el colector la película polar – no polar necesaria para la flotación. Pueden también dar flotabilidad a los minerales que previamente fueron deprimidos. $CuSO_4$ para activar la arsenopirita en presencia de metales básicos como plomo, zinc y cobre
- **Modificadores de pH:** $NaCO_3$ modificador de pH que sirve para separar sulfuros y dispersar lamas; es el más usado en la flotación de oro. Como depresor es más usado el silicato de sodio para deprimir cuarzo, silicatos.

Figura N° 14: Celda de flotación



Fuente: Rudyard Torres (Superintendente de Planta Tempro Investment SAC)

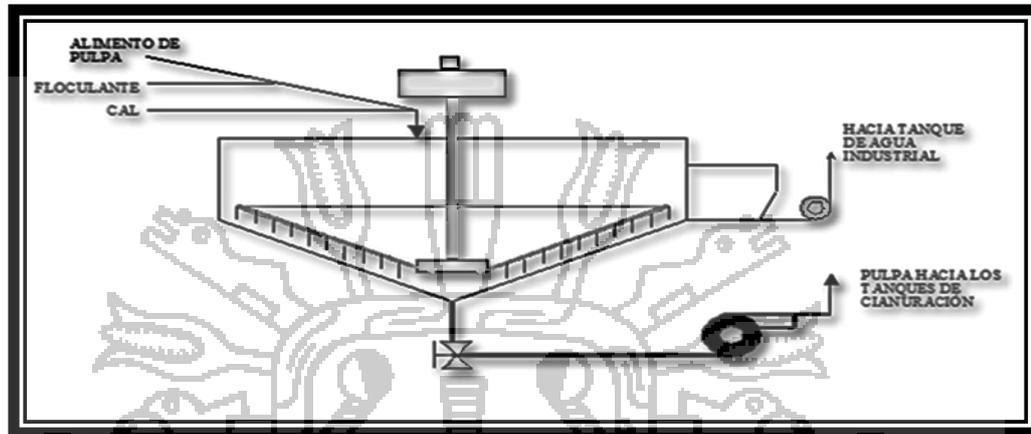
Otra combinación de reactivos muy usada para menas de oro. El promotor AERO404 y el promotor AEROFLOAT 242. El primer promotor actúa como colector principal, mientras que el AERO FLOAT 242 actúa como espumante y colector.

2.4.15 CIRCUITO DE ESPESAMIENTO

Consiste en un tanque, un medio para introducir la alimentación con un mínimo de turbulencia, un mecanismo de rastrillo propulsado para mover los sólidos asentados hasta un punto de descarga, un medio para retirar los sólidos espesados y otro para eliminar el líquido clarificado (figura N° 15). Es impulsado por un motor mediante una transmisión de engranajes. Se sujetan dos brazos de rastrillo al eje central, estos brazos tienen suficientes aspas para raspar el fondo dos veces por revolución y dos brazos cortos adicionales para rastrillar el área interna cuatro veces por revolución con el fin de retirar las grandes cantidades de partículas gruesas que se asientan cerca del centro. Los raspadores cónicos atornillados al eje central impiden que se atasque el cono de descarga del fondo. El lodo se extrae con una

bomba de diafragma. Se utilizan unidades pequeñas de aproximadamente 2 metros de diámetro para tratar 100 kg/hr. Hasta máquinas de 100 metros de diámetro para tratar 750 tn de sólidos por hora.

Figura N° 15: Espesador empleado en la planta concentradora.



Fuente: Instituto a la Ingeniería Química-2do sem 2010

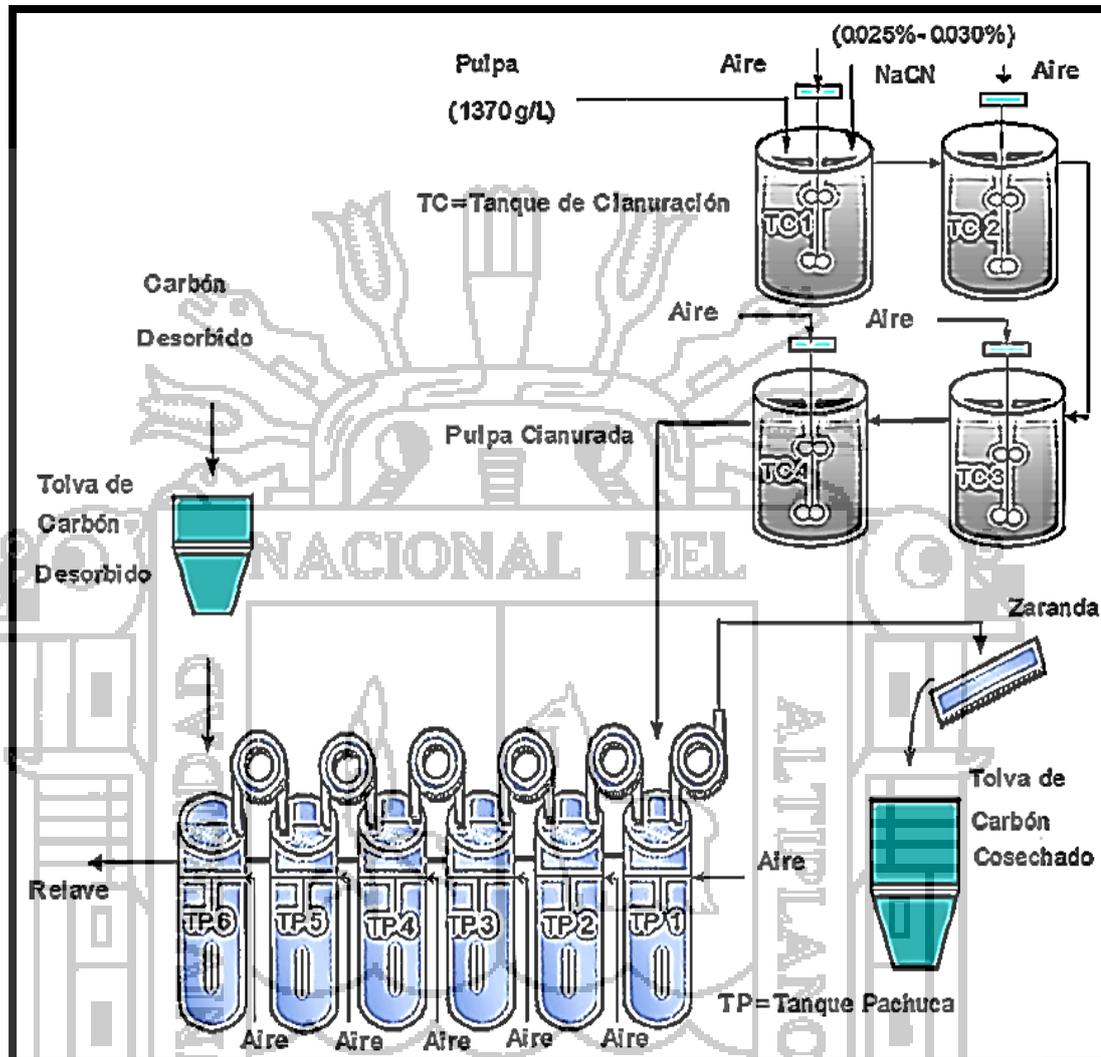
2.4.16 CICLO DE CIANURACIÓN

Después de ser finamente molido el mineral pasa al tanque espesador donde la pulpa va a sedimentar antes de sedimentar se hará un lavado alcalino y a la vez ésta es preparada para la etapa de cianuración ya que la cianuración se realiza en condiciones alcalinas, con el fin de evitar la pérdida al formarse el HCN y además que es peligroso para el ambiente de trabajo.

La pulpa es introducida en cuatro tanques de cianuración que están en serie de 8-30 pies de diámetro por 8-30 pies de alto con una capacidad aproximada de 11.5-600 m³ en cada tanque con un mecanismo central de agitación donde el aire ingresa por el eje hueco del agitador. En el primer tanque se alimenta la pulpa con una densidad promedio de 1370 g/L, al primer tanque se le añade cianuro de sodio con una fuerza de 0.025% -

0.030% en el segundo tanque la fuerza de cianuro es de 0.025, en tercer tanque es 0.023 y el cuarto tanque debe estar a 0.020% NaCN.

Figura N° 16: Esquema del circuito de cianuración- adsorción.



Fuente: Inversiones Mineras del sur S.A. (Unidad minera Antapite)

2.4.17 ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO CIP

El circuito de carbón en pulpa difiere del circuito del Merrill-Crowe en que después de la cianuración convencional, la pulpa se transfiere a los circuitos de adsorción de oro, el cual consiste en varios tanques Pachuca o tanques de agitación mecánica en serie (tres o más). La pulpa lixiviada se alimenta a un extremo y fluye en contracorriente a la pulpa.

Después de los tanques de cianuración la pulpa ingresa a los tanques Pachuca de adsorción enumerados del 1 al 6 donde el carbón activado adsorbe los valores lixiviados de la pulpa. Estos tanques son agitados mediante inyección de aire y contiene 5 bombas de trasiego marca Bredel donde al momento de la cosecha el carbón es traspasado de una Pachuca a otra el traspaso se realiza de la Pachuca 6 hasta el 1 donde el carbón desorbido ingresa en la Pachuca 6 y 1 a cosecha se realiza cuando la ley del carbón es mayor de 200 g/TM en el Pachuca 1. En las condiciones actuales de volumen disponible en las seis Pachucas (8'x 8') y el tonelaje procesado, el tiempo de retención de las partículas de mineral entre la primera y la última Pachuca es de 5 horas. Se muestra en la (figura N° 116).

Desorción-Electrodeposición.-El carbón al ser extraído del primer agitador será colocado en un tanque abierto existente y con actual capacidad instalado para el tratamiento de los volúmenes proyectados de la planta de beneficio.

Dicho carbón estará bajo la acción de una solución re circulante compuesta de 10% de alcohol, 0,1 % de cianuro y 2 % de soda cáustica en agua destilada a temperaturas entre 60 °C a 70 °C, esta solución será alimentada por la parte inferior del tanque y descargándose por la parte superior del mismo.

Se obtendrán dos productos carbón activado cargado con oro y la otra parte es el relave que viene a ser una pulpa de desecho, constituida por mineral de ganga, y pequeñas concentraciones de cianuro disuelto en agua, los cuales serán enviados a la cancha de relaves para la sedimentación y posterior recuperación del agua.

Luego se bombea a las celdas electrolíticas, donde el oro y la plata son tratados sobre cátodos de lana de acero. Estos cátodos cuando tiene carga suficiente son fundidos

El carbón es regenerado por lavado ácido, calentamiento y molienda por atricción. El carbón producto del proceso de adsorción tiende a perder su eficiencia por las impurezas y elementos diversos que suele absorber en su superficie. Por esta razón, el carbón desorbido es sometido a un lavado en ácido clorhídrico con agitación de aire. Al término de la operación el carbón recupera gran parte del grado de eficiencia de adsorción.

2.4.18 PRECIPITACIÓN CON POLVO ZINC

En el proceso de recuperación convencional Merrill – Crowe, la solución rica es separada de los sólidos en la pulpa por espesamiento y /o filtración, seguida por clarificación en arena diatomácea. Luego se quita el oxígeno de la solución mediante una torre de vacío, agregándose polvo de zinc para precipitar el oro. El zinc cargado de oro se separa de la solución estéril por filtros – prensa o filtros de placas, luego el precipitado es secado y fundido. Recomendado para soluciones que contienen altas concentraciones de oro y/o plata. Este proceso tiene bastante aplicación en México, Perú, etc. debido a las altas recuperaciones que se obtienen (99.5%) y su bien definida tecnología.

El proceso involucra las siguientes etapas:

- Clarificación de la solución cargada en oro y plata.
- Eliminación del oxígeno de la solución (vacío).

- Adición de polvo de zinc a la solución ya libre de oxígeno.
- Recolección del precipitado en el filtro prensa.
- Fundición del precipitado.

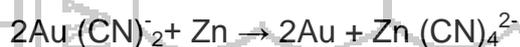
La clarificación y la de aireación o desoxigenación de la solución es requerida para la eficiente cementación del oro sobre la partícula de zinc.

La eliminación de oxígeno, reduce la redisolución de oro y plata por el cianuro libre en el filtro prensa.

La adición de acetato de plomo es recomendada para incrementar la cementación del oro y plata.

En procesos rudimentarios a baja escala y con poco desarrollo tecnológico la cementación con cinc se realiza utilizando viruta de cinc y la solución se añade sin ningún tipo de pre tratamiento para eliminar el oxígeno disuelto.

Se ha propuesto dos reacciones que describen el comportamiento de las especies durante la cementación de oro en forma de complejo aurocianuro utilizando cinc. La ecuación:



CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 TAMAÑO DE LA PLANTA DE CIANURACIÓN POR AGITACIÓN

Para los objetivos de este estudio se considerará una capacidad de tratamiento de 30 TM/d nominales, que en un horizonte de 20 años equivale a un tratamiento de 216 000 TM del mineral oxidado y mineral parcialmente sulfurado.

Se considera razonable el tratamiento de estas reservas de minerales la extracción de éstas se harán completamente en forma subterránea, y su comportamiento muy similar al de las pruebas de laboratorio.

Otros aspectos importantes de tener en cuenta en el tamaño de la planta es la facilidad de escalamiento del proceso, es decir, en medida los resultados obtenidos en el laboratorio pueden aplicarse industrialmente a gran escala y con la misma eficiencia.

3.2 UBICACIÓN DE LA PLANTA

Para la ubicación de la planta se considera los siguientes factores:

- ❖ Pendiente del terreno
- ❖ Área disponible
- ❖ Cercanía al abastecimiento de agua
- ❖ Cercanía a la mina
- ❖ Naturaleza y resistencia del terreno
- ❖ Condiciones ambientales y climáticas

- ❖ Deposición de residuos y tratamientos de los efluentes
- 1) Pendiente del terreno.- La pendiente del terreno apropiada para las operaciones de agitación es de 10 - 15%(6–8.5°). Una ventaja en este tipo de terreno es que se aprovechan mejor los desniveles para la ubicación, instalación y montaje de tolvas, fajas, chancadoras, molinos, tanques, etc.
 - 2) Área disponible.- Para esta operación del proceso es de 2 hectárea, es bastante amplia para la instalación de planta beneficio de preparación mecánica, concentración, cianuración, recuperación, fundición y depósito de residuos.
 - 3) Cercanía a abastecimiento de agua.- La quebrada Cumini Haycco tiene en la menor parte del año (temporada seca) 5 L/s equivale a 18 m³/hr que es suficiente para la operación del proceso de la planta beneficio, en la temporada de lluvias el caudal se incrementa considerablemente y es difícil de estimar por las grandes variaciones del caudal de agua que recurre por el riachuelo.
 - 4) Cercanía a la mina.- La mina se encuentra entre 50 a 100 m del lugar destinado para la planta beneficio, lo que equivale al desarrollo de una carretera de unos 2 km para permitir el transporte del mineral.
 - 5) Naturaleza y resistencia del terreno.- El terreno en su mayor parte es tierra (desmonte) y rocoso. La preparación del terreno no es necesariamente tan intensa, el piso será de loza (cemento).
 - 6) Condiciones ambientales y climáticas.- La mayor parte del año el clima es frío y seco, típico de las alturas de 4200 m.s.n.m., se tomarán providencias adecuadas para las épocas de heladas (Junio–Julio) y la temporada lluviosa (Enero–Marzo) para no afectar ni interrumpir la operación. La altura tiene otro efecto importante que es la disminución de la saturación de oxígeno en la

solución de cianuración (60–70%) del valor a nivel del mar) y también la evaporación de la solución cianurada por la escasa humedad y baja presión si bien la temperatura compensa este efecto.

- 7) Deposición de residuos y tratamientos de los efluentes.- Los residuos sólidos y líquidos se dispondrán en áreas adecuadas cercanas a la planta de beneficio, diques nuevos para relaves y sus correspondientes tratamientos de efluentes, evitando la contaminación ambiental de la Quebrada Cumini Haycco y la Comunidad aledaños que también abastece a algunos cultivos y pastoreo de animales en variedades especies.

3.3 DIMENSIONAMIENTO DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO

Es muy esencial mecanizar la mina “San Juan Cien”, para poder procesar el mineral aurífero con mayor facilidad y tener una producción acorde con lo que se planifica para ello se requiere adquirir maquinarias y equipos con sus dimensiones correspondientes; para una capacidad de tratamiento y procesamiento del mineral aurífero de 30 TM/día. Ver la tabla N° 8, tenemos maquinarias y equipos más principales para dicho propósito.

Tabla N° 8. Maquinarias y equipos de la planta

Maquinarias y Equipos	Tamaño	Capacidad
Trituradora de quijada (primaria)	10" * 12"	2.5 TM/hr
Trituradora cónica (secundaria)	1.6'	2.5 TM/hr
Zaranda vibratoria de malla	4' * 6'	2.5-5 TM/hr
Molino de bolas circuito primario	4' * 5'	4 TM/hr
Molino de bolas (remolienda)	4' * 4'	3TM/hr
Bomba de pulpa	11/4" * 11/4"	15 gpm
Bomba de reactivo	3/4" * 1/2"	10 gpm
Bomba de solución barren	2" * 2"	12 gpm
Concentrador jigs de diafragma	2' * 3'	4-8 TM/hr
Concentrador falcón	SB 250	1-8T M/hr
Tanque de acero de cianuración	8' * 8'	11.5 m ³
Cianuración a presión en autoclave	ø3' * 8'	1.5-2 TM/hr
Tanque de acero de lechada de cal	10' * 10'	22.42 m ³

Fuente: Elaboración propia

3.4 BALANCE METALÚRGICO

De acuerdo al análisis de las muestras tomadas del mineral aurífero de la mina “San Juan Cien” y los datos recogidos de las pruebas de microscopio electrónico de barrido se realizan los balances metalúrgicos, los resultados se muestran en la tabla N° 9.

Tabla N° 9. Balance metalúrgico

Producto	Peso	Peso	Ensayo	Contenido	Recuperación	Ratio
	(g)	%	Au g/TM	Metálico (g)	%	Conc. %
Alimentación	500.00	100.00	19.40	9,700.00	100.00	
Concentrado	7.50	1.50	1,253.90	9,404.00	96.95	66.67
Relave	492.00	98.50	0.60	295.50	3.05	1.02

Fuente: Elaboración propia

3.5 ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

En esta sección se examinarán en forma general los costos de inversión, costos de operación.

Para los cálculos económicos se han considerado todas las cifras en dólares americanos, debido a que nuestra moneda se encuentra en un proceso constante de devaluación y los cálculos quedarían desactualizados en menos de un año; por otro lado los precios de los equipos, reactivos e insumos se encuentran todos en dólares.

3.6 COSTOS DE INVERSIÓN

En este rubro se detallarán los aspectos de la planta de cianuración por agitación; la inversión necesaria en estudios metalúrgicos y mineralógicos, instalación de campamentos y otros.

En la planta de cianuración por agitación los costos se pueden dividir en áreas de trituración, molienda, concentración, cianuración, etc.

3.6.1 COSTO DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS PROYECTADOS

Tabla N° 10. Costos de maquinarias y equipos proyectados

Descripción de Maquinarias y Equipos	Cantidad	Precio U US\$	Precio T US\$
1. Área de Trituración			
Parrilla estática de 5" de abertura	1	850.00	850.00
Faja transportadora 20" * 3m	2	900.00	1,800.00
Faja transportadora 20" * 15m	3	3,800.00	11,800.00
Faja transportadora 20" * 6m	1	2,900.00	2,900.00
Trituradora de quijada (primaria)	1	6,900.00	6,900.00
Trituradora cónica (secundaria)	1	20,000.00	20,000.00
Zaranda vibratoria de malla	1	3,000.00	3,000.00
Subtotal 1:			47,250.00
2. Área de Concentración			
Molino de bolas 4' * 5'	1	4,300.00	4,300.00
Molino de bolas 4' * 4'	4	3,200.00	12,800.00
Bombas de pulpas 11/4" * 11/4"	4	1,000.00	4,000.00
Bomba de reactivo 3/4" * 1/2"	1	600.00	600.00
Hidrociclón D-6	4	1,800.00	7,200.00
Concentrador jigs de diafragma	2	4,000.00	8,000.00
Concentrador falcón de SB 250	2	18,000.00	36,000.00
Celda Wemco (cada/celda)	6	1,200.00	7,200.00
Subtotal 2:			80,100.00
3. Área de Cianuración y Espesamiento			
Tanque de cianuración 8' * 8'	7	2,900.00	20,300.00
Cianuración a presión en autoclave	1	3,100.00	3,100.00
Tanque de lechada de cal, solución rica 10' * 10'	3	3,000.00	9,000.00
Bombas de solución cianurada 11/4" * 11/4"	2	1,000.00	2,000.00
Espesador ø4m * 2m(H)	7	4,700.00	32,900.00
Subtotal 3:			67,300.00
4. Área de Cementación, Mecánica y Laboratorio			
Filtro clarificadora	1	2,000.00	2,000.00
Bombas de precipitado, solución barren 2" * 2"	4	1,000.00	4,000.00
Bomba de vacío 1" * 1"	1	600.00	600.00
Cono de precipitación	1	1,000.00	1,000.00
Filtro prensa de precipitado	1	2,000.00	2,000.00
Torre de vacío	1	1,300.00	1,300.00
Separador instantáneo	2	700.00	1,400.00
Mecánica	Varios		10,000.00
Laboratorio	Varios		16,000.00
Subtotal 4:			38,300.00
5. Área de Fundición y Generación de Energía Eléctrica			
Horno de fusión de crisol de grafito N° 10	1	800.00	800.00
Horno de retorta de mercurio	1	700.00	700.00
Condensador	1	600.00	600.00
Grupo electrógeno de 280 kW	1	45,000.00	45,000.00
Grupo electrógeno de 100 kW	1	20,000.00	20,000.00
Subtotal 5:			67,100.00
Subtotal costo de equipos proyectados			300,050.00

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 COSTO DE OBRA CIVIL

Tabla N° 11. Obra civil para construir la planta de cianuración por agitación

N°	Descripción de Obras Civiles	Costo US\$
1	Tolva de gruesos de concreto armado de 75m ³	9,000.00
2	Tolva de finos de concreto armado de 105m ³	10,000.00
3	Reservorio de agua de concreto armado 108m ³	7,000.00
4	Piso de la maquinaria trituración - molienda	8,000.00
5	Piso área de cianuración	2,500.00
6	Piso área de espesamiento	3,000.00
7	Piso área de precipitado	2,600.00
8	Piso área de fundición	400.00
9	Cubierta área de trituración - molienda	12,000.00
10	Servicios higienicos de 5 unidades	900.00
11	Campamento para administración y vivienda	14,000.00
Subtotal de la planta de cianuración por agitación		69,400.00

Fuente. Elaboración propia

El costo de inversión total del proyecto propuesto es de 369,450.00 US\$

3.6.3 COSTO DE OPERACIÓN PARA PLANTA DE 900TM/MES

El costo de operación comprende varios aspectos en el tratamiento y procesamiento de mineral aurífero, el primero de ellos son los costos de reactivos químicos, insumos y para el aspecto de ingeniería y administración se considera 25 personal para un mes de operación de 900 TM/mes.

A) Reactivos Químicos e Insumos

Tabla N° 12 Reactivos e insumos

Descripción	Consumo	T. Planta	Consumo	Consumo	Costo	Costo	Costo
	kg/TM	TM/día	kg/día	kg/mes	US\$/kg	US\$/día	US\$/mes
a). Flotación							
P. AEROFLOAT 208	0.070	30.00	2.10	63.00	2.90	6.09	182.70
Aceite de pino	0.015	30.00	0.45	13.50	0.90	0.41	12.15
Ácido cresílico	0.025	30.00	0.75	22.50	1.09	0.82	24.53
Soda caústica	0.250	30.00	7.50	225.00	0.40	3.00	90.00
Xantato AERO 343(Z-11)	0.025	30.00	0.75	22.50	1.50	1.13	33.75
Xantato AERO 350(Z-6)	0.075	30.00	2.25	67.50	1.70	3.83	114.75
Subtotal de a)				414.00			457.88
b). Cianuración, cementación y fundición							
Cianuro de sodio	7.500	30.00	225.00	6,750.00	1.35	303.75	9,112.50
Cal	8.500	30.00	255.00	7,650.00	0.10	25.50	765.00
Polvo de zinc	0.150	30.00	4.50	135.00	0.50	2.25	67.50
Nitrato de plomo	0.110	30.00	3.30	99.00	0.45	1.49	44.55
Bórax	0.130	30.00	3.90	117.00	0.60	2.34	70.20
Acetato de plomo	0.010	30.00	0.30	9.00	0.50	0.15	4.50
Subtotal de b)				14,760.00			10,064.25
Subtotal de a) y b)							10,522.13
Consumo de lubricantes							
Descripción	Consumo	Periodo	Consumo	Consumo	Costo	Costo	Costo
	gal/hr	Operac. hr/día	gal/día	gal/mes	US\$/gal	US\$/día	US\$/mes
Lubricantes	0.060	8.00	0.48	14.40	6.00	2.88	86.40
Petróleo(272 kW)	1.660	8.00	13.28	398.40	5.00	66.40	1,992.00
Petróleo(100 kW)	0.610	8.00	4.88	146.40	5.00	24.40	732.00
Subtotal				559.20			2,810.40
Consumo de bolas de acero							
Descripción	Consumo	T. Planta	Consumo	Consumo	Costo	Costo	Costo
	kg/TM	TM/día	kg/día	kg/(mes/3)	US\$/kg	US\$/día	US\$/mes
Bolas de acero de 3" (1)	1.100	30.00	33.00	330.00	0.65	21.45	214.50
Bolas de acero de 2" (3)	2.500	30.00	75.00	750.00	0.65	48.75	487.50
Bolas de acero de 1" (1)	1.000	30.00	30.00	330.00	0.65	19.50	214.50
Subtotal				1,410.00			916.50
Subtotal de insumos							3,726.90
Subtotal de reactivos e insumos							14,249.03

Fuente: Eric Tapia & Francisco Lara

B) Petróleo

El petróleo servirá para accionar dos grupos electrógenos de combustión interna, estimándose su consumo 544.80 gal/mes, a razón de 1.66 gal/hr para el generador de 272 kW y 0.61 gal/hr para el generador de 100 kW.

Consumo específico: $371.76 \text{ kW} / (30\text{TM}/24\text{hr}) = 297.41 \text{ kW hr/TM}$

Cálculo Matemático:

$$297.41 \text{ kW-hr/TM} * 3600 \text{ kJ/ kW-hr} * 0.239 \text{ Kcal/kJ} * 0.25 \text{ ef.} / 9500 \text{ Kcal/kg} \\ = 6.73 \text{ kg/TM}$$

$$6.73 \text{ kg/TM} * 1 \text{ gal}/3.7\text{kg} = 1.82 \text{ gal/TM}$$

$$1.82 \text{ gal/TM} * 30\text{TM}/24\text{hr} = 2.27 \text{ gal/hr}$$

$$371.76 \approx 372 \text{ kW} \rightarrow 2.27\text{gal/hr}$$

$$272 \text{ kW} \rightarrow X \text{ gal/hr} \Rightarrow x = 272 \text{ kW} * 2.27 \text{ gal/hr} / 372 \text{ kW} = 1.66 \\ \text{gal/hr}$$

$$\therefore 372\text{kW} = 2.27 \text{ gal/hr}, 272\text{kW} = 1.66 \text{ gal/hr} \text{ y } 100\text{kW} = 0.61 \text{ gal/hr}$$

C) Personal Requerido para la Operación de la Planta

Tabla N° 13. Personal requerido para la operación planta

Item	Descripción	Cant.	Costo	C. Total
			US\$/mes	US\$/mes
1	Jefe de Planta	1	850.00	850.00
2	Ingeniero de Seguridad	1	650.00	650.00
3	Jefe de Guardia	1	750.00	750.00
4	Operarios de Planta	8	350.00	2,800.00
5	Operarios de Laboratorio Metalúrgico	2	350.00	700.00
6	Operarios de Mantenimiento Mecánico	3	350.00	1,050.00
7	Operarios de Mantenimiento Eléctrico	2	350.00	700.00
8	Administrador	1	650.00	650.00
9	Secretaria	1	500.00	500.00
10	Transportistas	2	400.00	800.00
11	Cocinero	2	400.00	800.00
12	Almacenero (Logística)	1	400.00	400.00
Subtotal de personal requerido para la operación de la planta				10,650.00

Fuente: Elaboración propia

D) Energía Eléctrica

Se consideran todos los equipos accionados por motores eléctricos (chancadoras, molinos, bombas, y otros) evitando el consumo de petróleo, pero un grupo electrógeno requiere necesariamente de combustible, por lo que se considerará el horno con quemadores de petróleo. En la tabla N° 14, se describen los equipos proyectados con sus potencias nominales.

Tabla N° 14. Potencia nominal de maquinarias y equipos

Maquinarias y Equipos	Cantidad	Lugar utilizado	HP U	HP Total
Faja transportadora 20" * 3m	2	Trituración	3.0	6.0
Faja transportadora 20" * 15m	3	Trituración	6.0	18.0
Faja transportadora 20" * 6m	1	Trituración	6.0	6.0
Trituradora de quijada (primaria) 10" * 12"	1	Trituración	12.0	12.0
Trituradora cónica (secundaria) 1.6'	1	Trituración	15.0	15.0
Zaranda vibratoria de malla 4' * 6'	1	Trituración	7.0	7.0
Molino de bolas 4' * 5'	1	Concentración	20.0	20.0
Molino de bolas 4' * 4'	4	Concentración	16.0	64.0
Bombas de pulpas 11/4" * 11/4"	6	Varios sitios	3.0	18.0
Bomba de 3/4" * 1/2"	1	Reactivo	1.0	1.0
Bombas de agua, solución barren, etc. de 2" * 2"	6	Varios sitios	2.0	12.0
Bomba de vacío 1" * 1"	1	Precipitación	1.0	1.0
Concentrador jigs de diafragma	2	Concentración	2.0	4.0
Concentrador falcón de SB 250	2	Concentración	3.0	6.0
Tanque de 8' * 8'	6	Cianuración	10.0	60.0
Cianuración a presión en autoclave	1	Cianuración	5.0	5.0
Tanque de 10' * 10'	1	Lechada de cal	10.0	10.0
Tanque de la solución de cianuro de 8' * 8'	1	Cianuración	5.0	5.0
Celda Wemco (cada/celda)	6	Concentración	5.0	30.0
Espesador ϕ 4m * 2m(H)	7	Separación L/S	12.0	84.0
Filtro clarificadora	1	Clarificación	3.0	3.0
Cono de precipitación	1	Precipitación	1.0	1.0
Filtro prensa de precipitado	1	Precipitación	2.0	2.0
Horno de fusión de crisol de grafito N° 10	1	Fundición	1.5	1.5
Tanque de tratamiento de agua industrial	1	Tratamiento	5.0	5.0
Equipo para mantenimiento	1	Mecánica	7.0	7.0
Alumbrado	1	Planta y vivienda	7.0	7.0
Equipo para vivienda	1	Viviendas	5.0	5.0
Total:				415.5

Fuente: Elaboración propia

La potencia nominal total es de 415.5 HP que equivalen a 371.76 kW con el propósito de optimizar el recurso energía eléctrica se ha separado la sección de preparación mecánica, concentración del resto de secciones de la planta. De los cuales 271.76 kW corresponden a la sección de preparación mecánica, concentración para lo cual se propone una moto generadora de 280 kW para la demanda del resto de secciones y que es de 100 kW, en operación normal, se propone una moto generadora de 100 kW.

Conversión a kW: $415.5 \text{ HP} * 1 \text{ kW}/1.341\text{HP} = 309.8 \text{ kW}$

Factor de seguridad 20% $309.8 * 0.2 = \underline{61.96}$
371.76 kW

Costo de energía eléctrica : $371.76 * 0.18 \text{ US\$/kW-hr} = 66.92$

US\$/día =

2,007.50 US\$/mes

El costo de operación para planta de cianuración por agitación de 900TM/mes es de:

Reactivos químicos e insumos = 14,249.03 US\$

Personal requeridos para la planta = 10,650.00 US\$

24,899.03 US\$

Imprevistos (10%) = 2,489.90

El costo total de operación planta = 27,388.93 US\$

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

4.1 METODOLOGÍA DESCRIPTIVA EXPERIMENTAL

La presente investigación se realizó en tres etapas, entre las cuales se encuentra el trabajo experimental. A su vez este está estructurado en tres actividades que se desarrollaron para alcanzar los objetivos propuestos en el plan de trabajo, y son descritas en este capítulo con los respectivos ensayos realizados (diagrama N° 3).

Diagrama N° 3. Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas en la etapa de trabajo descriptiva experimental



Fuente: Elaboración propia

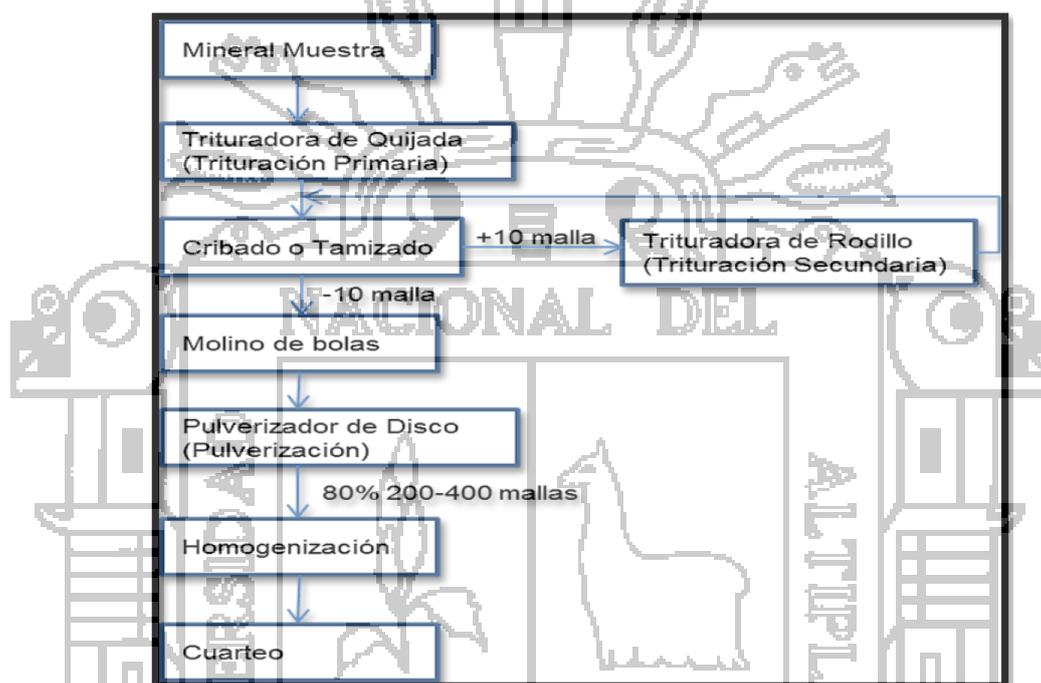
4.2 TOMA DE MUESTRA

La muestra de mineral aurífero, empleadas para realizar la parte experimental de tesis, se tomaron de la mina “San Juan Cien” del proyecto de la cancha de recepción de minerales de diferentes puntos para obtener una muestra representativa (herramienta de muestreo, pala minero). El mineral muestra de peso total de 10 kg

4.3 PREPARACIÓN MECÁNICA DE LA MUESTRA PARA EL ANÁLISIS

La muestra obtenida representativa se llevó al laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica-Puno, en donde se procedió la preparación mecánica y así lograr una separación adecuada de la mena (diagrama N° 4).

Diagrama N° 4. Diagrama de flujo por equipo usado para la preparación mecánica del mineral muestra



Fuente: Elaboración Propia

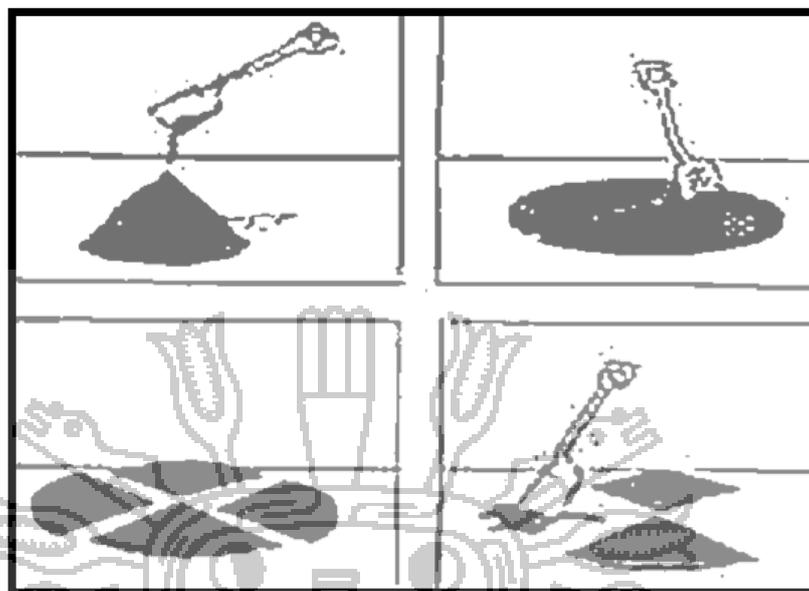
Equipo, herramientas y material: Trituradora de quijada, molino de bolas, pulverizadora y mufla; Mallas de diferentes aberturas, pala, brocha, muestreadores o partidores Jones y bandejas

Procedimiento:

- **Trituración de la Muestra:** 10 kg de mineral muestra se procede a reducir su tamaño, primero mediante un trituradora primario en el que se obtuvieron partículas de hasta $\frac{1}{2}$ "

- **Criba o Tamizado:** Son separaciones mecánicas de partículas basadas en el tamaño. En este caso de la prueba experimental fue manual en malla 10
- **Secado:** Este se realiza colocando la muestra en bandeja pírax, donde se las seca a una temperatura de 100 a 120°C, en una estufa con una capacidad térmica que va desde los 30 a 250°C. Se aplica a toda muestra que presente una humedad de 4% antes de iniciar con su procesamiento, con la finalidad de evitar inconvenientes.
- **Molienda:** Grado de molienda del mineral debe ser fina. El objetivo de la molienda para nuestro caso es llegar a reducir el tamaño de las partículas, hasta malla 200 mínimamente para luego pasar a una pulverizadora.
- **Pulverización:** Para obtener un polvo ultra-fino de 325-400 malla. Este se considera un tamaño de partículas ideal para proceder a la cianuración. Tiempo de remolienda de 45 minutos.
- **Homogenización:** Es la operación de la mezcla homogénea que permite eliminar toda segregación y obtener una distribución espacial al azar de todo los constituyentes el método es manual o mecánico.
- **Cuarteo:** Es una operación manual, consiste en formar una pequeña pila con el mineral muestreado, en forma de un cono, luego, este se aplana de una manera uniforme, formando un círculo cónico de una altura muy inferior a la del cono, a este círculo se le divide en cuatro partes simétricas, mediante una cruz concéntrica, luego se separan las 4 partes, para desechar 2 partes opuestas por el vértice y juntar las otras 2 que quedan para formar nuevamente otra pila más pequeña y realizar la misma operación anterior hasta considerar que el producto del último cuarteo contenga una cantidad pequeña requerida por el laboratorio (figura N° 17).

Figura N° 17. Cuarteo de mineral por el método de cono



Fuente: Normas Generales sobre Muestreo Análisis de Carbones Santafé de Bogotá D.C., mayo de 1995

4.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

El análisis químico debe ser completo, es decir indicar las leyes de: Los componentes útiles, los constituyentes de la ganga, elementos contaminantes tales como As, Sb, Bi, Hg, etc. Para la determinación de análisis químico se lo realizó en el Laboratorio de Investigación UNA-Puno.

Equipo y material:

Para la determinación de análisis químico del mineral se utilizó un microscopio electrónico de barrido; plato muestreo de pulpa y mineral muestra de 200 g.

Procedimiento:

La muestra pulverizado la homogenizamos y cuarteamos luego pesamos 200 g de material y por el método de plato muestreo de pulpa donde se obtiene lo sedimentos pesados, a esto lo secamos y tomamos 1 g de muestra, colocándolo en una placa de aluminio mediante un adhesivo de carbón y finalmente fueron recubiertas con oro-paladio para que adquieran características conductivas.

En general, las muestras a analizar por MEB son relativamente fáciles de preparar, uno de los requerimientos es el tamaño, que puede ser desde muy pequeño hasta 7 cm o tres veces más en los equipos más modernos. Sin embargo, para cada caso se deben tomar en consideración tres aspectos importantes: 1) La muestra debe estar limpia y seca, 2) se debe mantener la morfología original y 3) no debe tener cargas electrostáticas.

4.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Por este procedimiento el tamaño de partículas se asocia al número de aberturas que tiene el tamiz por pulgada lineal. Usamos en este caso una serie de mallas de 48, 65, 100, 150, 200, 270, 325, 400 de la serie Tyler

Equipos, herramientas y materiales

Un vibrador mecánico (Rotap), una balanza, una estufa; juego de tamices, plásticos, escobillas y mineral muestra de 1600 g

Procedimiento:

- La muestra homogenizado y cuarteo de mineral muestra es de 1600 g
- Determinar las mallas usadas para el análisis. Éstas estarán en función a la granulometría del mineral.

Circuito de remolienda: 48, 65, 100, 150, 200, 270, 325, 400 mallas

- Una vez que se tenga definido las mallas a usar, se selecciona la malla más fina para realizar el lavado de la muestra (malla 400)
- Tamizado manual en húmedo (lavado de la muestra).

Ubicarse en el lavadero, echar entre 150-200 g de la muestra en la malla seleccionada y lavarla con agua corriente hasta que pase todo el fino y el agua salga transparente. Descargar la muestra lavada en una bandeja

metálica, y continuar con la misma operación hasta terminar con la totalidad de la muestra.

Decantar y colocar la muestra en la estufa secador a una temperatura 100°C, tiempo aproximado de 30 minutos.

- Una vez que la muestra este seca, retirar del estufa secador y dejarlas enfriar por espacio de 10 minutos
- Tamizado en seco en el Rotap sobre el recipiente base, ordenar las mallas una encima de la otra en orden descendente al número de malla.

Cargar a la malla superior como máximo 200 g de muestra, tapar la malla, colocar en Rotap y encender el equipo regulando el tiempo de tamizado a 10 minutos.

Pesar los productos retenidos en cada malla y anotar los pesos en el cuaderno de trabajo de laboratorio.

Repetir esta secuencia hasta terminar con la totalidad de la muestra.

4.6 EQUIPOS, MATERIALES , REACTIVOS DE LA CIANURACIÓN DINÁMICA

Materiales, equipos y reactivos:

Materiales

- | | |
|------------------------|-------------------|
| • Mineral cuarteado | • Bureta |
| • Botellas de plástico | • Espátula |
| • Agua destilada | • Balde |
| • Vasos de precipitado | • Papel de filtro |
| • Pizeta | • Pipeta |
| • Proveta | • Embudo |

Equipos

- Agitador mecánico, neumático (eléctrico).
- Reactor, Botella de vidrio
- pH-metro
- Balanza analítica, Balanza de tres barras

Reactivos requeridos para pruebas

- Cal
- Cianuro de sodio
- Nitrato de plata.
- Fenolftaleína.
- Ácido sulfúrico
- Yoduro de potasio

4.7 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA CIANURACIÓN

Cianuración por agitación:

Se realizaron las pruebas de cianuración por agitación mecánica y neumática, las cuales se basan en el principio básico del proceso metalúrgico que mencionamos a continuación se muestra en la tabla N° 15.

Tabla N° 15. Condiciones de operación en la prueba de cianuración

Ley de cabeza	19.4, 3.88 Au (g/tn), mg
Peso de muestra compósito	500.0 g
Granulometría del concentrado	80% 325 - 400 malla
Concentración de cianuro	0.75, 1.25 g/L
Peso de cal	10.0 g/L
Dilución (L/S)	3/1
Volumen de agua	1500 ml
pH de cianuración	10.5
Tiempo de cianuración	24 hr.
Oxígeno	5.0 (mg/l)

Fuente. Elaboración propia

Procedimiento:

- Colocar 500 g del mineral molido en el reactor de agitación y adicionar la cantidad de agua necesaria para completar 1.5 litros, es decir, para trabajar a 33% de sólidos.
- Determinar el pH inicial de la pulpa.
- Ir adicionando la cal necesaria para tener un pH de 10.5. Registrar la cantidad de cal adicionada.
- Dejar la pulpa en agitación por lo menos 30 minutos, hasta que el pH se estabilice registrar el valor del pH de trabajo.
- Adicionar la cantidad de cianuro de sodio necesaria, la concentración de cianuro de sodio utilizada es de 0.7 g/l. y se mantendrá constante esta concentración durante toda la experimentación.
- Realizar controles periódicos de la concentración de cianuro, cal libre y pH adicionarla cantidad necesaria de cianuro de sodio para que la concentración inicial permanezca constante. Adicionar cal, si hay deficiencia de esta, o el pH descende de 10.5
- Una vez concluida la prueba, filtrar la pulpa al vacío para obtener la torta y la solución. Recoger la solución, determinar el volumen y tomar una muestra para análisis Químico de oro.
- Finalmente se lava la torta y dejando secar en estufa, se homogeniza, cuarteo y se toma una muestra para análisis Químico.

Repetir el mismo procedimiento para cada prueba de cianuración.

4.8 DETERMINACIÓN DE LOS VARIABLES PARA LA CIANURACIÓN

Se procedió a preparar reactivos para realizar la determinación del consumo de cal y de cianuro libre, que se empleó durante la cianuración por agitación del mineral.

❖ Control de Cianuro libre

La determinación del cianuro libre se realizó por viraje con solución de nitrato de plata a 4.34 g/l, para esto se tomó una alícuota de 25 ml de pulpa que se filtró al vacío para separar los sólidos, del filtrado se tomó 5 ml en un vaso de precipitación y se llevó a titulación con una solución de AgNO_3 agregando 4 gotas de indicador yoduro de potasio.

El momento del viraje se produce cuando la solución cambia de transparente a ligeramente amarillo, se toma lectura del gasto de nitrato de plata, se calcula el cianuro libre por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{CN}^- \text{ Libre} = \text{gasto } \text{AgNO}_3 * \text{Vi}/2$$

Donde:

CN^- libre=gramos de cianuro libre

Gasto AgNO_3 = gasto de nitrato de plata al momento del viraje

Vi =volumen de agua para formar la pulpa

2= factor de equivalencia debido a que se toma 5 ml de pulpa filtrada

La cantidad de cianuro que se ha consumido es igual a la concentración de NaCN inicial menos el cianuro libre residual, este valor es el que debe ser adicionado para mantener la concentración inicial.

En el momento de detener el proceso se tituló el cianuro libre residual, que es el cianuro remanente en la pulpa.

❖ **Determinación de cal residual**

Para determinar la cal residual durante todo el proceso, se toma 5 ml de solución final, se colocan en un vaso de precipitación con dos gotas de fenolftaleína, adquiere una coloración fucsia, luego se titula con solución de ácido sulfúrico hasta obtener un viraje incoloro, se mide el gasto y se realiza el cálculo de la cal residual a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Cal Residual} = \text{gastoH}_2\text{SO}_4 * \text{Vi}/2$$

Donde:

Cal residual=gramos de cal

Gasto H_2SO_4 = gasto de solución de ácido sulfúrico al momento del viraje

Vi=volumen de agua para formar la pulpa

2= factor de equivalencia debido a que se toma 5 ml de pulpa filtrada

A este resultado le restamos la cal total adicionada y obtenemos como resultado la cal consumida durante el proceso.

Junto con los controles de pH y cianuro libre planificados, se extrajeron 25 ml adicionales que se almacenaron en un vaso plástico para posterior análisis químico.

Todas las cantidades extraídas de la solución fueron repuestas con agua para mantener la relación sólido-líquido inicial.

Para el control del pH simplemente se sumerge el electrodo del pH-metro PHM 80 portable COPENHAGEN en la pulpa, si la medición era menor a 10.5 se agregaba cal, siempre teniendo en cuenta la cantidad de cal agregada.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

El mineral fresco es analizado por el método de Microscopio Electrónico de Barrido, para determinar la ley inicial o de cabeza.

También se analizan las concentraciones de otros metales que pueden influir como agentes cianicidas en el proceso de la cianuración.

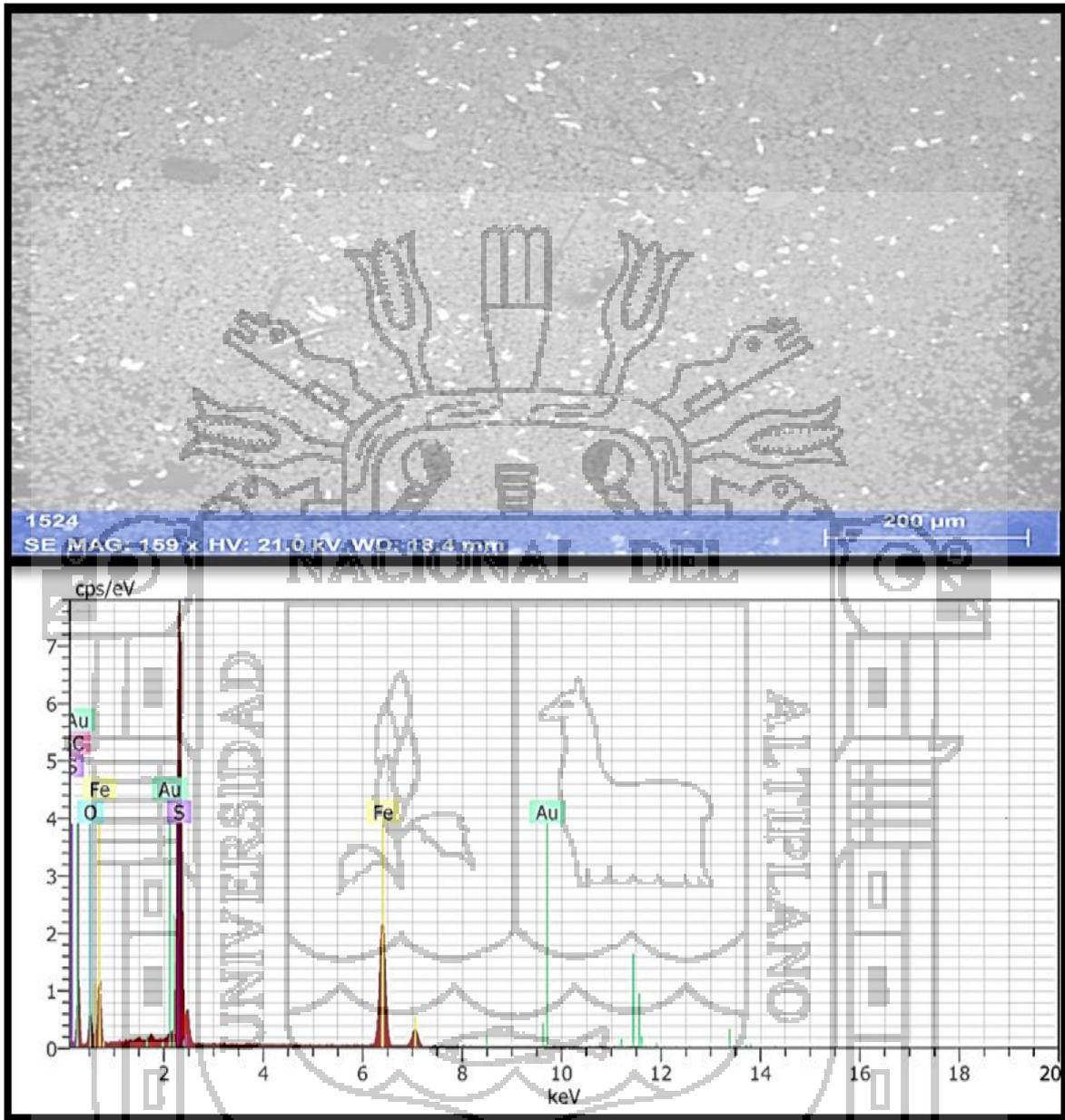
Tabla N° 16. Composición química del mineral

Mineral	Oro	Plata	Hierro	Azufre	oxígeno
Unidad	mg/kg	mg/kg	%	%	%
Resultado	3.88	-	30.5	32.5	16.16

Fuente: Laboratorio de Investigación UNA-Puno (Microscopio electrónico de Barrido)

La ley inicial de Au es de 3.88 mg/200 g (19.4 g/tn) como podemos ver en la (tabla N° 16), además existen concentraciones notables de agentes cianicidas tales como hierro, azufre, etc. El mineral es sulfurado, refractario.

Figura N° 18. Imagen de microscopio electrónico de barrido del mineral y su composición química



Fuente: Laboratorio de Investigación UNA-Puno

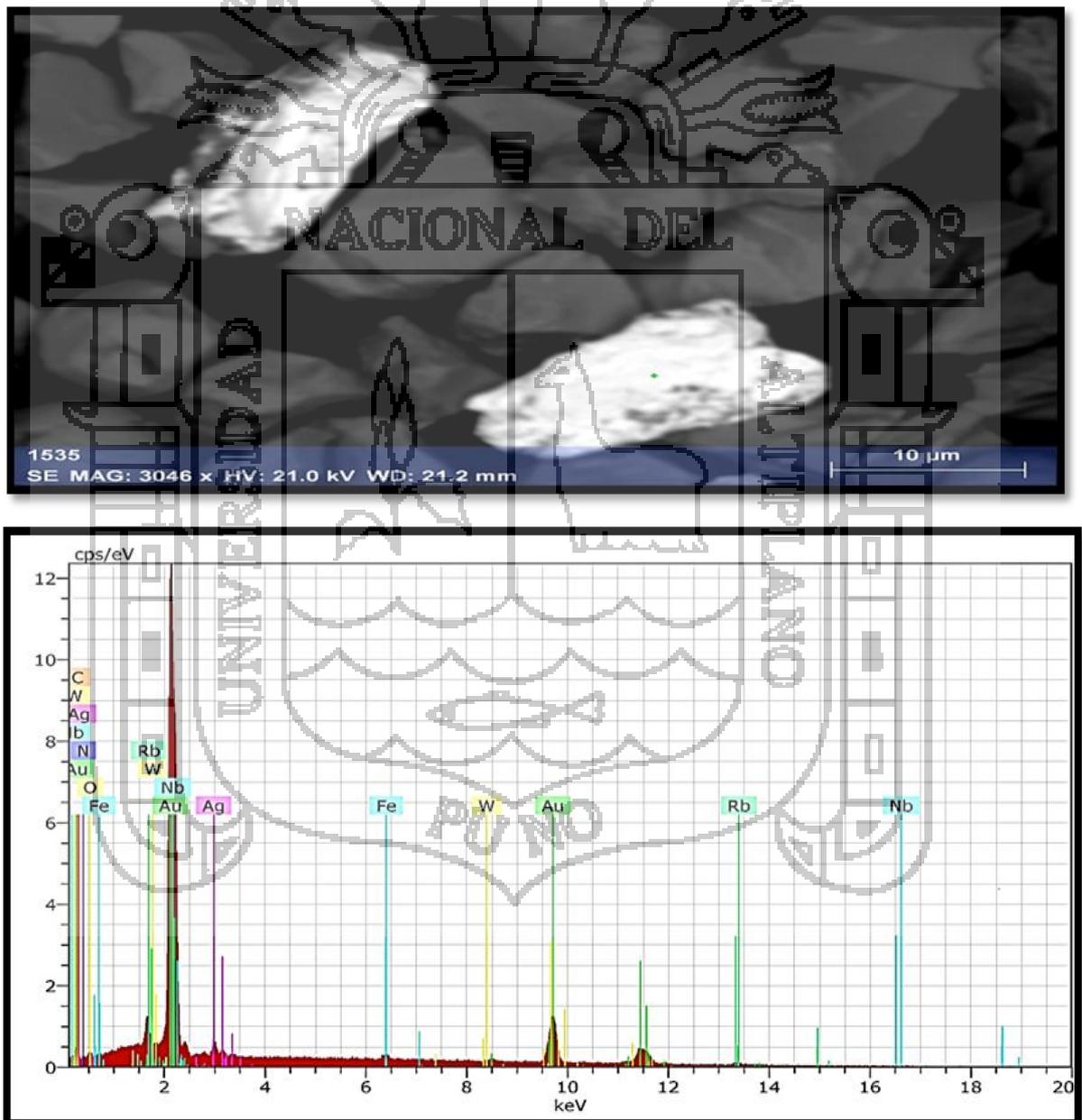
La ley asignada al oro puro es 24 quilates que corresponde a ppm parte por millón de oro; esto hace que una aleación de oro cuya ley sea de 18 quilates tenga $\frac{3}{4}$ de oro y $\frac{1}{4}$ de aleación de plata y otros elementos. Ósea, corresponde a 750 partes por millón de oro

Tabla N° 17. Pureza o quilate del oro

Metal	Au	Ag	N	O	Nb	W	Fe	Rb
%	61.32	2.91	14.06	8.19	7.49	2.58	0.95	0.60

Fuente: Laboratorio de Química de UNA-Puno

Figura 19. Imagen de microscopio electrónico de barrido del Oro (18 quilates)



Fuente: Laboratorio de Investigación UNA-Puno

5.1.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA

Tabla18. Resultados del análisis granulométrico del mineral 1600 g

Malla Tyler		Peso (g)	%Retenido	%Acumulado(Alimentación)	
N°	Abertura (mm, μm)	Retenido	Retenido	%Retenido	%Pasante
3/8"	9.50 mm	0	0	0	100
48	300 μm	11	0.68	0.68	99.32
65	212 μm	26	1.63	2.31	97.69
100	150 μm	56	3.50	5.81	94.19
150	106 μm	80	5.00	10.81	89.19
200	75 μm	210	13.13	32.94	76.06
270	53 μm	480	30.00	53.94	46.06
325	45 μm	380	23.75	77.69	22.31
400	38 μm	348	21.75	99.44	0.56
-400	-38 μm	9	0.56	100.00	0.00
TOTAL		1600	100.00		

Fuente: Elaboración propia

La interpretación granulométrica se realiza a conocer a que tiempo de molienda obtenemos una granulometría determinada, ya que los procesos tienen como una de las principales variables el tamaño de grano de mineral, para su mejor recuperación.

Según los resultados obtenidos la mejor distribución se encuentra en la granulometría ultra-fina de 325-400 malla

Se observa que en las mallas más finas el pasante retenido es mayor en comparación con mallas más gruesas, entonces encontramos mayor cantidad de ultra-finos; la molienda es la más adecuada.

5.1.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA CIANURACIÓN

Resultados de los mejores procesos de recuperación de oro por agitación mecánica y neumática.

Las operaciones de oro en cada tipo de agitación fueron:

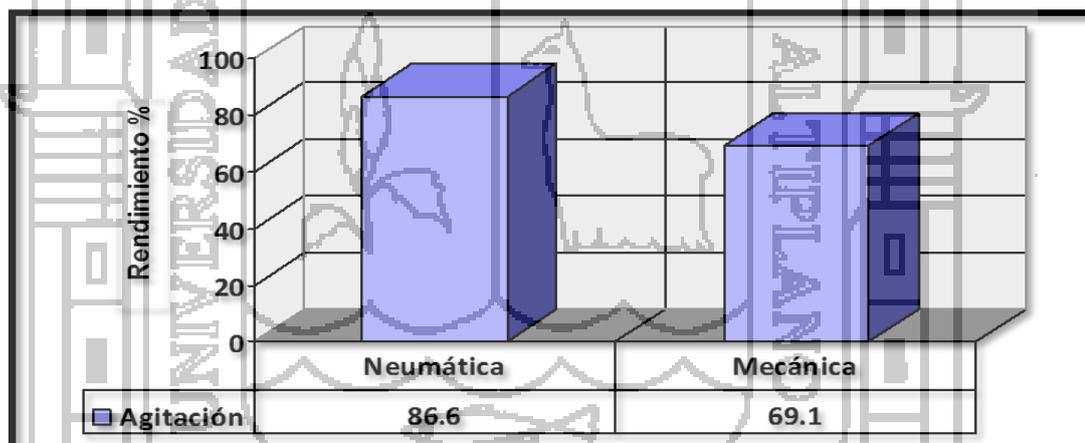
N₁ (0.75 g/L) Y M₂ (1.25 g/L)

Tabla 19. Balance metalúrgico de los procesos de agitación

Ensayo	Agitación	Entrada (mg)	Solución (mg)	Relave (mg)	Rendimiento (%)
N ₁	Neumática	3.88	1.12	0.54	86.6
M ₂	Mecánica	3.88	0.89	0.46	69.1

Fuente: Laboratorio de Química de UNA-Puno

Gráfico N° 1. Rendimiento de procesos de agitación



Fuente: Elaboración propia

El proceso de cianuración por agitación neumática permite el mayor rendimiento como se observa en el gráfico N° 1. Obtiene el 86.6% con relación a la mecánica de 69.1%

5.1.4 DETERMINACIÓN DE LOS VARIABLES PARA LA CIANURACIÓN

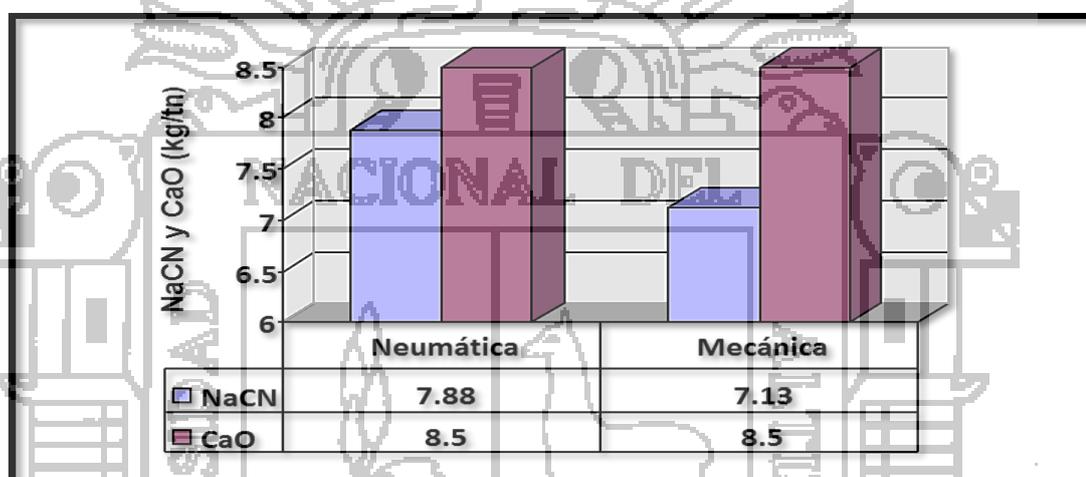
Resultados de consumo de reactivos de (NaCN, CaO)

Tabla N° 20. Consumo de NaCN y CaO para los mejores procesos de agitación

Ensayo (Inicial)	Agitación	CaO (g/L) (Inicial)	NaCN (kg/tn)	CaO (kg/tn)
N ₁ (0.75g/L)	Neumática	10	7.88	8.5
M ₂ (1.25g/L)	Mecánica	10	7.13	8.5

Fuente: Laboratorio de Química de UNA-Puno

Gráfico N° 2. Consumo de NaCN, CaO para los mejores procesos de recuperación de oro.



Fuente: Elaboración propia

El consumo de reactivos para la agitación neumática es de 7.88 kg/tn de NaCN y de 8.5 kg/tn de CaO como se observa en el gráfico N° 2. A pesar de que la agitación Mecánica emplea una concentración inicial 1.25 g/L de NaCN el consumo de este es bajo debido a las condiciones de operación del ensayo la agitación neumática tiene un consumo más elevado a concentraciones inicial de 0.75 g/L de NaCN por las condiciones de aireación de la pulpa. Sin embargo el consumo de NaCN es significativamente alto por la presencia de minerales cianicidas así como azufre, hierro, etc. La adición de cal fue necesaria para ajustar el pH en el proceso de cianuración.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1 IMPACTO SOBRE EL AMBIENTE FÍSICO.

❖ **Calidad del Aire.-** Es un impacto causado por el deterioro de la calidad del aire, se trata de un impacto indirecto de moderada significación, la generación de partículas en suspensión como producto de la ejecución del proyecto de tratamiento de minerales.

Las actividades correspondientes al transporte, almacenamiento de mineral y la consiguiente modificación topográfica, modificará la calidad del aire en el área de trabajo influenciando en ello la dirección y velocidad predominantes del viento, pudiendo afectar la salud del personal que labora en la planta y a poblaciones del entorno.

❖ **Niveles de Ruido.-** Por las características de la operación se va a producir un aumento de ruido en los niveles superficiales, en la sección chancado, molienda y/o electrógenos (casa fuerza) producen ruidos altos, sin embargo las labores a ejecutarse en el Proyecto están ubicadas lejos de agrupaciones poblacionales. Por lo que este impacto es considerado poco significativo, las actividades de transporte incidirán directamente sobre los niveles superficiales, sin embargo el ruido sólo afectará principalmente el área de trabajo.

Para el cuidado de la salud, los trabajadores que estén expuestos a estos ruidos deberán utilizar protectores auditivos.

❖ **Calidad de Suelos.-** Se da el impacto por alteración de los suelos, es un impacto directo de moderada significación, la pérdida de suelo se produce como producto de las actividades a realizar, ocupación de áreas para los componentes operacionales como el depósito de relaves, así como las trincheras de residuos sólidos, los depósitos de mineral, instalación de planta beneficio, etc.

En el área del proyecto y donde se emplazarán sus componentes operacionales y por consiguiente la maquinarias y/o vehículos existe el riesgo de afectación del suelo por derrame de combustible, aceites, grasas y lubricantes como producto de la manipulación de éstos.

A esto se adiciona pero en menor extensión y magnitud, la disposición de residuos orgánicos, que se efectuará en el pozo séptico, la disposición de residuos sólidos se realizará hacia el depósito de residuos de la Empresa.

❖ **Calidad del Agua.-** La afectación de aguas superficiales será en mayor proporción por la existencia de ellas en la mayor parte del año y por lo general después de largas temporadas, es un impacto indirecto, de alta significación en vista de los niveles de precipitación promedio anuales que se registran en el área que son extremadamente altos, y la existencia de cursos de agua permanentes.

Ya que la operación a desarrollar en el proyecto incluye tratamiento de minerales, con la consiguiente generación de relaves y la existencia de una alta probabilidad de presencia de aguas pluviales por lo que se requerirán de pozas de sedimentación.

❖ **Modificación de la Topografía.-** El desarrollo de las actividades como la disposición de mayores volúmenes de relaves en el área adyacente a la planta de beneficio en el Proyecto, producirá una mayor modificación de la topografía.

El efecto de modificación de relieve será principalmente visual y ha sido calificado como muy significativo por lo se requerirán medidas de mitigación destinadas a estabilizar taludes

6.2 IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL AMBIENTE BIOLÓGICO

➤ **Riesgo de Afectación a la Flora.-** La reducción de cobertura vegetal en el área del proyecto no es un impacto significativo puesto que es escasa, existe vegetación en sector de la quebrada seca y húmeda con mínima densidad poblacional.

Un gran porcentaje mayoritario del terreno superficial donde se emplazan los componentes del proyecto está formado por terrazas aluviales, de característica eriza y baja vegetación.

➤ **Riesgo de Afectación a la Fauna.-** El riesgo de afectación está dado sobre todo por:

- **Migración de Fauna:** La modificación y pérdida de hábitat y la presencia humana y de maquinaria. Así como las actividades de transporte alejará a la escasa fauna que en ocasiones se encuentra en tránsito por el área, la que no hará su paso por el sector.

De las evaluaciones hechas, se ha determinado que la fauna local está compuesta principalmente por aves, y mamíferos, estos últimos presentan una población escasa.

El riesgo de migración de fauna se ha calificado como poco significativo puesto que los efectos serán localizados y por lo que la densidad de fauna es baja y con poca diversidad.

6.3 IMPACTO EN EL AMBIENTE SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL

❖ **Riesgo de Afectación de la Salud.-** Los niveles de emisión de partículas en las áreas de origen como los depósitos de relaves, el recorrido de vehículos a través de los accesos así como la contaminación por polución generan un riesgo sobre la salud, principalmente en las vías respiratorias.

Por lo que será necesario implementar con equipos de protección respiratoria al personal, desarrollando asimismo el cumplimiento y práctica efectiva de las normas de seguridad e higiene minera. Se trata de un impacto adverso y significativo.

❖ **Generación de Empleo.-** Es un Impacto positivo y significativo, por la influencia en el incremento en el empleo local durante las operaciones.

Se usará principalmente mano de obra correspondiente a la circunscripción del área de influencia y distrital, principalmente de poblaciones vecinas, siendo este impacto de calificación positiva.

❖ **Mejora de los Niveles de Capacitación.-** La capacitación del personal se realizará en forma permanente, en los aspectos técnicos como en los aspectos de seguridad e higiene y medio ambiente, permitiendo mejorar los índices de seguridad y producción de la empresa, así como la sensibilizar al personal entre más relacionados con el ambiente, siendo éste un impacto positivo y significativo, generado por la actividad productiva en torno a la planta.

6.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL

De acuerdo al diagnóstico ambiental efectuado, y a los impactos potenciales identificados, se propone un conjunto de medidas de mitigación para los impactos negativos y medidas de potenciación para los impactos positivos:

➤ **Control de la Calidad de aire.-** Las medidas de control de calidad de aire que se tendrán en cuenta para el desarrollo de las actividades son las siguientes:

- Control de velocidad máxima de vehículos hasta 20 km/hr en el área de ejecución del proyecto, mediante avisos colocados en lugares estratégicos.
- Se utilizará un camión tipo cisterna para el riego frecuente de las vías de acceso para disminuir la generación de partículas en suspensión.
- Mantenimiento y ripiado de la carretera en las áreas de trabajo.
- Mantenimiento de equipos y maquinaria, para reducir riesgos de emisión de contaminantes.
- Prohibir la quema de residuos sólidos que pueda alterar la calidad del aire.
- Prohibir la acumulación de residuos sólidos en lugares no autorizados para su disposición.
- Cubrir con mantas la tolva de los vehículos que transportan mineral.
- Realizar periódicamente monitoreo de calidad del aire.
- Protección del personal en áreas de trabajo (protección visual, auditiva y respiratoria dentro del área del proyecto)

➤ **Mitigación de Ruidos.-** Los ruidos se generaran por el funcionamiento de las maquinarias y equipos dentro del área de trabajo.

Los cuales se podrán mitigar con las acciones siguientes:

- Realizar periódicamente monitoreo de Ruidos, en el área de trabajo y alrededores, para identificar los puntos críticos.

- Se protegerá a la maquinaria que produzca ruido que sobrepasa los niveles máximos permisibles que establecen las normas ambientales.
- Prohibir el uso de sirenas u otro tipo de fuente de ruido innecesario en los vehículos. Las sirenas solo serán utilizadas en casos de emergencia.
- Proporcionar protección auditiva a sus trabajadores, cuando el nivel de ruido o el tiempo de exposición sean superior a lo establecido en la legislación vigente.

➤ **Control de calidad de Agua.-** El desarrollo del proyecto, generará un requerimiento uso de agua, dado que estas son necesarias para su operación, así mismo estas sufrirán cambios en su calidad por lo que se prevé el control o monitoreo de éstas.

Así mismo la ocupación de áreas por los componentes del proyecto son un factor de alteración de las escorrentías superficiales naturales que puedan existir, por consiguiente se ha previsto la mitigación de este impacto acondicionando las siguientes medidas de mitigación:

- Mantenimiento de canales de coronación en el sector a aguas arriba que no permitan ingreso de aguas de escorrentía en cada una de las áreas en las que se emplazan los componentes operacionales (Depósito de relaves, La Planta, Canchas de Almacenamiento de Mineral, etc.)
- Mantenimiento de cauces naturales existentes.
- Se deberá efectuar monitoreo frecuente de aguas superficiales o escorrentías cercanas al proyecto de la Planta de Beneficio.

➤ **Alteración Topográfica.-** La modificación de la topografía se dará mayormente en la construcción de depósito de relaves e instalación de planta. En la etapa de construcción se producirá alteración de la topografía por disposición

de material de préstamo en la construcción del dique cuyo impacto será inevitablemente mitigado.

El efecto de modificación de relieve será principalmente visual y requerirá medidas de mitigación destinadas a estabilizar los taludes del mismo.

➤ **Prevención de Efectos Ocupacionales.-** La contaminación por polución y gases, además del incremento de los niveles de ruido en las áreas de trabajo generan un riesgo sobre la salud de los trabajadores.

A continuación se detallan las medidas más relevantes para la prevención de efectos ocupacionales:

- Usar equipo de protección personal tales como: protector de cabeza, botas con punta de acero, guantes, zapatos de seguridad, lentes protectores, protectores de ruido, correa de seguridad, etc. De acuerdo al tipo de trabajo que realizarán las personas
- Los trabajadores de planta de beneficio, usarán además de los mencionados en el párrafo anterior, equipo de protección respiratorio con filtros especiales para las partículas sólidas y gases.
- Disposición de carteles, indicadores de peligro y señalización de labores, maquinarias y equipos.
- Los trabajadores que laboren en áreas de elevados y prolongado niveles de ruido deberán utilizar tapones de oído.
- El personal que realice trabajos donde los materiales extraños puedan herir los ojos, usarán anteojos de protección para minimizar el riesgo.
- Efectuar jornadas de capacitación a los trabajadores y a la comunidad sobre normas de seguridad y salud ambiental. Editar boletines, etc.

➤ **Disposición de Desechos Orgánicos.-** Para la disposición final de los desechos orgánicos se ha previsto construir un sistema convencional de tratamiento y disposición de efluentes mediante la operación de un tanque séptico y una poza de percolación, que serán construidos en el área de campamento y dentro del perímetro del proyecto

Además para los desechos orgánicos sólidos se implementará un programa de manejo que incluye a una EPS – RS autorizada que maneje y realice su disposición final con equipos y tecnología acordes a las necesidades.

➤ **Mitigación de la alteración de la flora y fauna.-** Para mitigar la alteración del ecosistema por el ruido que se generará por las actividades del proyecto La que podría alejar temporalmente a la escasa fauna, se tomarán las siguientes medidas:

- Forestación del área con árboles que puedan crecer en el medio de acuerdo a los suelos y clima existente.
- Cubrimiento de los equipos que generen ruidos, de tal manera que no perturbe a la poca fauna existente y permanezca en el área.
- Impartir capacitación y crear conciencia sobre el cuidado de la flora, fauna y en general el cuidado del medio ambiente.
- Prohibición de la caza de animales o aves en la zona del proyecto.

6.5 PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL

Son acciones programadas que están orientadas al control de los componentes ambientales que se consideran serán afectados por las actividades del proyecto.

Dentro de las acciones de monitoreo a llevar a cabo se tienen las siguientes:

❖ **Calidad del Aire y Emisiones Gaseosas.-** Se establecerán dos puntos de monitoreo de la calidad de aire, a fin de controlar la polución y mantenerlo

Si fuera el caso, por debajo de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por la Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM y del D.S. N° 074-2001-PCM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, teniendo en cuenta para ello los puntos ya establecidos.

❖ **Calidad de Agua.-** Se establecerán puntos de monitoreo: 01 muestra en los pozos de los cuales se extrae el agua y que en la actualidad corresponde a un punto de monitoreo de calidad de agua.

A fin de controlar la posible contaminación generada por el procesamiento de minerales de la Planta, sus parámetros serán controlados acorde a la Ley de Recursos Hídricos.

No se tendrán vertimientos en el sistema de procesamiento de minerales y en general de las operaciones.

Los efluentes domésticos serán manejados a través de un tanque séptico y poza de percolación en el sector donde no exista presencia de aguas subterráneas y también a través de una EPS Ambiental, quien dará la certificación de disposición final del producto.

La frecuencia del monitoreo de agua será trimestral, siendo informadas oportunamente a la Autoridad Regional Ambiental y a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

❖ **Plan de Manejo Social.-** El desarrollo de las actividades del proyecto será ajena a las poblaciones del entorno, y de manera positiva contribuirá a su desarrollo, ya que no habrá conflictos de intereses sino más bien confluencias de necesidades, siendo el interés común de la población y el titular de la unidad

minera establecer lazos de comunicación para coordinar algunas acciones de apoyo para el beneficio de la población tales como: el mejoramiento de las vías de acceso.

6.6 ANÁLISIS Y MONITOREO DEL CIANURO

Los análisis de cianuro son necesarios para controlar las operaciones, evaluar la toxicidad y el cumplimiento normativo, así como para informar al público sobre la manipulación de materiales peligrosos. Monitorear el cianuro durante y después la recuperación del oro es esencial para la buena práctica operativa y la protección de la salud y el ambiente. Con el fin de asegurar la calidad de la información disponible y tomar decisiones, son necesarios rigurosos protocolos de muestreo y procedimientos analíticos. Esto exige una estricta planificación y un desempeño excelente por parte del personal entrenado para trabajar con sistemas bien diseñados y bien administrados. Ver anexo N° 2.

6.7 CÓDIGO INTERNACIONAL PARA EL MANEJO DEL CIANURO

Teniendo en cuenta que el Código se aplica a operaciones mineras de oro, el Código consta de dos componentes principales. En la parte de «Principios», se detallan, a grandes rasgos, los compromisos que los signatarios adquieren para manejar el cianuro de una manera responsable. En la sección de «Normas de Procedimiento» se sigue cada Principio y se identifican metas y objetivos de desempeño que deben ser cumplidos para acatar cada Principio:

1 PROVEDOR: Comprar cianuro de aquellos fabricantes que utilicen las prácticas y los procedimientos apropiados para limitar la exposición de sus trabajadores al cianuro y para prevenir escapes de cianuro al medio ambiente.

2 TRANSPORTE: Proteger a las comunidades y al medio ambiente durante el transporte de cianuro:

- Establecer líneas claras de responsabilidad en cuestiones de seguridad, protección, prevención de escapes, capacitación y respuestas de emergencia, mediante acuerdos escritos establecidos con fabricantes, distribuidores y transportistas
- Exigir que los transportistas de cianuro implementen planes y adopten aptitudes de respuesta ante emergencia adecuados, y que tomen las medidas pertinentes para el manejo del cianuro.

3 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO: Proteger a los trabajadores y al medio ambiente durante la manipulación y el almacenamiento del cianuro:

- Diseñar y construir instalaciones para la descarga, el almacenamiento y mezclado que estén en consonancia con prácticas de ingeniería sólidas y aceptadas, así como con los controles de calidad y los procedimientos necesarios para garantizar la calidad, evitar derrames y proporcionar medios de contención de derrames.
- Operar las instalaciones de descarga, almacenamiento y mezclado utilizando inspecciones, mantenimiento preventivo y planes de contingencia para prevenir o contener escapes y para controlar y responder a la exposición de los trabajadores

4 OPERACIONES: Manejar adecuadamente las soluciones del proceso de cianuración y los flujos de desecho, para proteger a la salud humana y al medio ambiente:

- Implementar sistemas de gestión y operación diseñados para proteger a la salud humana y al medioambiente, lo que incluye planificación de contingencia, inspecciones y procedimientos de mantenimiento preventivo.
- Introducir sistema operativos y de gestión para minimizar el uso de cianuro, y así limitar la concentración de cianuro en los relaves de tratamiento.
- Implementar un programa integral de gestión del agua para evitar escapes accidentales.
- Implementar medidas para proteger las aves, otro tipo de vida silvestre y ganado contra los efectos adversos de las soluciones del proceso de la cianuración.
- Implementar medidas diseñadas para manejar la filtración de las instalaciones de cianuro y así proteger los usos beneficiosos del agua subterránea.
- Proporcionar medidas de prevención y contención de derrames para tanques y tuberías del proceso.
- Implementar procedimientos de control o de garantía de la calidad para confirmar que las instalaciones de cianuro están construidas según normas y especificaciones de ingeniería aceptadas.
- Implementar programas de monitoreo para evaluar los efectos del uso de cianuro en la vida silvestre y en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

5 SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES: Proteger a la salud de los trabajadores y su seguridad de la exposición por cianuro:

- Identificar escenarios posibles de exposición a cianuro y tomar las medidas para eliminar, reducir y controlar dichos escenarios.

- Operar y monitorear las instalaciones de cianuro, con el fin de proteger la salud y la seguridad de los trabajadores y evaluar periódicamente la efectividad de las medidas de salud y seguridad.
- Diseñar e implementar planes y procedimientos de respuesta ante emergencias para responder ante la exposición de los trabajadores al cianuro.

6 RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS: Proteger a las comunidades y al medio ambiente mediante el diseño de estrategias y capacidades de respuesta ante emergencias:

- Preparar planes detallados de respuesta ante emergencias para casos de escapes potenciales de cianuro.
- Hacer participar en el proceso de planificación al personal del lugar de trabajo y a los demás interesados.
- Designar personal apropiado y comprometer los equipos y recursos para la respuesta ante emergencias.
- Diseñar procedimientos para la elaboración de informes y notificaciones internas y externas sobre emergencias.
- Incorporar, a los planes de respuesta, elementos de monitoreo y medidas de saneamiento que contemplen los peligros adicionales relacionados con la utilización de químicos en tratamientos de cianuración.
- Evaluar periódicamente los procedimientos y capacidades de respuesta, y proceder a corregirlos cuando sea necesario.

7 CAPACITACIÓN: Capacitar a los trabajadores y al personal de respuesta ante emergencias para que manejen el cianuro de un modo seguro y respetuoso del medio ambiente:

- Capacitar a los trabajadores para que comprendan los peligros asociados al uso del cianuro.
- Capacitar al personal correspondiente para operar las instalaciones según sistemas y procedimientos que protejan la salud humana, las comunidades y el medio ambiente.
- Capacitar a los trabajadores y personal correspondiente para responder ante la exposición de los trabajadores o ante el escape de cianuro al medio ambiente.

8 DIÁLOGO: Participar en tareas de divulgación y consultas públicas:

- Proporcionar a los interesados la oportunidad de comunicar temas de su inquietud.
- Establecer un diálogo para describir los procedimientos de manejo del cianuro y abordar responsablemente las inquietudes identificadas.
- Poner a disposición de los interesados la información apropiada relacionada con cuestiones operativas y medio ambientales del cianuro.

6.8 PLAN DE CIERRE Y POST CIERRE

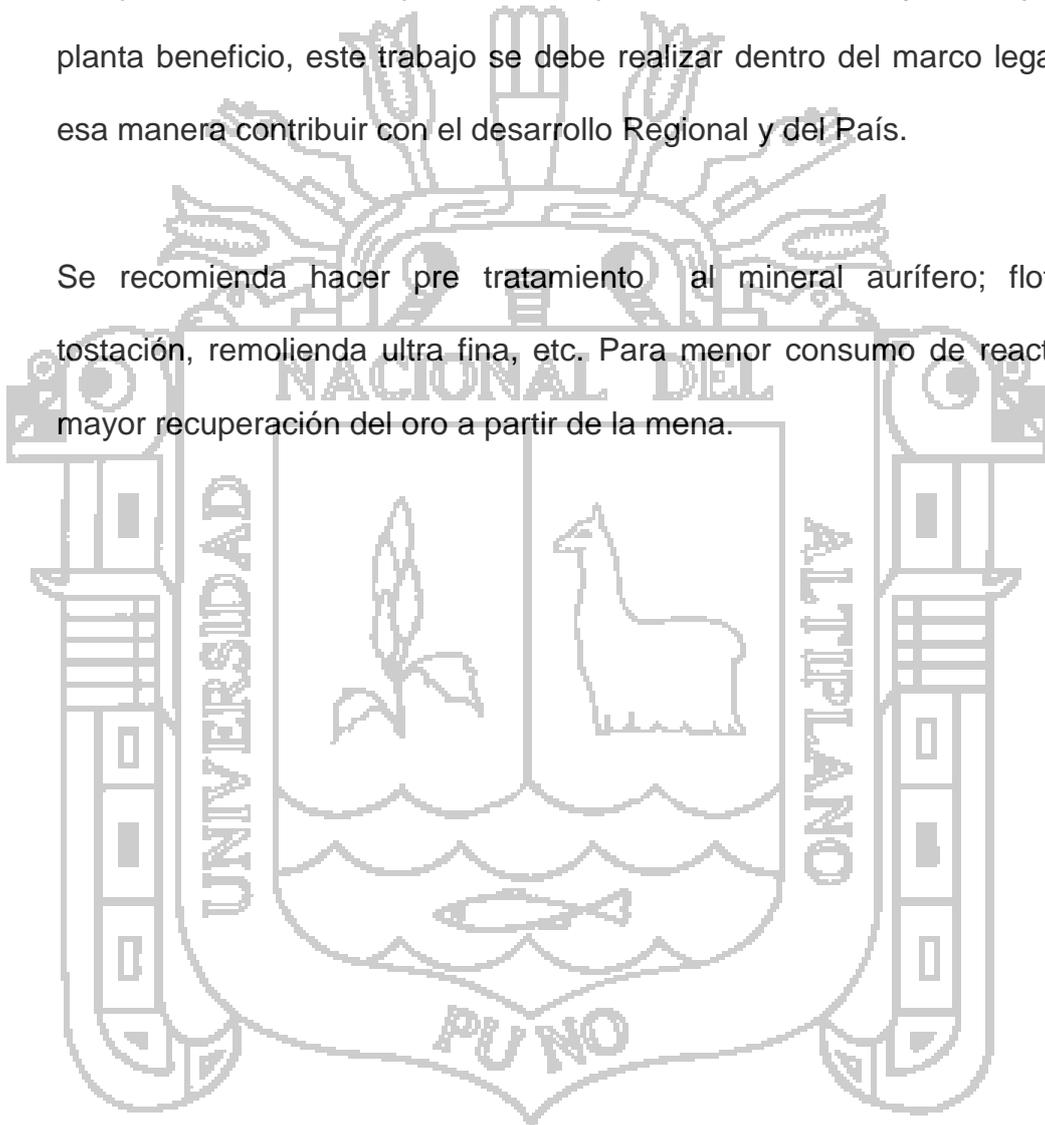
El plan de cierre y post cierre es un programa de acciones que se deben ejecutar para que el medio ambiente del entorno de las operaciones sea restituido a una condición similar, o mejor, a la que existía antes de que se iniciara la actividad minera. Las acciones del plan de cierre y pos cierre deben garantizar que las condiciones ambientales se mantengan en el largo plazo y se logre entonces un uso apropiado de la tierra.

CONCLUSIONES

- ❖ Que habiendo realizado la determinación de la composición química a través de microscopio electrónico de barrido del mineral aurífero de baja ley los resultados obtenidos indican que el oro presente en el mineral, se presenta a un tamaño muy fino a 325-400 malla y que la gran mayoría está como oro expuesto. Por tal motivo se requiere que el mineral sea molido muy finamente para su posterior tratamiento.
El análisis químico de cabeza del mineral fresco nos determina una concentración de Au: 3.88 mg/200 g (19.5 g/tn). Composición química del mineral es sulfurado pirítico con una porcentaje de S, 32.5% de Fe. Con una ley de 80-85% de oro (18 quilates).
- ❖ En la cianuración del mineral por agitación (N_1 , M_2), se obtiene una recuperación de oro 86.6%, 69.1%, por un periodo de tiempo de 24 horas. El bajo recuperación de oro en los procesos de agitación es debido a presencia de elementos cianicidas y consumidores de oxígeno.
Los parámetros óptimos en los ensayos de N_1 , M_2 en el proceso de cianuración es de 7.88 kg/tn, 7.33 kg/ton de NaCN, 8.5 kg/ton, 8.5 kg/tn de CaO.
- ❖ Se realizó el diseño de diagrama de flujo combinado de lixiviación dinámica de minerales auro-argentíferos de “San Juan Cien”, FLOW SHEET y siendo el proceso de tratamiento apropiado para el mineral la cianuración convencional por agitación, ya que la granulometría muy fina es apropiada para este tipo de cianuración, trabajando con una pulpa al 33% en peso de sólidos.

RECOMENDACIONES

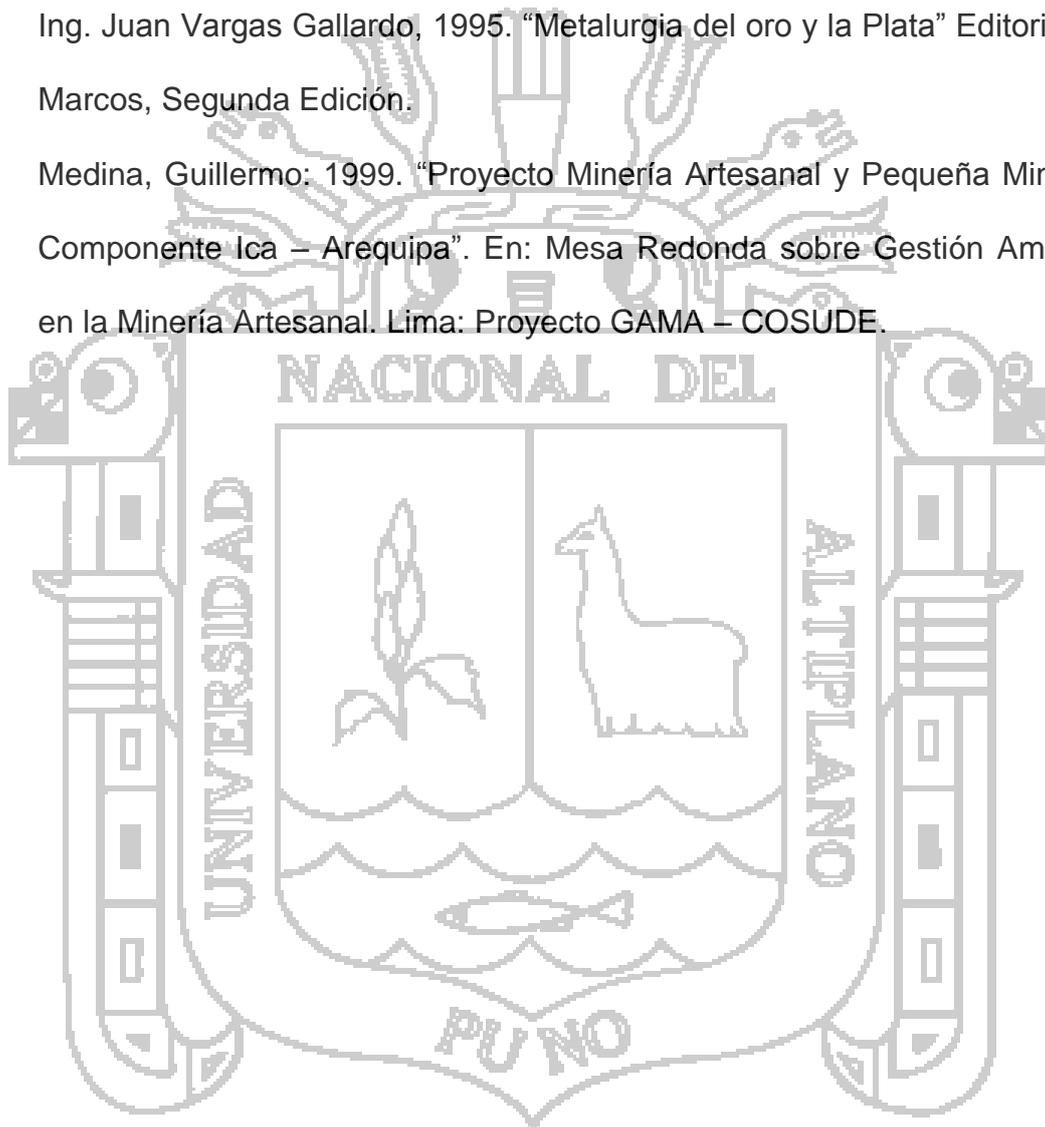
- ❖ Se recomienda usar agitación mixta en lugar de mecánica en la mina “San Juan Cien” para lixiviación de minerales auríferos para mejor extracción del oro. La cianuración por agitación dinámica es una alternativa para la recuperación de metal precioso, su posterior instalación y montaje de la planta beneficio, este trabajo se debe realizar dentro del marco legal y de esa manera contribuir con el desarrollo Regional y del País.
- ❖ Se recomienda hacer pre tratamiento al mineral aurífero; flotación, tostación, remolienda ultra fina, etc. Para menor consumo de reactivos y mayor recuperación del oro a partir de la mena.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corporación minera ANANEA S.A. Estudio de impacto ambiental. CEPRODESMA Centro de Promoción Desarrollo Social y Medio Ambiente.
- Chaparro Eduardo, 2000. La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial, Serie Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Santiago de Chile.
- EKAMOLLE: Módulos de Capacitación para Actores Sociales involucrados en la actividad minera artesanal – desarrollado para CECOMSAP. Documento de trabajo. Lima: EKAMOLLE – Proyecto GAMA, 2002 Los mineros artesanales de Amanea – Puno – Perú. Documento de trabajo. <http://www.ekamolle.org>
- Eric Tapia & Francisco Lara Empresa Sociedad Minera la Milagrosa S.A. SOMIMSA de Plan de Negocios.
- Hruschka, Félix. 2001 Una propuesta integral para la minería artesanal del Perú. Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica. Lima: Proyecto GAMA – COSUDE / MEM / Proyeckt-Consult.
- Fidel Sergio Misari, 1993 “Metalurgia del Oro” Primera edición
- Dr. Félix Hruschka – Proyecto Gama Organización Internacional del Trabajo OIT – Programa IPEC Cooperación y Acción Solidaria para el Desarrollo sobre el Diseño de Planta Beneficio Mineral para SOTRAMI.
- IMM Kalgorlie, 1982. Carbón in Pulp technology for the extractive of gold seminer. Carbón in Pulp in South Africa Australia, p.23.

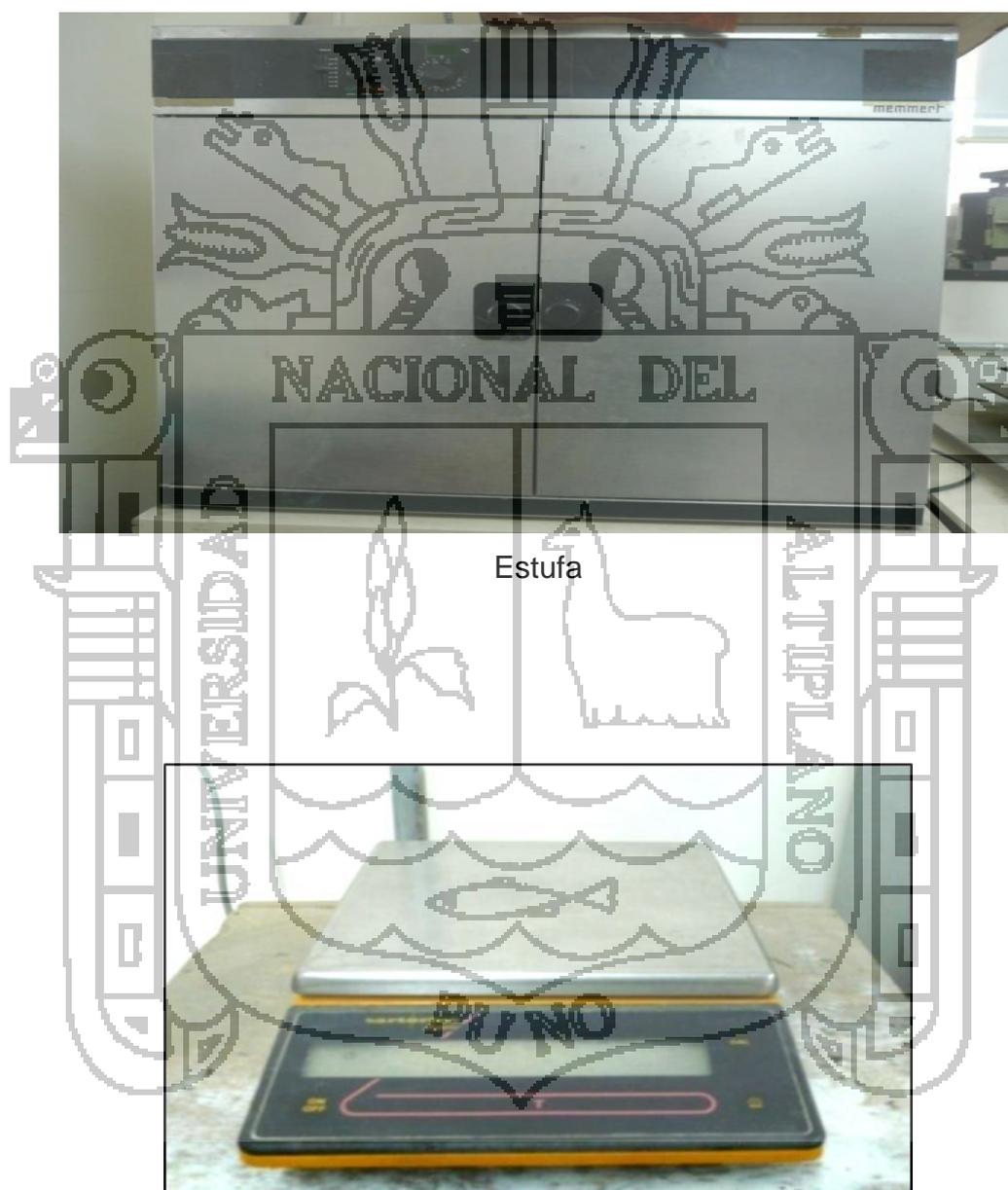
- Kuramoto, Juana. 2003. Avances sobre el marco conceptual de la investigación y de las herramientas metodológicas en la Investigación en red sobre organización e Institucionalidad de la minería en pequeña escala, documento interno. Lima.
- Ing. Juan Vargas Gallardo, 1995. “Metalurgia del oro y la Plata” Editorial San Marcos, Segunda Edición.
- Medina, Guillermo: 1999. “Proyecto Minería Artesanal y Pequeña Minería – Componente Ica – Arequipa”. En: Mesa Redonda sobre Gestión Ambiental en la Minería Artesanal. Lima: Proyecto GAMA – COSUDE.



ANEXOS

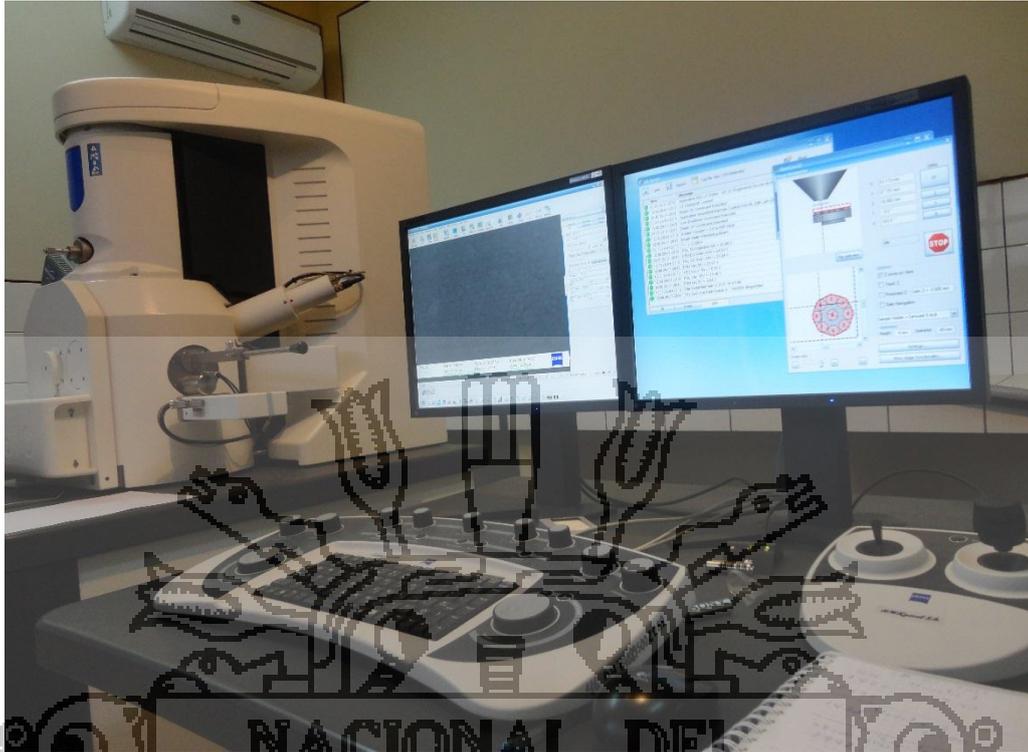
ANEXO N° 1.

FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS USADOS Y MUESTRA

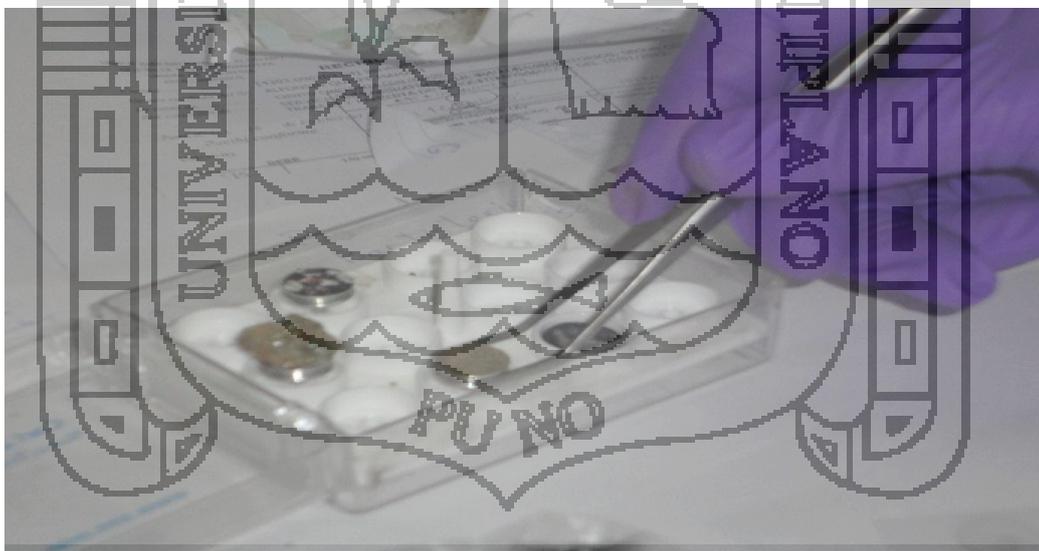


Estufa

Balanza



Microscopio Electrónico de Barrido de Laboratorio de Investigación UNA-Puno



Colocando el mineral (muestra)

ANEXO N° 2.

LA MINERÍA Y EL CIANURO

La MINERÍA y el *CIANURO*

Alrededor de 1.4 millones de toneladas de ácido cianhídrico* es producido anualmente en el mundo, de los cuales sólo un 8 % es convertido a Cianuro de Sodio (NaCN) sólido y es usado en la extracción de metales preciosos.

NACIONAL DEL
A NIVEL MUNDIAL

LAS EMPRESAS MINERAS SIGUEN LOS PROTOCOLOS
ESTABLECIDOS POR



Programa de las Naciones Unidas para el
Medio Ambiente (UNEP)



Consejo Internacional de Metales y el Medio
Ambiente (ICME).

expresados en el

CODIGO INTERNACIONAL DEL MANEJO DEL CIANURO

En nuestro país la actividad minera está reglada por la Ley de Inversiones Mineras N° 24.196 de 1.993 y por la Ley Ambiental N° 24.585/96.

¿Qué es el Cianuro?

- Una sustancia química.
- Sal del ácido cianhídrico (Según el Diccionario de la Real Academia).
- La unión de una molécula de Carbono (C) y Nitrógeno (N).
- Sustancia tóxica y potencialmente letal si no es manejada con cuidado y responsabilidad.
- Producto con gran variedad de aplicaciones en muchas industrias.
- Una sustancia química industrial, que se ha usado desde el año 1887, en Minería, para la extracción de metales.
- Reactivo químico que forma un compuesto de oro soluble en agua.

«... un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno».

Logdson y otros, *El Manejo del Cianuro en la Extracción del oro*

¿Cuáles su origen?

El CIANURO (CN) tiene dos orígenes

Natural



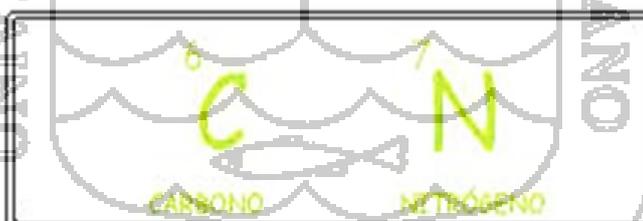
Se origina a través de Procesos Bioquímicos en la Naturaleza

Artificial



Se produce a través de Procesos Químicos en la industria.

Tanto el Cianuro producido por la Naturaleza como el manufacturado por el hombre tienen la misma
COMPOSICIÓN QUÍMICA:



(El Carbono y el Nitrógeno unidos forman el 80% del AIRE que respiramos.)

¿Cómo se presenta?

El cianuro puede presentarse como

un GAS INCOLORO:

- Cianuro de hidrógeno (CNH)
- Cloruro de cianógeno (CNCl)

en forma de CRISTALES:

- Cianuro de sodio (NaCN) (sólido)
- Cianuro de potasio (CNK), (sólido)

El NaCN (cianuro de sodio) es el más utilizado por su fácil manejo y transporte.

El CNH (cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico) es de efecto letal sobre las especies humana y animal en bajas concentraciones. Por ello su empleo en la industria está muy restringido.

En la Naturaleza

El Cianuro existe espontáneamente en la naturaleza. Es producido en pequeñas cantidades por muchas plantas, verduras y animales que lo utilizan como un mecanismo de protección en su etapa de crecimiento al convertirlos en una fuente alimenticia poco atractiva, en ese periodo.

Se encuentra con el nombre de *amigdalina* en concentraciones que oscilan entre los 377 y los 2.500 mg por kilo.

Muchos científicos sostienen que el cianuro fue el primer compuesto orgánico en el Planeta, del cual evolucionaron los componentes químicos de la vida.

«Miles de animales, plantas, insectos, hongos y bacterias forman, excretan y degradan cianuro. El cianuro que potencialmente se produce y libera durante la digestión o la cocción de plantas cianogénicas puede alcanzar niveles del orden de centenas de partes por millón. La ingestión de plantas de este tipo puede causar la muerte en animales y el envenenamiento crónico en seres humanos». (Ing. Químico, Mike Botz y Dr. en Ingeniería y Ciencia Ambiental, Terry Mudder)

¿Cuánto CN tienen algunos productos?

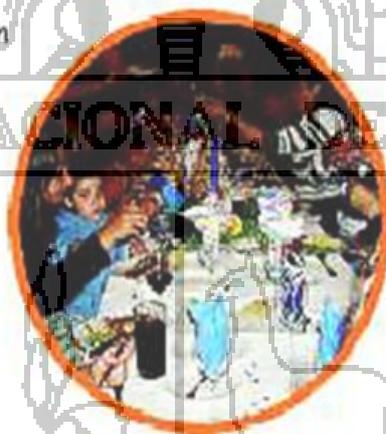
Café.....hasta 6 ppm*

Sal de Mesa.....hasta 13 ppm

Humo del Cigarrillo.....hasta 70 ppm

Almendra.....hasta 100 ppm

* ppm: partes por millón



¿Se imaginan cuánto cianuro recibe nuestro cuerpo en una fiesta de cumpleaños, una cena de Navidad, un casamiento?

Evidentemente, convivimos con él sin que nos afecte mayormente. Lo cual no significa que no debamos tener cuidado y prestar mucha atención para evitar problemas de salud que pueden llegar a ser irreversibles.

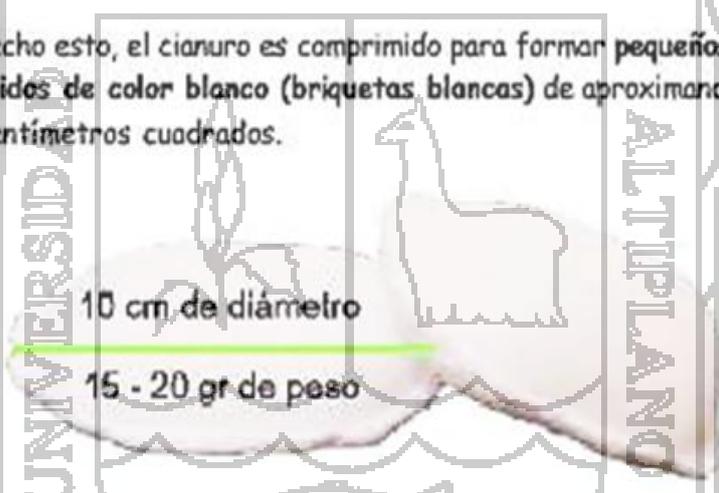
Cianuro Artificial

Las industrias emplean cianuro bajo diversas formas. Pero es el **CIANURO SÓLIDO** el que más se emplea en la industria porque puede ser utilizado y transportado con mayor facilidad y menor riesgo.

El Cianuro de Sodio es producido por la reacción química entre el ácido cianhídrico y la soda cáustica.

El ácido cianhídrico se obtiene como subproducto del proceso de manufactura de fibras acrílicas y plásticas, o como un producto directo de la reacción entre el amoníaco y el gas natural. El agua que se forma en la reacción para producir el cianuro de sodio, es eliminada a través de un proceso de filtración y secado.

Hecho esto, el cianuro es comprimido para formar pequeños ladrillos sólidos de color blanco (briquetas blancas) de aproximadamente diez centímetros cuadrados.



10 cm de diámetro

15 - 20 gr de peso

Estas briquetas están diseñadas de forma que sufran menor degradación al ser manipuladas. Además, las pastillas no ruedan al volcarse el recipiente que las contiene.

MINERÍA

El Cianuro se utiliza para extraer metales preciosos (por ejemplo: oro).



El cianuro es un reactivo químico que disuelve el oro en agua. Es una sustancia química industrial, usada en Minería para la extracción de metales desde el año 1887.

Las soluciones usadas en la extracción del oro son muy diluidas 0.01% y 0.05% o lo que es lo mismo entre 100 a 500 ppm

El metal luego es utilizado para:

- armar los circuitos electrónicos de las computadoras
- recubrimiento de oro en vidrio
- fotografía
- monedas
- joyería
- vehículos espaciales
- en medicina
- odontología
- teléfonos celulares



¿QUÉ SE HACE CON LOS EFLUENTES y el CIANURO?

Esta es una de las preguntas que genera más preocupación en la población.

Conocer las estrategias que llevan a cabo las empresas mineras con estos efluentes y los controles que las autoridades específicas ejercen sobre las mismas, es indispensable para poder juzgar.

Las soluciones de cianuro de sodio que se emplean en las minas son REUTILIZADAS muchas veces, lo cual permite la utilización de una menor cantidad de esta sustancia química.

Para desechar los efluentes de cianuro de sodio, existen varios procesos cuyo empleo está supeditado a los requerimientos específicos de cada caso:

- Degradación natural por evaporación solar o por destrucción anaeróbica.
- Oxidación química por cloruros, peróxidos, aire y dióxido de azufre o por ozono.
- Formación de materiales de baja toxicidad por tratamiento con sulfato ferroso o clorato ferroso.

El cuadro que sigue divide los diversos métodos para limpiar los efluentes y especifica la característica sobresaliente de cada tipo de efluente.

Procesos de tratamiento del Cianuro

Proceso de tratamiento	Extracción del cianuro de hierro	Extracción del cianuro WAD	Aplicable en barros	Aplicable en soluciones
SO ₂ /Aire	X	X	X	X
Peróxido de hidrógeno	X	X		X
Acido de Caro		X	X	
Cloración alcalina	X	X		X
Precipitación de hierro	X	X	X	X
Carbón activado	X	X		X
Biológico	X	X		X
Recuperación de cianuro		X	X	X
Atenuación natural	X	X	X	X

Bolz, M. y Muddler, T. «Modeling of Cyanide Degradation in Tailings Impoundments», Proceedings of the 1999 AIIME/SME Annual Meeting, Denver.

Diversos tipos de cianuro (históricamente aceptados): libre - fácilmente dissociable (WAD) - total - posible de cloración (CAC). El procedimiento analítico para cianuro WAD fue elegido por las autoridades normativas y la industria para medir el cianuro toxicológicamente significativo «o «ecológicamente sensible».

CONTROL DE LOS RESIDUOS

Para el control de los residuos generados por los procesos existen regulaciones contenidas en las leyes ambientales y en códigos internacionales de manejo del cianuro.

Comprenden regulaciones desde su fabricación, transporte, manipulación, aplicación, deposición, recuperación y destrucción.

La CAEM

Adhiere a estas normas de buen uso y dispone el siguiente

Código de Conducta Ambiental

ante el empleo de Cianuro así como al principio de

Desarrollo Sostenible

para la industria minera.



La Cámara Argentina de Empresarios Mineros declara su adhesión al principio de Desarrollo Sostenible de la industria minera y, reconociendo que los minerales son esenciales para el desarrollo y bienestar de la comunidad, afirma que su aprovechamiento debe realizarse conforme a las siguientes normas de conducta:

1. La salud y la seguridad en el trabajo constituirán objetivos prioritarios en la gestión de las operaciones mineras.
2. La exploración, extracción, transformación, transporte y distribución de minerales, debe realizarse en forma profesional, ambientalmente responsable y cumpliendo y haciendo cumplir la legislación vigente en el país.
3. La aplicación de prácticas eficientes en la extracción y utilización de los minerales, debe llevarse a cabo en armonía con la protección ambiental y el desarrollo sostenible de los recursos naturales.
4. La armonización de los legítimos intereses empresariales y productivos busca contribuir a una vida digna y al desarrollo sostenible de la sociedad.
5. Es objetivo concreto de nuestra industria la promoción de prácticas mineras sostenibles para alcanzar la protección ambiental y el uso eficiente de los minerales, alentando el empleo de tecnologías eficaces que contribuyan a proteger y conservar la flora, fauna y ecosistemas, así como a prevenir cualquier situación negativa.
6. Respeto por las culturas, costumbres, principios y valores de la sociedad en las que actuamos, fomentando el diálogo y la participación de los distintos grupos sociales en proyectos de desarrollo local.

Fuente: Ing. Esteban Rosado la Edición de "Minería y el Cianuro" Universidad Nacional de JUJUY de San Salvador de Jujuy Argentina (Julio-2012)

ANEXO N° 3.**PLANOS DE UBICACIÓN DEL PROYECTO**

- a) Plano de Ubicación Geográfica – Política (P-1 Ubicación Política Lam A3)
PDF
- b) Plano Topográfico (P-2 Topografía Lam A3.h) PDF



ANEXO N° 4

LEYENDA Y SU FLOW SHEET DE CIANURACIÓN POR AGITACIÓN

PROPUESTA (P-3 Diagrama de Flujo Lam A3 v) PDF

Tabla N° 21. Leyenda de FLOW SHEET de cianuración por agitación

N°	Especificación	Cantidad	Tamaño	HP
1a	Cancha de almacenamiento de mineral	1	40m*80m	—
1b	Parrilla estática de 5" de abertura	1	4.7m*5.4m	—
1c	Tolva de gruesos de concreto armado de 75m ³	1	5m*6m*2.5m(H)	—
2a	Faja transp. De alimentación a trituradora primaria	2	20"*3m	3.0
2b	Faja transportadora de alimentación a zaranda	1	20"*15m	6.0
2c	Faja transp. De alimentación a trituradora secundaria	1	20"*15m	6.0
2d	Faja transp. De alimentación a tolva de finos	1	20"*15m	7.0
2e	Faja transportadora de descarga de tolva de finos	2	20"*3m	3.0
2f	Faja transp. De alimentación a molino primario	1	20"*6m	5.0
3	Trituradora de quijada (primaria)	1	10" *12"	12.0
4	Trituradora cónica (secundaria)	1	1.6'	15.0
5	Zaranda vibratoria de malla	1	4' *6'	7.0
6	Tolva de finos de concreto armado de 105m ³	1	5m*6m*3.5m(H)	—
7a	Molino de bolas de circuito primario	1	4' *5'	20.0
7b	Molino de bolas(remolienda) de circuito primario	1	4' *4'	16.0
7c	Molino de bolas(remolienda) de circuito primario	1	4' *4'	16.0
7d	Molino de bolas(remolienda) de relave de flotación	1	4' *4'	16.0
7e	Molino de bolas(remolienda) de cianuración	1	4' *4'	16.0
8a	Bomba de alimentación de hidrociclón	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8b	Bomba de alimentación de hidrociclón(remolienda)	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8c	Bomba de lechada de cal del circuito	2	3/4" * 1/2"	1.0
8d	Bomba de dosificación de cianuro concentrado	1	3/4" * 1/2"	1.0
8e	Bomba de agua industrial	1	3/4" * 1/2"	1.0
8f	Bomba de concentrado de relave de flotación	1	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8g	Bomba de remolienda de relave de flotación	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8h	Bomba de remolienda de pulpa cianurada	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8i	Bomba de vacío	1	1" * 1"	2.0
8j	Bomba de alimentación de filtro prensa	1	2" * 2"	2.5
8k	Bomba de recirculación de solución barren	1	2" * 2"	2.5
8l	Bomba de relave de flotación	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8m	Bomba de relave de cianuración o residuo repulpado	2	1 1/4" * 1 1/4"	3.0
8n	Bomba de retorno de agua industrial del Dique(relave)	2	2" * 2"	2.5
9a	Hidrociclón de circuito primario	1	D - 6	—
9b	Hidrociclón de remolienda de circuito primario	1	D - 6	—
9c	Hidrociclón de remolienda de relave de flotación	1	D - 6	—
9d	Hidrociclón de remolienda de cianuración	1	D - 6	—
10	Concentrador jigs de diafragma	2	2' * 3'	2.0
11	Tanque de agua de concreto armado de 108m ³	1	6m* 6m* 3m(H)	2.5
12a	Concentrador falcón de circuito primario de SB 250	1	1-8 TM/hr	3.0
12b	Concentrador falcón de relave de flotación de SB250	1	1-8 TM/hr	3.0
13a	Tanque de cianuración de concentrados	1	8' * 8'	10.0
13b	Tanque de acondicionamiento de circuito de cianuración	1	8' * 8'	10.0

N°	Especificaciones de Maquinarias y Equipos	Cantidad	tamaño	HP
13c	Tanque de cianuración en serie	1	8' * 8'	10.0
13d	Tanque de cianuración en serie	1	8' * 8'	10.0
13e	Tanque de cianuración en serie	1	8' * 8'	10.0
14	Cianuración a presión en autoclave	1	1-2 TM/hr	2.5
15	Separador instantáneo	1	—	—
16	Tanque de preparación de lechada de cal	1	10' * 10'	10.0
17	Tanque de preparación de la solución de cianuro	1	8' * 8'	5.0
18	Caja de almacenamiento de la pulpa	1	1m ³	—
19	Acondicionador de circuito de flotación	1	8' * 8'	10.0
20a	Celda Wemco Rougher (cada/celda)	2	25 ft ³	5.0
20b	Celda Wemco Scavenger (cada/celda)	4	25 ft ³	5.0
21a	Espesador de lavado con lechada de cal	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21b	Espesador de acondicionamiento de DCC	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21c	Espesador de DCC en serie	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21d	Espesador de DCC en serie	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21e	Espesador de DCC en serie	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21f	Espesador de clarificador de la solución rica	1	φ4m * 2m(H)	12.0
21g	Espesador de agua industrial	1	φ4m * 2m(H)	12.0
22	Tanque de la solución rica	1	10' * 10'	—
23	Filtro clarificadora	1	50ft ²	—
24	Torre de vacío	1	φ3' * 12' (H)	—
25	Separador instantáneo de agua y aire	1	—	—
26	Cono de precipitación	1	φ4' * 4'(H)	1.0
27	Filtro prensa de precipitado	1	50ft ²	—
28	Tanque de solución barren	1	10' * 10'	—
29	Horno de retorta de mercurio	1	25ft ²	—
30	Horno de fusión de crisol de grafito N° 10	1	25 lb	0.5
31	Condensador	1	—	—
32	Recuperación de mercurio	1	—	—
33	Barra de oro o doré	—	—	—
34	Escoria de fusión	—	—	—
35a	Caja de la bomba de pulpa	1	1m ³	—
35b	Caja de la bomba de remolienda	1	1m ³	—
35c	Caja de la bomba de relave de flotación	1	1m ³	—
35d	Caja de la bomba de cianuración	1	1m ³	—
36	Tanque de tratamiento de agua industrial	1	10' * 10'	5.0
37	Dique nuevo para relaves finales 50m* 100m* 3m(H)	1	15 000.0 m ³	—

Fuente: Elaboración propia