



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**

**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN LA  
EXTRACCIÓN DE ORO DEL PROYECTO AYAHUANCA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JOSÉ LUIS CHAMBILLA QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALÚRGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**optimizacion del proceso de lixiviacion e  
n la extraccion**

AUTOR

**JOSE LUIS CHAMBILLA QUISPE**

RECuento DE PALABRAS

**25242 Words**

RECuento DE CARACTERES

**128660 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**146 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**54.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 27, 2024 9:37 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 27, 2024 9:40 PM GMT-5**

● **10% de similitud general**

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

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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



Firmado digitalmente por MAQUERA  
GIL Julio Alberto FAU 20145496170  
sof  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 27.05.2024 21:51:52 -0500



## DEDICATORIA



## AGRADECIMIENTOS



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
ÍNDICE DE TÉRMINOS .....	11
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.1. Problema general .....	17
1.1.2. Problemas secundarios.....	17
1.2. Justificación.....	17
1.3. Hipótesis de la investigación.....	19
1.3.1. Hipótesis general.....	19
1.3.2. Hipótesis específicas.....	19
1.3.3. Identificación de variables .....	20
1.4. Objetivos de la investigación .....	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos .....	20

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Marco Teórico.....	28
2.2.1. Yacimientos epidermales.....	28
2.2.2. Yacimientos epidermales de tipo "high-sulfidation" (o "acidosulfato")....	31
2.2.3. Mecanismos de precipitación del oro .....	32
2.2.4. Descripción del proceso metalúrgico.....	32



2.2.5. Cianuración .....	57
2.2.6. Cinética de disolución de oro.....	62
2.2.7. Pad lixiviación .....	69

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Tipo de investigación.....	71
3.1.1 Nivel de investigación .....	71
3.1.2 Diseño de investigación .....	71
3.2. Población, muestra.....	72
3.2.1. Descripción y localización del área de estudio.....	73
3.2.1.1. Unidad minera.....	73
3.2.1.2. Accesibilidad .....	73
3.2.1.3 Geomorfología y fisiografía.....	75
3.3. Técnicas e instrumentos y procedimiento de recolección y análisis de datos .....	92
3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	92
3.3.2. Análisis de los datos estadístico.....	93
3.4. Procedimiento .....	93
3.4.1. Gabinete .....	93
3.4.2. Campo.....	94
3.5. Equipos e instrumentos.....	95
3.5.1. Materiales y equipo en Pad.....	95
3.6. Procedimientos.....	99
3.6.1. Lixiviación en Pad .....	100
3.6.2. Descarga y recepción de mineral en Pad .....	101
3.6.3 Factores que influyen en proceso de lixiviación.....	102
3.6.4. Muestreo de mineral .....	104
3.6.5. Dosificación de cal.....	106
3.6.6. Armado de celdas de riego.....	107
3.6.7. Sistema de riego.....	109
3.6.8. Sistema de riego puesta en marcha de celdas del Pad dinámico .....	112

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Evaluación de la factibilidad con un Pad dinámico.....	115
4.2. Extracción de Au en minerales fino.....	122



4.3. Evaluación del experimento factorial realizado.....	128
4.4. Evaluación estadística de resultados.....	130
4.4.1. Producción de mina .....	133
4.4.2. Producción de planta.....	135
CONCLUSIONES .....	138
RECOMENDACIONES.....	141
BIBLIOGRAFÍA .....	142
ANEXOS .....	144

**Área:** Metalurgia Extractiva.

**Tema:** Optimización de extracción de oro.



## 4 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ocurrencia de alta y baja sulfuración .....	31
Figura 2 Método de minado a cielo abierto yacimiento Ayahuanca .....	33
Figura 3 Zona de perforación perforadora rotativa DM45 y carguío de mineral dentro del tajo .....	34
Figura 4 Operaciones mineras en yacimiento Ayahuanca.....	34
Figura 5 Mineral acumulado después de realizar la voladura. ....	35
Figura 6 Frentes carguío dentro del tajo .....	36
Figura 7 Operaciones mineras en yacimiento Ayahuanca.....	36
Figura 8 Acarreo de mineral hacia el Pad lixiviación.....	37
Figura 9 Vista de soporte del volumen acumulado del Pad lixiviación.....	38
Figura 10 Vista panorámico planta M.C. y Pad Lixiviación .....	39
Figura 11 Descarga del mineral fino en el Pad lixiviación.....	40
Figura 12 Solución acumulada en el Pad lixiviación.....	43
Figura 13 Lixiviación de mineral fino sílice deleznable.....	43
Figura 14 Desfase del drenado por la baja velocidad de percolación y áreas de riego de zonas altas .....	44
Figura 15 Descarga de la solución en las celdas.....	45
Figura 16 Poza de operaciones con solución rica .....	46
Figura 17 Poza de solución intermedia.....	47
Figura 18 Poza de contingencia para la solución excedente.....	48
Figura 19 Filtros clarificadores de planta Merrill Crowe .....	49
Figura 20 Torre de vacío planta Merrill Crowe .....	50
Figura 21 Cono de dosificación de zinc.....	51
Figura 22 Filtros prensa etapa de refinación – planta Merrill Crowe.....	52
Figura 23 Proceso de fundición etapa de colado del dore. ....	54
Figura 24 Tanques de solución barren e intermedia. ....	55
Figura 25 Diagrama de flujo de planta Merrill Crowe .....	56
Figura 26 Diagrama de Pourbaix del sistema oro–cianuro–agua a 25°C. ....	59
Figura 27 Esquema de disolución del oro en medio cianuro.....	60
Figura 28 Potencial de las reacciones parciales del oro.....	60



Figura 29 Diagrama Eh-pH del sistema cianuro-agua y diagrama del equilibrio $CN^-/HCN$ ( $pK_a=9.3$ ).....	62
Figura 30 Interpretación de la cinética de cianuración de oro por el intermedio de las curvas de polarización. ....	63
Figura 31. Ubicación del proyecto Ayahuanca departamento de Ayacucho y provincia de Lucanas .....	74
Figura 32 Acceso al área del proyecto.....	75
Figura 33 Litología local.....	78
Figura 34 Alteración local .....	79
Figura 35 Cuerpo de oro .....	81
Figura 36 Alteraciones propias del yacimiento de alta sulfuración.....	85
Figura 37 Textura porfírica gruesa trazos de azufre en oquedades, $FeOx$ (goethita) y puntuales vetillas de sílice en Fractura .....	86
Figura 38 Brecha hidrotermal fuertes inyecciones de sílice en toda la roca b) textura porfírica media gruesa vetillas de sílice en fracturas $FeOx$ (goethita) .....	87
Figura 39 Sílice opalina .....	87
Figura 40 Sílice clay .....	88
Figura 41 Sílice propílica .....	89
Figura 42 Mineral de sílice deleznable .....	90
Figura 43 Impermeabilización de la celda en el Lift 09 S-3 la para el Pad dinámico ....	91
Figura 44 Fotografía mineral aurífero con granulometría fino.....	91
Figura 45 Tendido de tubería perforada para la colección de solución en el Pad dinámico .....	99
Figura 46 Tonelaje de mineral por polígono vs ley de Au que ingresa al Pad dinámico	99
Figura 47 Ubicación del Pad dinámico en el sector 03 con un Área de $5,000 m^2$ .....	100
Figura 48 Descarga del mineral en el Pad dinámico .....	103
Figura 49 Recepción de mineral en la plataforma de descarga en el Pad dinámico.....	103
Figura 50 Extendido del mineral para ampliar la plataforma de descarga en el Pad dinámico.....	104
Figura 51 Procedimiento de cuarteo de mineral en el Pad dinámico.....	105
Figura 52 Muestras de mineral embolsadas.....	105
Figura 53 Proceso de dosificación de cal en el mineral en Pad dinámico .....	106
Figura 54 Empuje y escarificado de mineral con tractor D6T para la instalación de riego en el Pad dinámico .....	107



Figura 55 Área de riego 80 X 80 cm en el Pad dinámico .....	109
Figura 56 Riego instalado con solución cianurada en el Pad dinámico.....	109
Figura 57 Celdas de riego plataforma y talud en el Pad dinámico .....	110
Figura 58 Vista de talud Pad dinámico .....	110
Figura 59 Drenado de la solución rica en una poza del Pad dinámico .....	111
Figura 60 Diagrama de flujo de Pad dinámico .....	114
Figura 61 Extracción Au vs tiempo .....	118
Figura 62 Muestra la curva de la Ley de Au en función del tiempo de lixiviación.....	118
Figura 63 Porcentaje de extracción Au vs ley de Au en solución PLS .....	119
Figura 64 Extracción vs ratio solución del Au .....	119
Figura 65 Consumo de Reactivos .....	120
Figura 66 Ratio de riego en Pad dinámico.....	121
Figura 67 Control de drenado en el Pad Dinámico.....	121
Figura 68 pH en la solución de la descarga de la celda inicio .....	123
Figura 69 Valor del pH de la solución Barren de la planta Merrill Crowe y el valor del pH en la Pregmant .....	124
Figura 70 Ley de cobre en la solución PLS .....	125
Figura 71 Distribución de Au por mallas del mineral Au en la muestra cabeza y ripios .....	127
Figura 72 Superficie de respuesta estimada.....	130
Figura 73 Comparación de producción de mina.....	131
Figura 74 Comparación de producción de planta .....	132
Figura 75 Prueba de normalidad de la producción de mina .....	133
Figura 76 Estadísticas de muestras emparejadas de producción de mina.....	134
Figura 77 Diferencias emparejadas de producción de mina.....	134
Figura 78. Prueba de normalidad de la producción de planta.....	135
Figura 79 Estadísticas de muestras emparejadas de producción de planta.....	136
Figura 80 Diferencias emparejadas de producción de planta .....	136



## 5 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Vía de acceso a mina Apumayo – ruta 1 .....	74
Tabla 2 Listado de alteraciones del depósito .....	82
Tabla 3 Reservas totales de mineral y generación de desmonte .....	83
Tabla 4 Microscopia electrónica de la sílice deleznable.....	89
Tabla 5 Parámetros de Operación en el Pad Dinámico (ROM).....	116
Tabla 6 Extracción por solución .....	116
Tabla 7 Resumen de Extracción por analizada y solución (ROM).....	117
Tabla 8 Análisis estadístico de la prueba de lixiviación en Pad dinámico. ....	117
Tabla 9 Intervalo de tiempo de riego en Pad dinámico .....	121
Tabla 10 Balance Metalúrgico.....	126
Tabla 11 Extracción de Au por mallas en el Pad dinámico .....	127
Tabla 12 Diseño factorial $2^2$ .....	128
Tabla 13 Efectos estimados para extracción Au (%).....	128
Tabla 14 Modelo matemático para extracción Au.....	129
Tabla 15 Camino de Máximo Ascenso para extracción Au .....	129
Tabla 16 Comparación de producción de mina .....	131
Tabla 17 Comparación de producción de planta.....	132



## 6 TÉRMINOS

<b>PAD</b>	: Área preparada para lixiviar el mineral.
<b>LIFTS</b>	: Altura de bancos de la plataforma de lixiviación
<b>TN</b>	: Tonelada
<b>HDPE</b>	: Geomembrana de polietileno de alta densidad
<b>DORE</b>	: Aleación de oro y plata
<b>ROOM</b>	: Mineral obtenido después de la voladura
<b>NCV</b>	: Valor Neto de carbonatos
<b>GFP</b>	: Geomembrana de polietileno flexible
<b>GPAD</b>	: Geomembrana de polietileno de alta densidad
<b>PLS</b>	: Solución pregnant rica de iones del elemento valioso
<b>ILS</b>	: Solución intermedia sin iones de elemento valioso
<b>NCV</b>	: Valor neto de carbonatos
<b>TN/M<sup>3</sup></b>	: Toneladas por metro cubico
<b>TN/dia</b>	: Toneladas por día
<b>GrAu/TN</b>	: Gramos de oro por tonelada métrica



## 7 ACRÓNIMOS

<b>Au</b>	: Oro
<b>Ag</b>	: Plata
<b>NaCN</b>	: Cianuro de sodio
<b>ppm</b>	: Partes por millón
<b>SiO<sup>2</sup></b>	: Cuarzo
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metro cubico
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metro cuadrado
<b>m.s.n.m</b>	: Metros sobre del nivel del mar
<b>%</b>	: Porcentaje
<b>“</b>	: Pulgadas
<b>L/h*m<sup>2</sup></b>	: Litros hora por metro cuadrado
<b>pH</b>	: Concentración de iones de hidrogeno
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	: Metro cubico por hora
<b>h</b>	: Hora
<b>CaO</b>	: Oxido de calcio
<b>HCN</b>	: Ácido cianhídrico
<b>OH<sup>-</sup></b>	: Ion de hidrogeno
<b>Oz</b>	: Onzas



## 9 RESUMEN

El estudio tiene por propósito optimizar el proceso de lixiviación en la extracción de oro mediante un Pad dinámico. La presencia de las alteraciones, modelo de bloques (compuesto por mineral y desechos) ocasiona una diferencia en la permeabilidad de la solución rica en el Pad Lixiviación del proyecto Ayahuanca, ocasionado la demora de mucho tiempo para el drenado de la solución rica, esto es debido a la altura del mineral apilado; la altura de la pila desde el over liner hasta el Lift 10 tiene una altura total de 65 metros, la solución rica percola en 27 días, la velocidad de percolación es de 2.4 metros/día estos valores son antes de la optimización lo que no garantiza la sostenibilidad y permanencia de la ley de oro en el drenado. La construcción de un Pad dinámico con una superficie de 5,000 m<sup>2</sup>, impermeabilizado con geomembrana, ha proporcionado condiciones ideales para el apilamiento del mineral aurífero fino, con una ley de Au de 0.780 gramos por tonelada. El acondicionamiento del CaO de Calquipa en una proporción de 1.33 Kg por tonelada de mineral. y con una altura de la pila de 10 metros Y poniendo a regar con solución cianurada de 255 ppm, con un pH de 10.90, donde ha sido fundamental para la eficiencia del proceso. Estos factores, combinados, han resultado en un porcentaje óptimo de extracción de oro del 93.65% en un periodo de 30 días. De acuerdo al análisis estadístico realizado se observa una mejora de la producción de oro en mina en 2.378,37 onzas y en planta de 1.089,93 onzas en promedio para el periodo evaluado. Estos hallazgos sugieren que la optimización del proceso de lixiviación con la implementación del Pad dinámico mejora la producción de oro en mina en el proyecto Ayahuanca.

**Palabras Clave:** Oro, Extracción, Lixiviación, Optimización, Pad dinámico.



## 10 ABSTRACT

The purpose of the study is to optimize the leaching process in gold extraction using a dynamic Pad. The presence of the alterations, block model (composed of mineral and waste) causes a difference in the permeability of the rich solution in the Leaching Pad of the Ayahuanca project, causing a long delay in draining the rich solution, that is due to the height of the ore stacked; The height of the pile from the over liner to Lift 10 has a total height of 65 meters, the rich solution percolates in 27 days, the percolation speed is 2.4 meters/day. These values are before optimization, which does not guarantee the sustainability and permanence of the gold grade in drainage. The construction of a dynamic Pad with a surface area of 5,000 m<sup>2</sup>, waterproofed with geomembrane, has provided ideal conditions for the stacking of fine gold ore, with an Au grade of 0.780 grams per ton. The conditioning of Calquipa CaO from Calquipa in a proportion of 1.33 kg per ton of mineral. and with a pile height of 10 meters and watering with a 255-ppm cyanide solution, with a pH of 10.90, where it has been essential for the efficiency of the process. These factors, combined, have resulted in an optimal gold extraction percentage of 93.65% over a 30-day period. According to the statistical analysis carried out, an improvement in gold production in the mine of 2,378.37 ounces and in the plant of 1,089.93 ounces on average for the evaluated period is observed. These findings suggest that optimization of the leaching process with the implementation of the dynamic Pad improves gold mine production at the Ayahuanca project.

**Keywords:** Gold, Extraction, Heap leaching, Optimization, Pad dynamic.



# 1 CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la tecnología de extracción de metales preciosos por lixiviación en pilas ha sido la más desarrollada en las dos últimas décadas, para el tratamiento de minerales de oro-plata de baja ley. Para la lixiviación los minerales en pilas, la característica fundamental es que los minerales tienen que permitir que las soluciones lixiviantes puedan percolar uniformemente y llegar a humedecer todas las partículas y poder disolver el oro diseminado en el mineral. En algunos minerales la presencia de mineral fino menor a malla #200 (-75 micras) donde forma masas compactas y origina impermeabilización durante la formación del Lifts en el Pad de lixiviación o apilar el mineral. (Tremolada, 2011).

En la mayoría de los yacimientos existen minerales con diferente composición y características químicas, que la hace indispensable para alimentar a las plantas de beneficio mineral con calidad más o menos uniforme y aprovechar las reservas al máximo (Peralta, 1991). La ratio del riego determinado en la operación es un factor preponderante en la extracción de valores de oro y plata de la pila de mineral. Se ha implementado el control de riego llevándose un registro por cada celda, de los caudales, determinándose que los flujos obtenidos están por encima de los  $7.6 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$  y en algunas celdas sobrepasa los  $10 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ . Este flujo de operación está limitado por el número de celdas y el área de riego, dependiendo directamente del volumen de bombeo de las bombas. Cada vez que se incremente la altura dinámica se está perdiendo capacidad de bombeo (Tremolada, 2011). Las perforaciones diamantinas a nivel regional en la mineralización, se encuentra en rocas volcánicas del grupo Tacaza siendo propias de yacimientos epitermales de alta sulfuración y a nivel local el yacimiento de alta sulfuración. Se realizaron pruebas



metalúrgicas con el objetivo de mejorar la extracción de y generar la rentabilidad en un Pad dinámico.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Ayacucho, está ubicado la Unidad Minera Apumayo S.A.C. se encuentra el yacimiento aurífero con alteraciones de sílice Alunita-deleznable que presenta un grado de dificultad en el proceso de cianuración en pilas porque se impermeabiliza por la presencia de mineral fino, también influye la altura de la pila de lixiviación, que es de 65 metros desde el over liner (geomembrana) hasta el Lift N°10 donde la solución rica demora en percolar en 27 días y no garantiza la percolación de la solución pregnant. Geológicamente el proyecto minero con sistema de alta sulfuración este tipo de yacimiento con cuerpos silicificados de sílice a lunita o sílice deleznable (SD), en donde toda la operación aparentemente marcha bien, de un de repente cambio la alteración comenzaron a presentar problema en las celdas de riego a formar empozamiento (ponding) y generando desfases en el drenado con una velocidad percolación muy bajo de 1.9 metros/día con un ratio de riego de 7 L/h\*m<sup>2</sup> y no se llega a las Onzas planeada de extracción de Au, Y por tal razón como consecuencia es afectando la sostenibilidad de la solución rica en la Planta en el proceso Merrill Crowe.

Para lo cual, en el presente trabajo, busca una alternativa para continuar con la producción estimadas aproximadamente más de 3000 Onzas de Au. La alternativa es la construcción del Pad dinámico de 10 metros de altura de mineral, con un área de 5 000 m<sup>2</sup> que será impermeabilizado con geomembrana, donde se apila el mineral aurífero fino, también se acondiciona con CaO y será regado con solución de cianuro.

Por lo tanto, se plantea el siguiente problema a estudiar ¿Cómo se puede optimizar el proceso de lixiviación en la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca?



### **1.1.1 Problema general**

¿Cómo se puede optimizar el proceso de lixiviación en Pad dinámico para la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca?

### **1.1.2 Problemas secundarios**

- a) ¿Cuál es el porcentaje óptimo de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca?
- b) ¿Cuál es el tiempo óptimo de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca?
- c) ¿Cuáles son los parámetros óptimos de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca?
- d) ¿En qué medida la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa la producción de oro en mina y en planta del proyecto Ayahuanca?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

### **1.2.1 Justificación teórica**

El presente trabajo de investigación genera un importante aporte al conocimiento científico-tecnológico para el tratamiento de mineral con alteraciones de Sílice Deleznable de los polígonos de minerales auríferos finos en proyecto Ayahuanca de Minera Apumayo S.A.C.

### **1.2.2 Justificación práctica**

La construcción de un Pad Dinámico se impermeabiliza con geomembrana se descarga mineral con alto contenido de finos con una altura de Lift de 10 metros de altura. Luego es regado con solución cianurada y los resultados es obtenidos a



través de las muestras realizadas antes y después de la lixiviación, genera eficiente gestión de los ciclos de lixiviación, verificación la velocidad de percolación, la tasa de riego, ratio de estimación de dosificación de cal para un mineral que tenga ligeramente ácido se asegurará una buena recuperación de oro.

### **1.2.3 Justificación valorativa**

Con este estudio se logrará mejorar la calidad del proceso de lixiviación con mineral aurífero fino, logrando actuar de acuerdo a los parámetros operacionales y poder reducir los problemas ante las desviaciones entre lo obtenido y lo estimado. De igual manera se podrá tener una mejor extracción de oro en minerales auríferos finos logrando una mayor rentabilidad en la empresa.

### **1.2.4 Justificación social**

La actividad de un centro minero en zonas alejadas de los centros urbanos trae como consecuencia el incremento las actividades económicas de los pueblos cercanos tales la prestación de servicios y la provisión de insumos necesarios para la alimentación y comodidad de los trabajadores del centro minero.

### **1.2.5 Justificación operativa**

El tratamiento de minerales auríferos proveniente de yacimientos con características mineralógicas particulares (*silice alunita*), permite la realización de pruebas de cianuración preliminares, para obtener los parámetros adecuados que permitan una óptima extracción de los metales valiosos.

### **1.2.6 Justificación económica**



El consumo adecuado de reactivos y así como el tiempo de procesamiento más conveniente, permite obtener significativos ahorros en el costo de procesamiento. Además, el desarrollo de actividades del proyecto Ayahuanca de la Minera Apumayo S.A.C. consolida un motor importante en el desarrollo económico y social en el Perú.

### **1.2.7 Justificación ambiental**

El empleo adecuado de reactivos contaminantes, tal como el cianuro, propone que no haya excesos que puedan afectar el medio ambiente. El consumo racional de reactivos se consigue mediante la realización de pruebas de cianuración a nivel de laboratorio.

### **1.2.8 Justificación científica y tecnológica**

La demanda de oro proveniente de las aplicaciones tecnológicas. Las investigaciones realizadas durante las últimas décadas han cubierto una serie de aplicación para el oro. Esta fabricación se produce en países como Asia, Europa y América del norte. El oro Proporciona una excelente utilidad debido a sus propiedades técnicas.

## **1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Hipótesis general**

La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico mejora la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**



- a) La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa el porcentaje de la extracción de oro del proyecto Ayahuanca.
- b) La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico mejora el tiempo de la extracción de oro del proyecto Ayahuanca.
- c) La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico mejora los parámetros de la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca.
- d) La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa la producción de oro en mina y en planta del proyecto Ayahuanca.

### **1.3.3 Identificación de variables**

#### **Variable independiente**

- Granulometría del mineral.
- Altura de la celda
- Flow Rate  $L/h \cdot m^2$

#### **Variable dependiente**

- Porcentaje de extracción de oro

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Optimizar el proceso de lixiviación en la extracción de oro mediante Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar el porcentaje óptimo de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca.



- b) Determinar el tiempo óptimo de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca.
- c) Establecer los parámetros óptimos de la extracción de oro mediante la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca.
- d) Determinar en qué medida la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa la producción de oro en mina y en planta del proyecto Ayahuanca.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Marrufo (2019), optimizó la recuperación del Au en el proceso de lixiviación (en adelante, lixiviación) en pilas (Heap Leaching), analizando los factores, parámetros y actividades que opera en el Pad Lixiviación en Pilas para la recuperación del Au. Logrando optimizar la recuperación del Au, con el manejo de parámetros durante el periodo de lixiviación como la densidad de pulpa, tamaño de pulpa, concentraciones de cianuro, tamaño de partícula, control de minerales secundarios, control de acidificación (pH) de los cuales obtuvieron mejoras óptimas.

Miranda (2012), evaluó la factibilidad técnica de la aglomeración y posterior lixiviación de minerales oxidados, sulfurados y mezclas con cloruro de sodio y sulfato férrico. Concluyendo que la aglomeración de minerales oxidados con NaCl que este reactivo no tiene una mayor influencia en la sulfatación de este tipo de material, sin embargo, luego de haber comparado una prueba en blanco con diferentes pruebas a distintas condiciones de NaCl, se observa que las partículas finas no se adhieren con tanta fuerza en las muestras que no contiene sal mientras que si poseen el reactivo mostraran resultados beneficiosos.

Rivera (2019), analizó la factibilidad para la construcción de un Pad Dinámico sobre un botadero analizando la estabilidad en la compañía minera los Andes Perú Gold S.A.C.” Determinando que no existe inestabilidad en botadero en la construcción de Pad dinámico se mantiene estable teniendo en cuenta los análisis de estabilidad cabe resalta botadero norte es capaz de permanecer estable con las 800 000 TN de mineral que



contendrá en un área de 4000 m<sup>2</sup> donde se determinó los diseños que tiene actualmente el Botadero Norte no existe riesgo de falla en la estructura. La presencia y/o contenido elevado de arcillas relacionadas con los minerales de Au, durante la lixiviación en pilas, es un desafío tecnológico para reducir su impacto en la extracción metalúrgica del Au. La arcilla y la cantidad de finos en el mineral disminuyen la velocidad de percolación, por lo que, las mineras utilizan minerales porosos y arenosos que aumentan esta velocidad. El líquido de sulfuro impide el flujo regular de la solución. En general, los minerales modificados tienen mayores poros y resultan ser más permeables que los minerales arcillosos.

Tremolada (2011) explicó el papel y el manejo de la arcilla en los procesos de cianuración en pilas. Según las pruebas de lixiviación experimental por agitación, las arcillas tienen una capacidad alta de intercambio de iones, lo que significa que pueden adsorber iones de Au y Ag, lo cual conduce a que sean asimilados por su matriz. Como resultado, la capacidad de adsorción de Ag era alta, superando el 80%. Dependiendo del tipo de arcilla y sus características, el grado de adsorción del Au osciló entre el 1,68% y el 7,49%. De 48 a 96 horas, la arcilla evaluada logró un nivel más alto de asimilación, que oscilaba entre el 8,26% y el 22%, este porcentaje depende la arcilla a evaluar.

El volumen de los test de velocidad de percolación aumenta a diferentes porcentajes de arcillas, producto de sus actividad coloidal y propiedades hidrofílicas. Esto resulta en una disminución en la porosidad del mineral, así como en el volumen filtrado cuando el porcentaje de arcillas aumenta del 15% al 60%. En consecuencia, se debe tratar los minerales con bajo contenido de arcilla, con el objetivo de no aumentar el ciclo de lixiviación de las pilas procesadas (Tremolada, 2011).



Troya (1993) investigó métodos alternativos para el proceso de cianuración (en adelante, PC). Como resultado, la velocidad a la que se disuelve el Au mediante el PL PAL (proceso que se apoya en el peróxido) aumenta durante las cuatro horas de agitación. Después de este período, el Au se disuelve menos y comienza a imitar el proceso tradicional. Asimismo, en este lapso de tiempo, la prueba realizada logra hasta un 94.2% del oro disuelto, conllevando a creer que se han alcanzado condiciones adecuadas de cianuración y que ese mismo tiempo de lixiviación puede emplearse en el proceso PAL (cuatro horas). El autor también llegó a la conclusión de que la cantidad de Au consumida durante las primeras cuatro horas de agitación, con la adición de peróxido, es igual, si no menor, a la obtenida durante la misma cantidad de tiempo en condiciones normales de lixiviación.

Azañero (2000), mejoró la extracción de Au en lixiviación. en montón, que tiene como principal característica que los minerales permitan que las soluciones lixiviantes puedan difundirse y alcanzar al total de partículas, a fin de disolverlo y diseminarlo. Ciertos minerales presentan alto contenido de finos, menor a 20 mallas (- 850 u), forman masas compactas y conduce a la segregación de partículas al formarse el amontonamiento del mineral o Pad.

Aramburu (2003) analizó el modelo de pre-aireación en concentraciones de Au pirítico para lograr mejoras en el PC, demostrando que esta fase previa redujo el consumo de cianuro en un 55 % y aumentó la extracción de Au en un 10.57% del concentrado de sulfuro. De forma similar, aplicar la preaireación en el sector industrial ayudó a reducir los costos y la contaminación ambiental, debido a que la aireación logra oxidar un porcentaje elevado del concentrado de sulfurado pirítico, produciendo materiales solubles que se pueden eliminar de forma fácil, lo que indica un alto consumo innecesario del cianuro. El pH y el tiempo son dos factores clave que afectan el proceso de pre-aireación,



ya que, inciden al reducir el consumo de cianuro y el proceso para recuperar el Au mejorado.

Ortega (2009), estudio la recuperación de Au desde soluciones cianuradas mediante intercambio iónica en una empresa aurífera Santa Rosa. Se observó una disminución notable en la extracción de Au al evaluar varios tipos de flujos, ya sea ascendente como descendentes; en consecuencia, se plantea un flujo ascendente en un circuito continuo en columnas de adsorción. Asimismo, extraer Au resulta rápido, logrando un equilibrio en 30 segundos con una solución acuosa que descarta los iones aurocianuro. La competencia de los cianoaniones Ag y Cu reduce esta velocidad, en consecuencia, es recomendable reaccionar durante dos minutos para lograr equilibrio en soluciones acuosas de planta de lixiviación. Similar a esto, la concentración de cianuro libre en una solución acuosa impacta ligeramente en la extracción de Au, pero tiene un gran impacto en la selectividad, lo cual se debe a las reacciones de los complejos de Cu al hacer uso de altas concentraciones de cianuro. Por lo tanto, se recomienda utilizar soluciones acuosas de lixiviación, siempre y cuando la lixiviación con concentración mayor no se superior a 60 mg/l NaCN.

Bilbao (2011), describió la operación y diseño de una planta típica de lixiviación en pilas y precipitación por el método Merrill Crowe, a fin de tratar 52 millones de t de mineral, considerando 0.56 g como ley promedio, resultando el análisis económico bastante favorable a precios del año 2008 para el inversionista, el TIR de 362.34 % lo cual nos indica que el proyecto tiene una alta rentabilidad.

Lopez (2019) estudió la velocidad de percolación y la extracción de Au en un mineral aurífero del Proyecto de Ayahuanca; para ello, se consideraron tres aspectos: blending del mineral con 0%, 50% y 75%; alterar el mineral mediante niveles de SM, SD,



SG y SM, y la concentración de ácido sódico con niveles de 150 ppm, 250 ppm y 350 ppm. Esto condujo a lo siguiente: 12.5% de SM, 12.5% de SD y 75% de SC; aplicando lixiviación con cianuro de sodio concentrado en 250 ppm, logrando un 82.32% de extracción de Au con un 1.85 m/día de velocidad de percolación.

Huareccallo (2019) clasificó en unidades geo metalúrgicas en función al comportamiento de los diferentes sectores del yacimiento. También caracterizó geo metalúrgicamente el mineral del yacimiento Ayahuanca (en adelante, YA) y su impacto en el PC de Au en pilas de lixiviación brindando un modelo de bloques geo metalúrgicos con valor predictivo y reducir la influencia de la incertidumbre espacial. Al contratar la hipótesis, se encontró un impacto significativo en el proceso indicado en pilas de lixiv del mineral aurífero epitermal de sulfuración alta en el yacimiento mencionado.

Uchamaco (2019) encontró mejoras al recuperar minerales del Tajo Huamanloma, donde estuvo trabajando con leyes promedios de 0.472 g/TM de Au., esto demuestra que, en Columba para mineral chancado las pruebas de cianuración, alcanzó un -1 ½ mallas, donde se lograr recuperar 90.68% de Au en cianuro en concentración de 500 ppm, consumo de cianuro de 0.177 kg/TM, consumo de cal de 0.904 kg/TM, y un tiempo de cianuración de 14 días.

Marcapura y Chávez (2017) analizaron si es factible procesar un mineral fino en un PAD dinámico. Para ese propósito, se construyó una célula de prueba en el PAD de la Quinoa, donde se descargaron 36,000 TM de este mineral (40% - 200m) con 568 onzas de Au. La superficie de la celda era de 2,353 metros cuadrados y la altura del elevador era de 8m. Se examinó la descarga de la solución (PLS) y el flujo de Barren durante los 50 días de lixiviación. La extracción de Ag y Au produjo una ratio S/O de 0.411, con una



tasa de extracción del 46.6% y 6.2%, para Au y Ag, respectivamente. El 54% del Au se extrajo de las perforaciones creados antes y después de la lixiviación.

Sánchez y Quispe (2020) investigaron el impacto de % de los finos de -200 mallas del blending de mineral, al extraer Au y respecto a la permeabilidad al momento que se realiza la lixiviación en Pads, de aquellos minerales de Cerro Negro Oeste y la Quinua Sur, a diversas mezclas, considerando alturas que supongan condiciones Pad. Además, se determinó como este porcentaje de finos -200 mallas de blending de mineral al extraer Au en pruebas de lixiviación en columnas. Finalmente, se buscó determinar como la mezcla indicada, por tamaño de partícula del blending mineral, respecto a la extracción de Au en pruebas de lixiviación en columnas, lo que condujo a determinar que la extracción baja de Au es resultante de una menor extracción en -8 malla, en otras palabras, en partículas finas producto de la baja permeabilidad con un promedio de extracción de partículas finas del 76.3% aprox. En aquellas columnas que no tuvieron inconveniencias en la percolación, la extracción de Au fueron 86.55% aproximado en promedio, en 8 mallas. En esencia, ante pruebas en columnas corridas, se encontró una variación de entre 23.59% (8 mallas) a 50.87% (-1.5”+ 1”) en extracciones de Ag, y la de Cu tuvo una variación de entre 43% (-8 mallas) a 16.42% (-1.5” +1”), aprox. Ante la creación de compósitos de tipo "B", se recomienda comenzar depositándolos en el Pad, pero en los tres lift finales (cada uno elevando ocho metros), se debe realizar un batido y recobrar en el lift final, que solo tendrá una velocidad de  $7 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ . En el último lift, se pueden utilizar los compósitos de tipo "C" y "D", pero con flujos de regado, previo batido, menores a  $10 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ .

Anco (2015) analizó si es factible usar Pad dinámico para minerales con un contenido de 35% para finos mayores, consideró estos materiales para obtener la capacidad de recuperar onzas que no se tomaron en cuenta para su recuperación de



Yanacocha. El uso del Pad dinámico en un lift de 8 metros produce procesos que están 10% por encima de las expectativas, lo que demuestra que se pueden considerar aquellas onzas que no fueron catalogadas por materiales, con más a 35% de finos del tajo Cerro Negro en Yanacocha. Además, los sistemas de riesgo con controles automáticos favorecen el control de empozamientos.

Pastor (2018) descubrió cómo la mezcla de minerales con sílice con alteraciones afecta la percolación mediante lixiviación al realizar pruebas de laboratorio mediante columnas. Asimismo, establecer la proporción de blending y el porcentaje de -200 mallas de minerales con alteraciones de SG mezcladas con SA, y de SM, así como el impacto de esta mezcla en la percolación de la solución cianurada (en adelante, SC). Además, calcular la proporción de mezcla en laboratorio. Además, determinar la proporción ideal de la mezcla que podría mejorar la permeabilidad de la solución caustica en la mina situada en la provincia de Lucanas, Ayacucho. Se determina, principalmente, que la mezcla de minerales con diferentes contenidos de silicio tiene un impacto significativo en la percolación de la lixiviación. También, el porcentaje de granulometría -200 mallas de blending de las modificaciones resulta contrario a la percolación, en otras palabras, al realizar la totalidad de mezclas de blending con la SA, si el porcentaje granulométrico de -200 mallas del blending de minerales es menor, será mayor la ratio de percolación de la SC.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Yacimientos epitermales**

Los depósitos epitermales se caracterizan por estar a profundidades entre 1 a 2 kilómetros y ser yacimientos de metales preciosos, donde la mineralización es producto de fluidos hidrotermales calientes con temperaturas entre 100-320°C.



la mineralización es principalmente de Au y Ag con sulfuros de metales base como como Cu, Pb y Zn se distinguen dos tipos químicos de fluido. Los de baja sulfuración (BS) que son una mezcla de aguas meteóricas que percolan subsuelo y aguas magmáticas derivadas de roca fundida a gran profundidad que han ascendido a la superficie, y a los de alta sulfuración (AS) derivados de una fuerte magmática que ha depositado metales cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o mezcla con agua meteórica.

Los yacimientos de Au que contienen metales valiosos como Au y Ag son los más importantes, aunque también pueden contener cantidades variadas de Cu, Pb, Zn y Bi, entre otros elementos.

La mineralización epitermal de metales preciosos puede ser causada por dos tipos de fluidos diferentes químicamente: los fluidos con alta sulfuración tienen una mayor oxidación y acidez, mientras que los fluidos con baja sulfuración tienen una disminución y un pH casi neutro.

Hedenquist (1987) introdujo los términos de sulfuración alta y baja, que hacen referencia al nivel de oxidación del azufre. Los niveles elevados de sulfuro muestran sulfuro como  $S^{-4}$  en forma de  $SO^2$  (oxidado), por otro lado, los niveles bajos muestran sulfuro como  $S^{-2}$  en forma de  $H_2S$  (reducido).

Una fuente magmática, que se deposita cerca de la superficie en el momento en que se enfría o se diluye al mezclar con aguas meteóricas, es el recurso principal de los fluidos de alta sulfuración (AS). Los metales preciosos en solución emanan de forma directa al magma y pueden lixivarse de las rocas volcánicas huéspedes, conforme los fluidos se encuentren circulando entre estas.



Los fluidos de los dos tipos de depósitos (AS y BS) se mueven directo a la superficie mediante las grietas presentes en las rocas, y la mineralización ocurre con frecuencia en estos conductos (mineralización controlada de manera estructural). Sin embargo, también pueden moverse a través de niveles de piedra permeables y finalmente mineralizar áreas específicas.

Los fluidos de baja sulfuración (BS) son concebidos como una mezcla de aguas meteóricas y aguas magmáticas que logra llegar a la superficie de una fuente de roca que se encuentra fundida a mayor depresión en la tierra. Los metales preciosos se transportan como iones complejos (generalmente, a niveles epitermales, como bi-sulfurados y en niveles de mayor profundidad, como clorurados), respecto a aquellos de baja sulfuración, la precipitación de metales sucede al momento que hierve el fluido conforme se acerca a la superficie (ebullición).

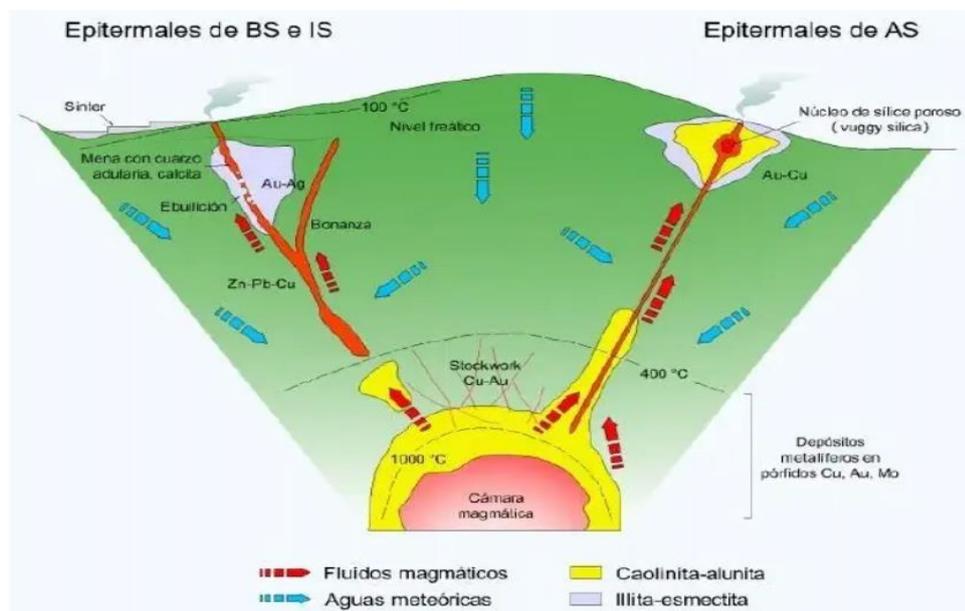
La mayoría de las veces, los fluidos de BS producen "stockwork" o "seeded-veins", que son vetas de rellenos con metales preciosos o series de vetas de mayor finura. El fluido de AS más ácido y cálido se encuentra con mayor frecuencia en las rocas huéspedes, donde se encuentran los cuerpos vetiformes mineralizados, pero también se puede encontrar en otras rocas. Los depósitos BS suelen contener cantidades altas de Ag y Pb, sin embargo, también presentan menor cantidad de Zn, Cu y Pb en los depósitos auríferos de AS. Los minerales de BS incluyen cuarzo (incluida la calcedonia), galena, esfalerita, pirita, carbonato, por otro lado, aquellos minerales AS se conforman por enargita, pirita, SA, y cuarzo.

Explorar, geoquímicamente, estos depósitos pueden generar diversas anomalías, según la mineralización que se haya visto involucrada. En cuanto a los sistemas BS, suelen tener una mayor cantidad de zinc y plomo, una menor cantidad de cobre y una proporción más alta de Ag/Au. Cuando las proporciones de Au/Ag son más bajas, el AS podría ser más rico en As y Cu.

La fineza media del Au ( $=\text{Au}/\text{Au}+\text{Ag} \times 1000$ ) en aquellos yacimientos epitermales tiende a ser baja, en promedio, 685 en aquellos sistemas que se encuentran en el Pacífico Sur, esto demuestra que tiene importantes cantidades de Ag (blanco o amarillo pálido), y a menudo aparece como electrum (aleación natural de Ag y Au). Por otro lado, los yacimientos de pórfido o skarn suelen tener una fineza media superior (promedio 920), como se muestra en la figura 1.

**Figura 1**

*Ocurrencia de alta y baja sulfuración*



**Fuente:** Modelo simplificado para los depósitos de alta, y baja sulfuración (Sillitoe, 1995; González, 2008).

### 2.2.2 Yacimientos epitermales de tipo "high-sulfidation" (o "acidosulfato")



El término "sulfidation", que suma el azufre con la oxidación, se refiere al estado de oxidación azul del fluido. Por lo tanto, los yacimientos de "high-sulfidation" (también conocidos como "ácido-sulfato") están relacionados con fluidos oxidantes que contienen  $\text{SO}_4^{2-}$  como la especie principal, es decir,  $\text{S}^{6+}$ . La paragénesis típica de estos yacimientos se caracteriza por la presencia de minerales como covelita, enargita y tenantita. Las transformaciones de tipo argílico avanzado están asociadas con la SB y la SA. Los minerales de ganga y alteración exhiben principalmente las variedades químicas de los fluidos mineralizantes en relación al pH. Los fluidos son salados y ácidos; la acidez se debe principalmente a la reacción del  $\text{SO}^2$  con el agua.

Estos fluidos provocan alteraciones avanzadas de argílica (diásporo, SA, caolinita pirofilita). Los cuerpos masivos de sílice con cavidades o "vuggy quartz", también conocidos como SR, se componen únicamente de RS resultante de la lixiviación de otros minerales en fluidos sumamente ácidos. Adularia y calcita no se encuentran debido al pH demasiado bajo, además, el cuarzo es común, lo que demuestra que las soluciones están saturadas en sílice.

### **2.2.3 Mecanismos de precipitación del oro**

Se cree que el rango de concentraciones líquidas necesarias para producir una concentración económica es de 1 ppm a 10 ppm. El proceso de extracción de Au se realiza en complejos que combinan varios tipos de yacimientos. El Au se transporta con mayor frecuencia en forma de complejo clorurado ( $\text{AuCl}^-$ ) en tipos de yacimientos con high sulfidation. La precipitación está regulada por disminuciones en la temperatura, salinidad y presión.

### **2.2.4 Descripción del proceso metalúrgico**

El proceso metalúrgico en el proyecto Ayahuanca (en adelante, PA) se desarrolla con la lixiviación del mineral en pilas, con cianuro de sodio, para luego aplicar el proceso de Merrill Crowe, a fin de obtener barras metálicas Doré, que representa una aleación entre Ag y Au.

#### **2.2.4.1 Descripción de las operaciones y el proceso.**

Las acciones minero-metalúrgicas para explotar y extraer minerales a tajo abierto, del proyecto Apumayo, involucra las operaciones siguientes:

#### **2.2.4.2 Tajo Ayahuanca.**

La Unidad Minero Apumayo comprende la explotación del yacimiento denominado Ayahuanca. La explotación es realizada a tajo abierto, considerando una ley promedio de 0.42 gr Au/TN, así como, en promedio, una densidad de 1.5 TM<sup>3</sup>. Con una producción máxima de 20,000 TM/día.

### **Figura 2**

*Método de minado a cielo abierto yacimiento Ayahuanca*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Perforación.**

En esta etapa inicial de la explotación, implica perforar la plataforma con perforadora DM 45 de acuerdo al diseño o malla de perforación debidamente planeada los taladros de 10 metros, para que luego esta sea llenada con explosivo con el fin de fragmentar el mineral que se va a procesar, es estéril o desmonte a eliminar.

### **Figura 3**

*Zona de perforación perforadora rotativa DM 45 dentro del tajo*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Figura 4**

*Operaciones mineras en yacimiento Ayahuanca*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Voladura.**

Los taladros de perforación se cargan con explosivos, para ello se usan agentes de voladura y accesorios (anfo pesado, retardos no eléctricos, booster, entre otros), a fin de realizar la voladura de la malla para luego iniciar con la carga del mineral.

### **Figura 5**

*Mineral acumulado después de realizar la voladura.*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Carguío.**

Para este proceso se utilizan equipos de grandes dimensiones, y consiste en hacer uso de dos excavadoras (345 CL)  $3.8 \text{ m}^3$ , además de utilizar un cargador frontal (CF 992), el cual es de capacidad de cuchara de  $10.7 \text{ m}^3$  y  $12.3 \text{ m}^3$  respectivamente.

### Figura 6

*Frentes de carguío dentro del tajo*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### Figura 7

*Operaciones mineras en el yacimiento Ayahuanca*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### Acarreo.

Proceso que implica trasladar mineral ROM de forma directa del tajo hacia el PAD para el proceso de lixiviación. En caso de materiales estéril o desmonte, este se lleva hacia los botaderos. Para trasladar el mineral se hace uso de volquetes de 22 m<sup>3</sup>.

## Figura 8

*Acarreo de mineral hacia el Pad lixiviación*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### 2.2.4.3 Descripción del proceso.

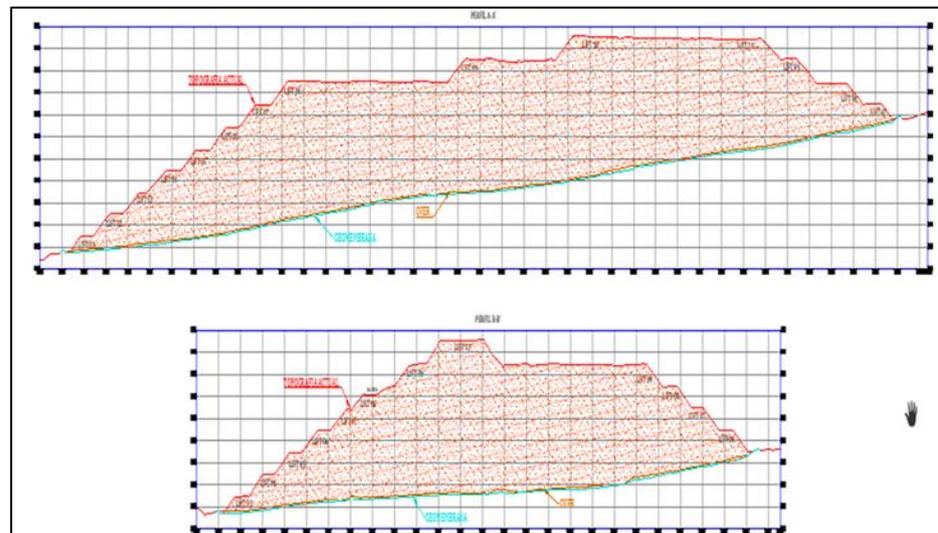
El PAD Lixiviación es una estructura extensa donde se acumulará y apilará el mineral extraído de los tajos luego pasar un proceso de lixiviación y extraer el metal existente se debe tomar en cuenta a partir de estudios geotécnicos, de forma conveniente, a fin de que sea capaz de soportar el volumen de mineral a apilar (acumulado). La pendiente de la topografía es muy importante en la zona donde se construye el Pad, los trabajos de acondicionamiento del terreno distancia entre Pad lixiviación planta y tajo la colocación del soil liner (arcilla) son rellenos con una pendiente adecuada y compactada al 95% donde se coloca el liner será lo suficiente liso para colocar la geomembrana y evitar roturas. Para aislar la cancha de lixiviación es con material llama geomembrana HDPE de 1.8 mm de espesor. Sistema de colección de solución pregnant son tuberías perforadas (HDPE) se encuentran tendidas por encima de la geomembrana, y están

protegidas con una capa de *overliner* (rocas de 1 pulgada) a fin de evitar que se deteriore con el tránsito.

El diseño, la inclinación del PAD conduce a que drene la totalidad de la solución hacia abajo con dirección a planta M.C; el canal de coronación su propósito es derivar las aguas de no contacto procedentes de lluvia.

### Figura 9

*Vista de soporte del volumen acumulado del Pad lixiviación*



Fuente: Superintendencia Ingeniería - Apumayo.

#### 2.2.4.4 PAD de Lixiviación.

El mineral con contenidos de oro provenientes de los tajos es depositado en la cancha de lixiviación, luego es regado por goteo con solución cianurada para extraer el oro que se encuentra en el mineral, en el mineral hay una serie de metales que se deben separa entre si .por ello esta solución disuelve a los metales y a medida que filtra, los lleva hacía abajo donde están las tuberías colectoras que se encuentran en la base de

PAD a las que se les conduce esta solución enriquecida con oro hasta las pozas de operación.

La planificación de apilar el mineral es de orden ascendente desde lift 1° y 2°; hacia niveles superiores 3°, 4°, 5°, 6°, en este momento, el proceso se encuentra en el 10° lift. La solución rica que percola del PAD se descarga en los cajones de distribución y luego se almacena en la poza PLS y poza ILS, Respecto a la capacidad de transporte y carguío del mineral hacia el PAD de lixiviación, esta es de 20,000 TM/día.

Existen 2 tipos de pilas de lixiviación:

**Pila Permanente.** El mineral es depositado en un lugar del que no se retira el ripio una vez completando el ciclo de lixiviación.

**Pila Renovable.** El piso es reutilizable se retira el ripio al final de la lixiviación para reemplazar por mineral fresco.

### Figura 10

*Vista panorámico planta M.C. y Pad Lixiviación*



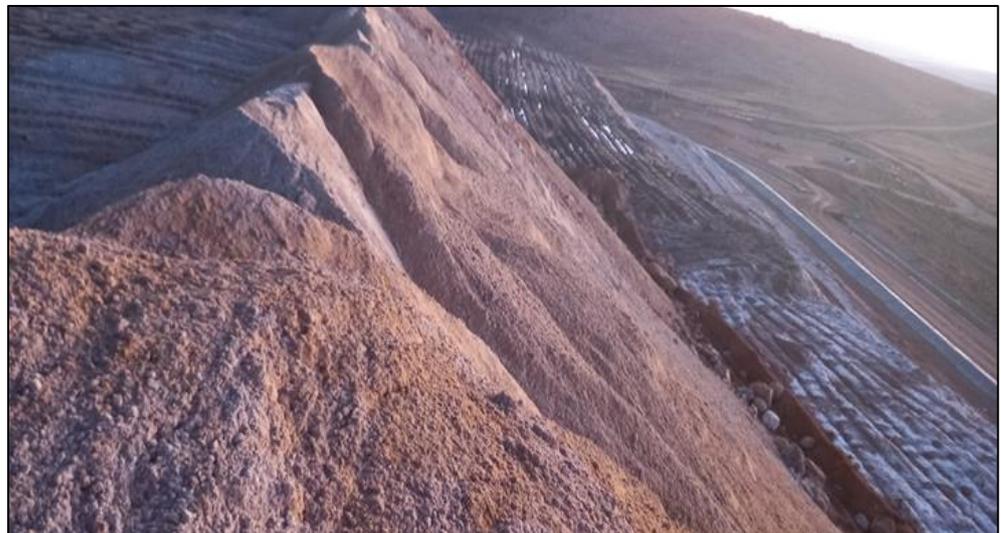
**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### ***Descarga de mineral.***

El mineral fragmentado (ROM) o Chancado, es transportado en camiones del tajo mina o chancadora hacia Pad Lixiviación, depositado de acuerdo al plan de llenado en coordinación con Planeamiento, teniendo varias consideraciones (Ley, altura de mineral, velocidad de percolación, etc).

### **Figura 11**

*Descarga del mineral fino en el Pad lixiviación*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Muestreo de mineral.**

Por la caracterización de un yacimiento es necesario comprobar la ley del mineral que están descargando en el Pad para la cual se debe tomar muestras de los viajes descargados, en otras palabras, Las muestras que se obtenidas de los viajes deben ser, en lo posible las más cercanas a propiedades reales del mineral, para ello, se hace uso del “Grab Sampling” (muestro al Azar) para muestrear la pila.

A continuación, los materiales a emplear en el muestreo: Cucharón (1 Kg. de capacidad).



- Manta de polipropileno.
- Plumón indeleble.
- Engrampador y grampas.
- Recipiente para la recolección de muestras.
- Bolsas de muestreo de polipropileno (5 Kg. de capacidad)

Se utiliza un cucharón para medir la muestra en este método conforme a un esquema establecido sobre la superficie del mineral contenida en el PAD. La muestra se mezcla y se homogeniza a medida que se cuartea se obtiene una muestra final de 5 kg. El muestreo se lleva a cabo aproximadamente cada cinco volquetadas de acuerdo con las codificaciones que ingresan al Pad de lixiviación.

Cada bolsa de muestreo tiene una codificación (polígono, fecha, turno) para su respectivo análisis (Ley de oro del mineral, % humedad) Las muestras se traslada a Laboratorio Químico al finalizar la guardia. También se dejan las muestras en Pruebas Metalúrgicas para determinar la velocidad de percolación y alcalinidad de cada polígono.

### **Dosificación de cal al mineral.**

El mineral constituido por óxidos sílice presenta un pH natural 4-6 por tal motivo tiene que dosificarse cal antes de la lixiviación para subir el pH entre 10.5-11.5 constantemente se realizar la prueba de alcalinidad para obtener ratio de cal El proveedor de CaO es CALQUIPA Para la dosificar la Cal en el mineral. La cal es envasada en big-bag de 1000 kg. Para la dosificación de la cal se utiliza una retroexcavadora marca Cat 420 F2. La cal está apilado cerca al área de la descarga de minerales, está en un lugar



estratégica para evitar interrupciones en el tránsito de camiones. Actualmente trabajamos con una relación de kg cal/TN. Actualmente trabajamos con una relación de 1.264 kg cal/TN, o aproximadamente un big-bag cal por cada 15 volquetes.

### **Riego de mineral.**

La Geometría de la celda de lixiviación, es decir debe ser de preferencia una geometría regular (rectangular o cuadrangular) y el área estaría en función de la producción. Distancia entre la alimentación de la solución de riego y la celda a instalar el riego, es muy importante ya que la presión de ingreso debe ser como mínimo 20 psi, para lograr evitar pérdidas de presión por la distancia y diámetro, todo para obtener ratios de riego adecuados. Distribución de líneas de riego con diámetros adecuados de tuberías y distancia entre mangueras para tener una alta eficiencia de riego del mineral

El mineral se apila en una celda de 2500 m<sup>2</sup> de área terminada hasta que se complete el área de llenado y el tonelaje requerido. Después, se implementa el sistema de riego utilizando tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) de 6 pulgadas como base y mangueras de 1/2 pulgada con emisores para bombear la solución de riego. La proporción promedio de riego es de 12 L/h\*m<sup>2</sup>, con 250 ppm de concentración de cianuro en la solución, y un pH 10.6 de, y es regado durante 75 a 80 días, hasta que se elimina el sistema de riego para permitir la introducción de minerales nuevos.

### Figura 12

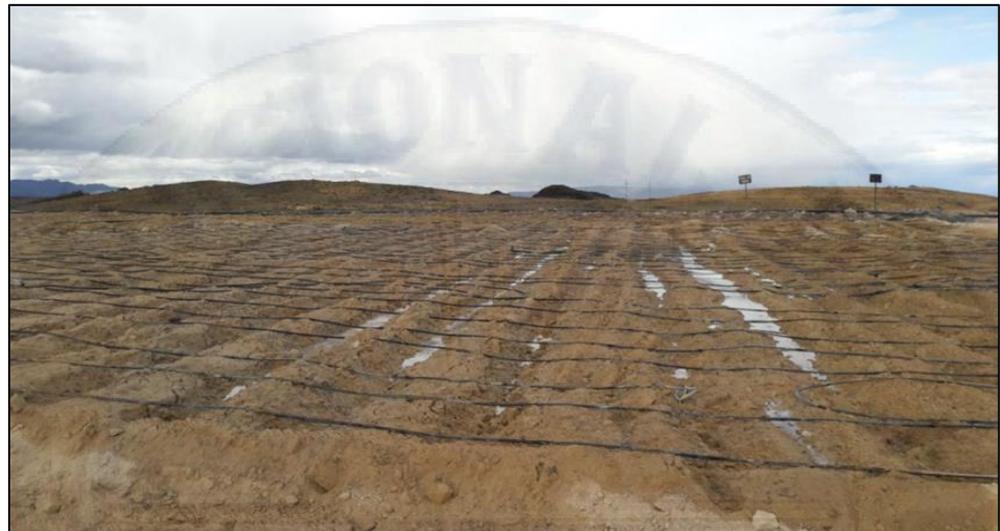
*Solución acumulada en el Pad lixiviación*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### Figura 13

*Lixiviación de mineral fino sílice deleznable*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

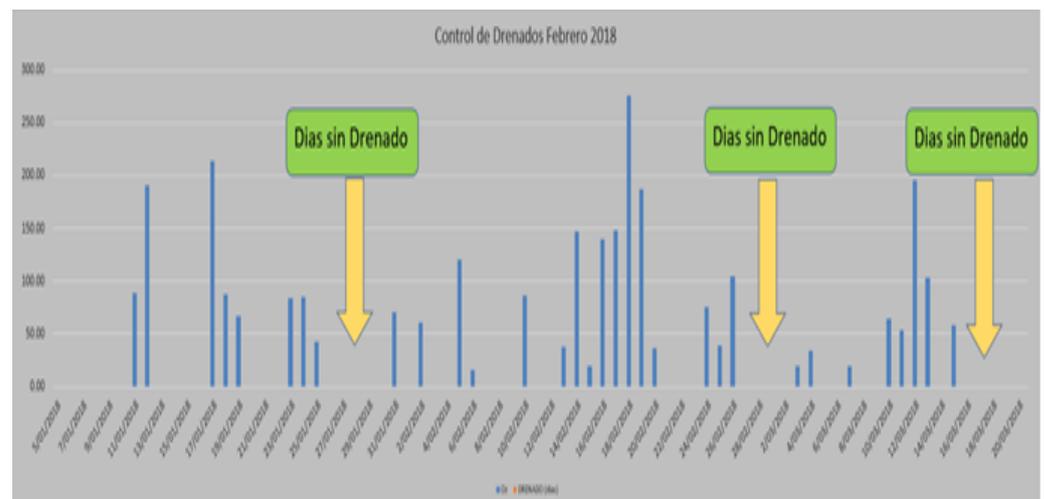
### **Ciclo de riego por celda.**

Las celdas se riegan por un lapso de 75 a 80 días, para luego retirar las mangueras de riego con el fin de que, sobre este se pueda depositar el material para la formación de otro lift. El mineral que se riega y que

cumple determinado tiempo de lixiviación (ripios) se mantiene en el lugar del PAD, y permanece allí hasta que la mina culmine sus operaciones.

### Figura 14

*Desfase del drenado por la baja velocidad de percolación y áreas de riego de zonas altas*



**Fuente:** Elaboración propia.

### Cajones de distribución celda.

Las tuberías que se encargan de la recolección de la solución que percola del Pad lixiviación se descarga en los cajones de distribución, donde las compuertas favorecen la distribución de la solución hacia a la poza de solución intermedia o solución rica, acorde a las concentraciones de Au que se requieren por la planta Merrill Crowe.

Las muestras de solución son tomadas de cada sector en los cajones de distribución cada 2 horas, durante el día en función a cada sector del pad se realiza diariamente el flujeo de cada celda, con fin de verificar el flujo de drenado de mineral fresco y fujo de las áreas que están cumpliendo su ciclo de riego. La distribución se realiza de acorde a la ley oro en la

solución de alta ley se dirección a la poza de operaciones y de baja ley a la poza de ILS.

### **Figura 15**

*Descarga de la solución en las celdas*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Pozas de solución rica (PLS).**

La solución colectada del Pad lixiviación fluye por gravedad hacia las celdas de distribución y luego hacia la poza de solución rica, Esta poza se usa para la acumulación de la solución rica con contenido de Au y Ag al tornarse un complejo soluble en medio alcalino. La poza PLS tiene un volumen de 10.000 metros cúbicos y tiene un sistema de control de fugas que permite que la solución se acumule durante las 24 horas del proceso.

Un sistema de doble geomembrana de revestimiento (geomembrana primaria lisa de 1,7 mm, y de alta densidad de HDPE, geomembrana de baja densidad LLDPE de 1,5 mm donde se aplicará encima de la capa de suelo compactado de permeabilidad de baja. Cada poza tendrá un sistema para detectar fugas, la cual cuenta con cuatro

bombas sumergibles de 100 HP: tres están en operación que bombea a planta M.C. y una está en stand-by.

### **Figura16**

*Poza de operaciones con solución rica*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### **Pozas de solución intermedia (ILS).**

Las soluciones que drena del PAD provienen de las áreas en etapa que están finalizando su ciclo de riego y un bajo de solución. lo que significa que tienen leyes de Au bajas. Las soluciones se derivan a la poza intermedia, que tiene un volumen de 11 mil metros cúbicos, la cual tiene capacidad para contener la solución por 24 horas en las que dura el proceso, y esta implementado por un sistema para monitorear las fugas.

Donde cuenta con dos bombas sumergibles de menor tamaño, una de 30 HP y otra de 60 HP, las cuales se emplean al momento que el PAD requiere mayor flujo para regar más áreas de mineral fresco.

## Figura 17

### *Poza de solución intermedia*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Pozas de mayores eventos.**

La función de esta poza de mayores eventos es coleccionar el exceso de solución en el sistema durante las temporadas lluviosas. Ante este panorama, las pozas de soluciones intermedia (ILS) y Solución ricas (PLS) incrementarán su nivel debido a las lluvias que son captado en el PAD. La capacidad de la poza de mayores eventos es de 110 000 m<sup>3</sup>.

Ante el rebose de la solución pobre a barren, en la poza intermedia la solución se deriva a la poza de eventos mayores, que está cubierta con un revestimiento doble de geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE). También cuenta con un sistema para detectar fugas. La bomba de 60 HP en la poza de mayores eventos se une por tuberías para enviar el flujo a la poza intermedia cuando es necesario.

### Figura 18

*Poza de contingencia para la solución excedente*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

#### **Planta Merrill Crowe.**

El flujo de drenado del PAD de lixiviación es de  $1,150 \text{ m}^3/\text{h}$ , donde se procesará en planta Merrill Crowe un flujo de  $790 \text{ m}^3/\text{h}$  de solución rica. Y se derivar a la poza intermedia un flujo de  $360 \text{ m}^3/\text{h}$ . en el proceso Merrill Crowe las estas fundamentales son las siguientes:

- Clarificación.
- Desoxigenación
- Precipitación
- Recuperación del precipitado

#### **Clarificación.**

El propósito es la función de obtener soluciones cristalinas con bajo contenido de sólidos suspendidos, se realiza utilizando filtros de hojas a presión, la solución rica se inicia con la alimentación por bombeo de la poza de solución rica a tres filtros clarificadores, cuyas áreas filtrantes han

sido cubiertas con una capa delgada de ayuda filtrante, en este caso es la tierra diatomita.

Estos filtros eliminan las partículas sólidas en el ciclo de filtración, al momento en que avanza mediante las telas recubiertas que favorecen la filtración. Cada filtro de clarificación tiene 29 paneles separados uno del otro por 4 pulgadas de espacio. Estos paneles limpian las superficies de las lonas ante encontrarse saturados de sólidos. El nivel de turbidez obtenido en la solución clarificada debe de ser inferior a 1 NTU.

La pérdida de flujo en el sistema ocurre cuando un filtro está saturado con exceso de sólidos retenidos. Para esto la solución contenida se extrae y luego se bombea el agua a través de un sistema de tuberías de agua. Después, el agua se trata con tierra de diatomita y se integra nuevamente en el proceso.

### **Figura 19**

*Filtros clarificadores de planta Merrill Crowe*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Desoxigenación.**

El objetivo de esta etapa implica la extracción del oxígeno disuelto de la solución clarificada. Para obtener soluciones con contenido menores a 1 mg/l de oxígeno para este fin se utilizará una torre metálica cilíndrica y tiene una dimensión de 1.95 m de diámetro por 4.5 m de altura y está totalmente cerrada. La solución rica clarificada entrará en la torre de vacío por la parte superior mientras cae por el interior de la torre en forma de chorro. Deberá atravesar elementos dentro de la torre, como bolas de plásticas Tri- Packing torre de embalaje bola esférica, para que pueda succionar el oxígeno por una bomba de vacío sea eficiente y rápido. Esta solución es depositada en la parte inferior, a fin de continuar con la siguiente etapa.

### **Figura 20**

*Torre de vacío planta Merrill Crowe*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Precipitación.**

La solución rica clarificada y desoxigenada es precipitada con polvo de zinc para recuperar los metales preciosos Au-Ag de la solución

que formarán el doré con una ratio de Zn/Au adecuado de acuerdo a los elementos participantes que pueda haber la solución rica.

La solución depositada en la zona baja de la torre de vacío se extrae mediante la succión de una bomba centrífuga, a fin de lograr la recuperación de Au-Ag que se mezclará y formará el doré, la solución rica, desoxigenada y clarificada se precipita con polvo de zinc. La dosis de zinc se inyecta en el cono se controla conforme a la ley de Ag y Au que se encuentra disuelta en la solución.

### **Figura 21**

*Cono de dosificación de zinc.*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Separación del precipitado.**

Los metales valiosos son precipitados con polvo de zinc y junto con la solución serán bombeados a los filtros prensa, donde se queda atrapado los sólidos de oro y plata y también el exceso de zinc y otras impurezas. La solución pobre que atraviesa el filtro prensa es derivada hacia un tanque de almacenamiento de solución barren, donde se le

adiciona cianuro de sodio, para reforzar la fuerza y es bombeado hacia el Pad de lixiviación.

Cada filtro está compuesto por 50 paneles, lo que resulta en un total de 49 cámaras por filtro. Para formar una cama filtrante con tierra diatomita a nivel superficial de las lonas para que forman la cámara, se requiere un sistema de clarificación haciendo uso de un juego de válvulas y otra línea.

### **Figura 22**

*Filtros prensa etapa de refinación – planta Merrill Crowe.*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

Un aproximadamente de 15 días, el filtro prensa perderá su capacidad de pasar el flujo por que el precipitado lo satura. Esto hace que la presión aumente hasta 75 PSI, lo que obliga a cambiar el filtro para su cosecha. El precipitado se seca en un horno de retorta luego se somete a un horno de basculante de 200 kg de capacidad. Luego de realizada la fundición, se hará el colado a las lingoteras, a fin de generar las formas de barras doré.



### **Fundición.**

El producto colocado en la planta Merrill Crowe son entendidos como precipitado o concentrado con un alto contenido de oro y plata, los cuales se someten a los siguientes procesos:

- Secado, desmercurizado
- Fundido, para la obtención de barras doré (mezcla de Au y Ag).

### **Tratamiento del precipitado.**

En un proceso de tratamiento, se utiliza ácido sulfúrico para eliminar el precipitado de Merrill Crowe de zinc excesivo. La precipitación del proceso de Merrill Crowe no debe superar el 5% al 10% de zinc.

### **Secado y desmercurizado.**

Luego de aplicar el tratamiento del precipitado, el agua contenida en él se elimina por completo y el mercurio se recupera. La cosecha produce un filtro prensa que se carga en un recipiente para aprovechar las particularidades físicas del mercurio y del agua. En consecuencia, para el proceso de fundición posterior, se genera un precipitado seco sin mercurio y con valores metálicos. El mercurio se condensa en enfriadores de calor que circulan agua fría enfriada por los vapores calientes de las retortas, y luego se acumula en contenedores con agua.

### **Fundición del precipitado.**

Al finalizar el proceso de fundición, el precipitado que contiene el metal del 95 % (Au y Ag) se extrae para eliminar la base y otras impurezas.

Para ello, se emplea un horno basculante de combustión que incluye un crisol de grafito que está recubierto con ladrillos reflectantes y petróleo. El nitrato de sodio, bórax y sílice son los fundentes utilizados.

### **Figura 23**

*Proceso de fundición etapa de colado del dore.*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Tanques de solución de barren.**

El tanque tiene la tarea de acumular la solución barren del proceso. El tanque posee 25.4 m<sup>3</sup> de capacidad y un par de bombas centrifugas horizontales de 350 HP.

### **Tanques de solución intermedia.**

El objetivo es bombear la solución intermedia a través de bombas sumergibles de 60 y 100 HP hacia al tanque y luego bombear la solución al sistema de proceso de lixiviado a partir de una bomba horizontal de 350 HP.

**Figura 24**

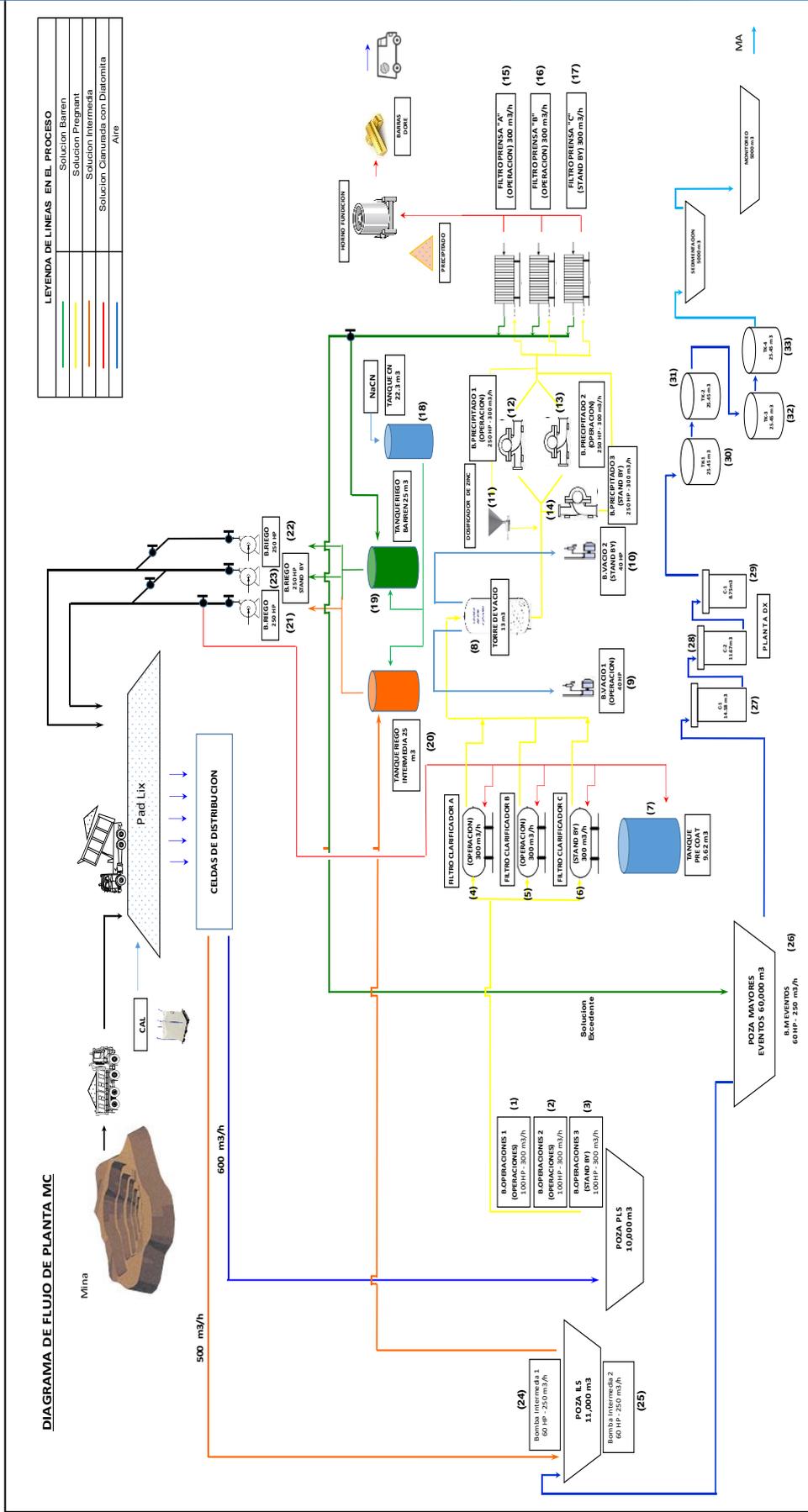
*Tanques de solución barren e intermedia.*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

**Figura 25**

*Diagrama de flujo de planta Merrill Crowe*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.



### 2.2.5 Cianuración

La cianuración es un proceso hidrometalúrgico basado en la utilización de soluciones de cianuros alcalinos como medio químico para disolver los contenidos de oro y la plata de menas auríferas y argentíferas. Para que esta disolución se produzca, la solución lixivante debe de contener tres componentes químicos esenciales, estos son:

- El ión Cianuro ( $\text{CN}^-$ ).
- El oxígeno disuelto en la solución ( $\text{O}_2$ )
- El ión Hidroxilo ( $\text{OH}^-$ )

Los dos primeros son los reactantes químicos que disuelven a los metales preciosos y el último es un componente esencial que le da carácter alcalino a la solución, permitiendo el accionar químico del ión cianuro en forma más eficiente, menos riesgosa y una operación económica debido a los siguientes aspectos positivos:

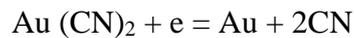
- La cianuración en ambiente alcalino es más selectiva con respecto a la ganga.
- Las soluciones alcalinas corroen menos a los materiales de los equipos utilizados (acero, madera, hormigón, etc.)
- Facilidad de la disposición de los relaves y efectuar un mejor control de la contaminación ambiental

#### **Termodinámica de la cianuración.**



Los diagramas de Pourbaix que relacionan el potencial de óxido reducción ( $E_v$ ) del metal con el pH del Medio (ver figura 26), muestran que compuestos como:  $\text{Au}(\text{OH})_3$ ;  $\text{AuO}_2$ ;  $(\text{HAuO}_3)^{-2}$  y también el ión  $(\text{Au})^{+3}$  requieren elevados potenciales Redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. La lixiviación del oro metálico es, por lo tanto, muy difícil a causa de la gran estabilidad de este último.

En el diagrama Au-H<sub>2</sub>O-CN se obtiene la siguiente reacción:

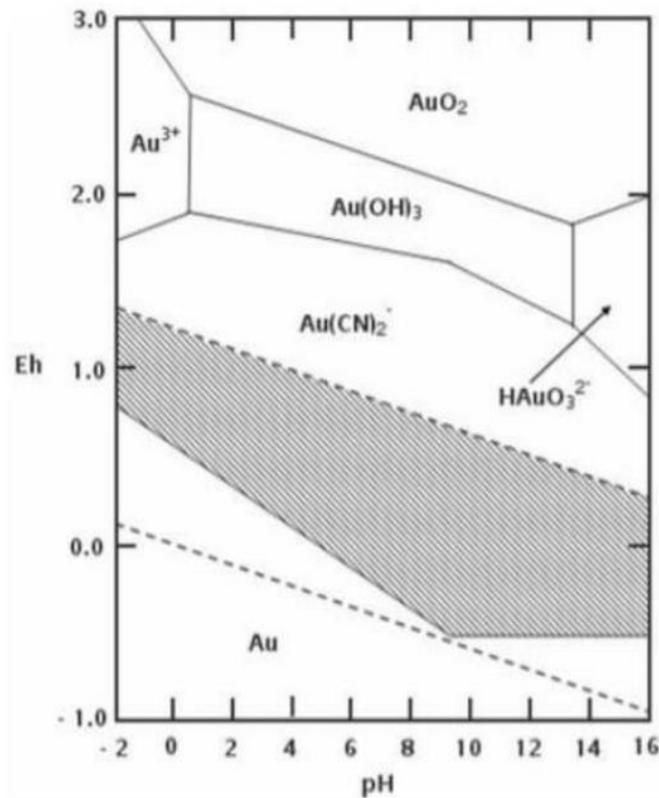


Se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del agua. El campo de estabilidad del complejo aurocianuro está limitado por una recta que inicialmente muestra una pendiente pronunciada (efecto de la hidrólisis del cianuro a pH menor a 9) tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante 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, es posible evidenciar los compuestos  $\text{Au}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Au}^{+3}$  y  $(\text{HAuO}_3)^{-2}$ , los cuales se reducen debido a que se ha introducido cianuro.

**Figura 26**

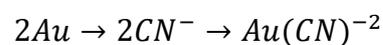
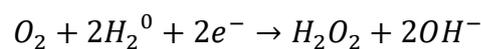
*Diagrama de Pourbaix del sistema oro–cianuro–agua a 25°C.*



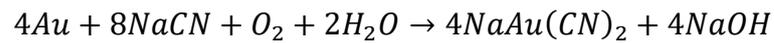
**Fuente:** Tomado de Hiskey y Atlur (1988)

### **Mecanismo electroquímico de la cianuración.**

La disolución del oro está regida por los principios electroquímicos de la corrosión, la explicación esquemática de este fenómeno se facilita (mediante la figura 27), la reducción del oxígeno sobre la superficie metálica en la zona catódica va acompañada por la oxidación del oro en la zona anódica de acuerdo a las siguientes reacciones:

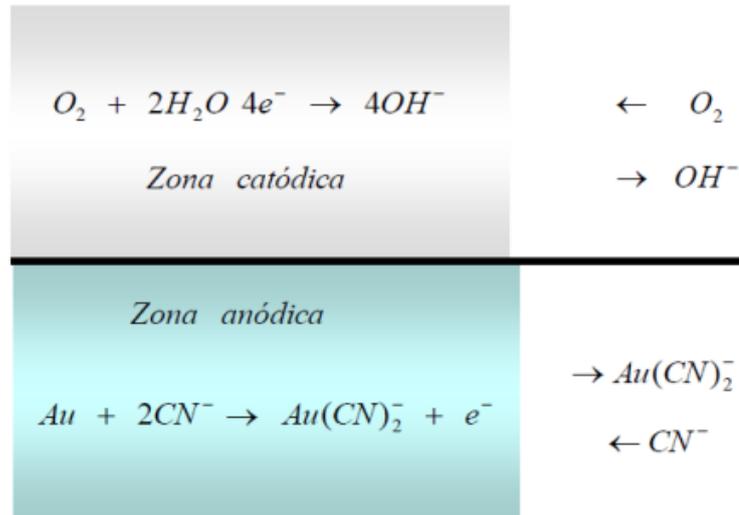


Ecuación fundamental de la cianuración:



**Figura 27**

*Esquema de disolución del oro en medio cianuro.*

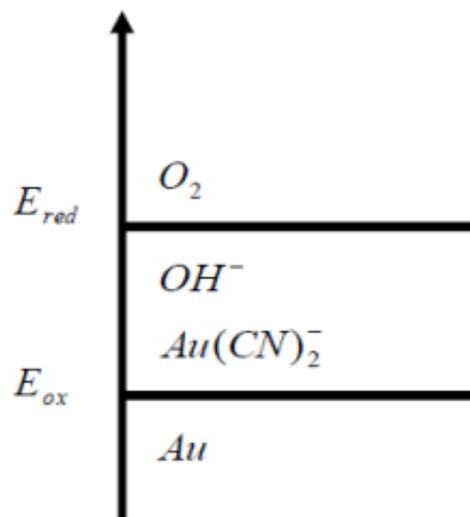


**Fuente:** Metalurgia del Oro, Fidel Misari.

Desde el punto de vista termodinámico, y tal como se representa en la figura 28, 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,  $E_{ox}$ .

**Figura 28**

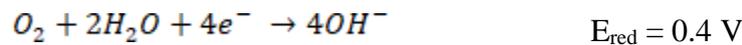
*Potencial de las reacciones parciales del oro.*



**Fuente:** Metalurgia del Oro, Fidel Misari.

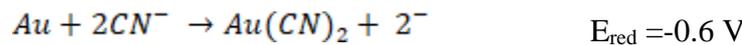


Cátodo (+)



$$E_{red} = 0.4 + \frac{0.06}{4} \log \frac{P_{O_2}}{|OH^-|^{-4}}$$

Ánodo (+)



$$E_{ox} = -0.6 + 0.06 \log \frac{|Au(CN)_2^-|}{|CN^-|^2}$$

Como se necesita que  $E_{red} > E_{ox}$ , entonces:

$$0.4 + \frac{0.06}{4} \log \frac{P_{O_2}}{|OH^-|^{-4}} > -0.6 + 0.06 \log \frac{|Au(CN)_2^-|}{|CN^-|^2}$$

$$\log \frac{P_{O_2} |CN^-|^2}{|OH^-|^{-4} |Au(CN)_2^-} > -17$$

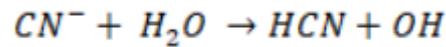
En consecuencia, se deducen las siguientes condiciones termodinámicas más óptimas para la solución del Au:

- Presión parcial de O<sub>xígeno</sub> elevada.
- Concentración elevada de cianuro.
- Concentración de iones OH<sup>-</sup> baja (pH moderadamente alcalino).

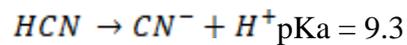
No obstante, se tienen las siguientes condiciones industriales de cianuración:

- Presión parcial de O<sub>2</sub> constante (0.21 atm).
- Concentración baja de cianuro.
- pH elevado.

Ambas condiciones evitan la hidrólisis de cianuro y su posterior volatilización, acorde a la siguiente reacción:



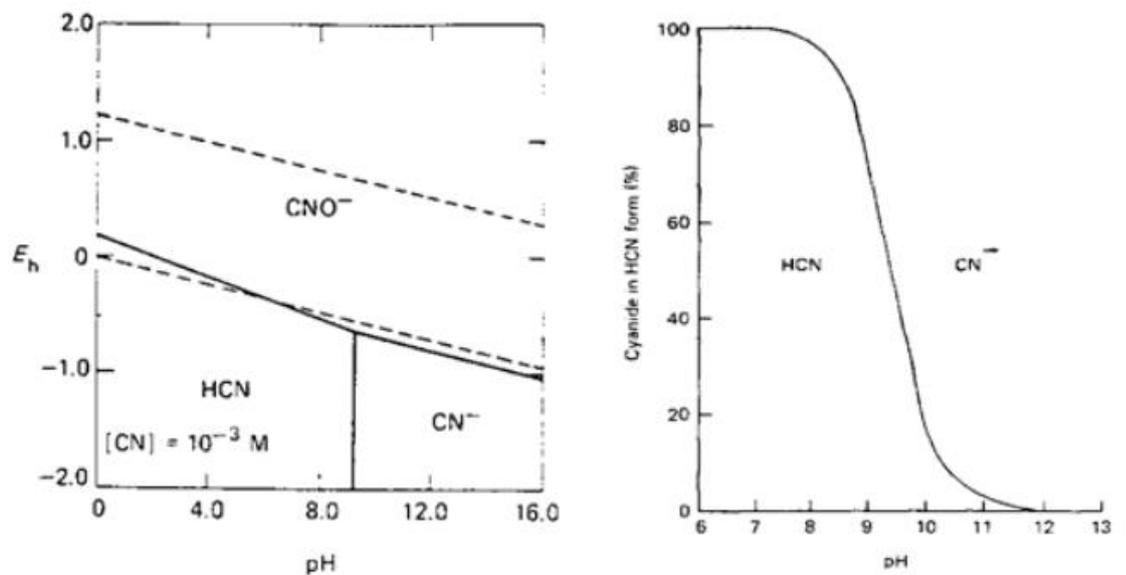
la curva muestra el equilibrio ácido-base del cianuro, en la figura 29 correspondiente a la reacción:



La curva evidencia que, para conseguir cianuro estable en la solución y que no se forme ácido cianhídrico, es esencial que se realice la actividad a un valor de pH superior o igual a 11.

### Figura 29

Diagrama Eh-pH del sistema cianuro-agua y diagrama del equilibrio CN<sup>-</sup>/HCN (pKa=9.3).



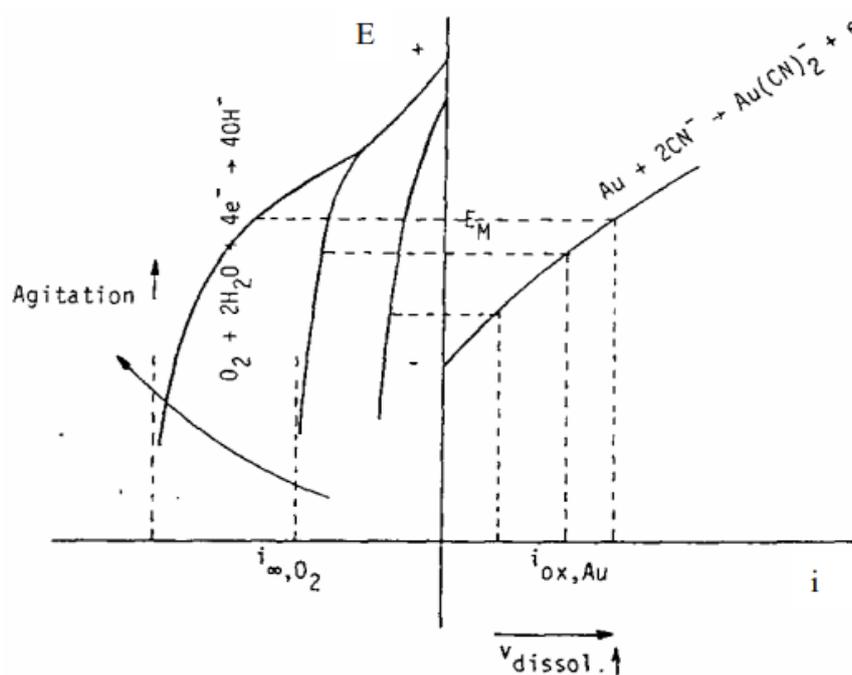
Fuente: Metalurgia del Oro. Fidel Misari.

### 2.2.6 Cinética de disolución de oro

Los aspectos cinéticos de la disolución del oro en medio cianuro, pueden ser examinados con la ayuda de las curvas de polarización de los sistemas electroquímicos involucrados, representados en la figura 30 por lo tanto, cuando la concentración de cianuro es suficiente ( $10^{-2}$  M), la velocidad de disolución del oro, es controlada por la difusión del oxígeno disuelto hacia la partícula de oro. De esta manera todas las condiciones que permitan acelerar o catalizar la reacción de reducción del oxígeno disuelto sobre el oro, tales como: agitación, temperatura, pH, etc., son muy favorables para la disolución del oro contenido en el mineral.

### Figura 30

*Interpretación de la cinética de cianuración de oro por el intermedio de las curvas de polarización.*



**Fuente:** Metalurgia del Oro. Fidel Misari.

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



1. Difusión de los reactantes, desde que esta es una solución hasta alcanzar la interfase, solido líquido.
2. En la superficie del sólido, se adsorben los reactantes.
3. Reacción en la superficie.
4. Desorción de los productos de la reacción de la superficie de sólido.
5. Difusión, a la solución, de los productos de la interfase sólido-líquido.

### **Efectos aceleradores y retardadores de la cinética de solución del oro.**

#### ***Efecto del oxígeno en la disolución de oro.***

Un consumo alto de  $O_2$  retrasa la reacción, lo cual se debe a la existencia de consumidores altos de  $O_2$ , como la pirrotina, conduce a una fácil descomposición, lo cual forma hidróxidos que tienden a oxidarse ante el  $O_2$ . Ante ello, es fundamental hacer uso de agentes oxidantes como el  $H_2O_2$  o, si fuera el caso, airear la pulpa a fin de lograr remediar el alto consumo de  $O_2$ .

#### ***Efecto del cianuro libre en la disolución de oro.***

Cuando se consume mucho cianuro lo cual se deba a la creación de complejos de cianuro, la presencia de sustancias sin cianuro retrasa la disolución. El volumen de álcali libre influye en la degradación de cianuro por hidrólisis. Aquellas concentraciones de cianuro que no logran disolverse resultan ser en extremo bajas, menor al 0.001%.

#### ***Efecto del tamaño de partícula en la disolución de oro***

El tiempo de disolución está influenciado por el diámetro de la partícula; a mayor diámetro, más tiempo de disolución, lo que se conoce como Au grueso. Al asumir una 3.36 micrones de reducciones por hora (datos de Barsky), un grano de Au de 44 micrones de espesor (malla 325) llegaría a tomar, como mínimo, 13 hr para disolverse, mientras que otro grano de 119 micrones de espesor (malla



100) implicaría 44 hr para disolverse. Si la agrupación emplea plata metálica, la duración es más larga. Al momento de producir Au grueso libre en los minerales, se suele realizar una gravimetría previa.

### ***Impacto de la alcalinidad sobre la disolución de oro***

1. Impide que se pierda cianuro a consecuencia de la hidrólisis.
2. Impide que se pierda cianuro a consecuencia de la acción del CO<sub>2</sub> del aire.
3. Descompone los bicarbonatos en el agua, previo a su utilización en la cianuración.
4. Equilibra los componentes ácidos que se encuentran en el mineral.
5. Favorece aquellos contenidos presentes en las sales férricas y ferrosas, agua, entre otras.
6. Favorece que las partículas finas se sedimenten.
7. Optimiza la extracción al momento de tratar minerales conteniendo teluros, entre otros.

### ***Efecto de la temperatura en la cianuración.***

Al momento de aplicar calor a una solución de cianuro con Au metálico, dos factores opuestos influyen en la velocidad de descomposición, tal como un aumento de la temperatura aumentaría la actividad de la solución, lo que aumentaría la velocidad de descomposición de Au.

La solubilidad de los gases disminuye conforme aumenta la temperatura, lo que resulta en una disminución en la cantidad de oxígeno. Julián y Smart evidenciaron que la solubilidad del Au en una solución de 0.25% de KCN, encontrado a 0°C y 100°C, la velocidad de disolución logra un máximo de temperatura de 85°C, a pesar de que el contenido del O<sub>2</sub> de la solución a esta temperatura fue menor de la mitad de aquel expuesto a 25°C.



También descubrieron que la velocidad máxima de disolución alcanzó 85°C, a pesar de que el contenido de O<sub>2</sub> de la solución era inferior a la mitad a 25°C. A pesar de que la solución carecía de O<sub>2</sub>, la velocidad de disolución del Au a 100 ° C era ligeramente menor que la máxima.

La razón propuesta para esta afirmación se basa en la importancia del O<sub>2</sub>: un electrodo en una solución calentada tiene menos capacidad para la absorción o retención del hidrogeno en su superficie que en una solución fría. Por lo tanto, cuando la solución se calienta, la máxima fuerza electromotriz contraria a consecuencia de la polarización disminuye, lo que resulta en la disolución de Au sin O<sub>2</sub>.

Esto ocurre porque la fuerza electromotriz de la disolución está en balance. Por lo tanto, la polarización puede ser evitada por el O<sub>2</sub>, que oxida el hidrógeno en la superficie del Au y favorece su disolución a bajas temperaturas, o por el calor, que separa el hidrógeno de la superficie del Au y favorece su disolución sin la presencia de O<sub>2</sub>. La evolución del hidrogeno debe coincidir con la disolución del Au al final. La ecuación de Janin (1888-1892) para disolver Au en soluciones de cianuro puede ser muy precisa en soluciones calientes.

### ***Efecto concentración de cianuro en la velocidad de disolución del oro.***

Según JS Maclaurin, mientras se mueve de soluciones concentradas a soluciones diluidas, la velocidad de la solución de Au alcanza su punto máximo en soluciones de cianuro. Según su investigación, una solución que contiene 0.25 % de NaCN puede alcanzar este valor máximo.

Según Christy, incluso las soluciones más débiles que el 0,001% de KCN no logran disolver el Au de manera efectiva. Julian y Smart determinaron que la



velocidad de disolución de Au incrementa de forma rápida conforme aumenta la fuerza de la solución hasta alcanzar 0.1% de KCN.

White señaló que cuando la solución de cianuro está saturada con O<sub>2</sub>, la máxima velocidad es del 0,027% de KCN o 0,020% de NaCN. La fuerza de la solución descubierta por Barsky Swainson y Hedley para la disolución más rápida fue del 0,05 % de NaCN. Diversos científicos han determinado que la gama de métodos empleados para determinar estos valores probablemente incluya la máxima velocidad de descomposición del Au.

Estas variaciones consideran diversos factores, como la velocidad de agitación, volumen de la solución a superficie de Au, velocidad de aireación. Al utilizarse un gran volumen de solución, así como una superficie pequeña de Au, que se expone a una solución de cianuro, y si es suficiente la agitación para la remoción de los productos de la reacción mediante la superficie de Au conforme a la rapidez con la que se forman, el factor que controla la velocidad de disolución de Au tendría que ser la concentración de O<sub>2</sub> de la solución que se encuentra en contacto con el Au.

Si decide hacerse uso de aire y en caso las pruebas se expongan al mar, se considera una concentración máxima de O<sub>2</sub> será 8mg/l.

### **Disolución del elemento aurífero.**

Por más de diez años, el proceso de lixiviación de cianuro se ha empleado para tratar minerales auríferos; este se divide en dos fases: consiste en la disolver metales como Au y Ag, y la solución rica se trataría con otros procesos, tales como la precipitación con polvo de zinc y la absorción de carbono activado a través de electrodeposición. El proceso se lleva a cabo lo más rápido posible mediante pasos



previos, como disminución de liberación y tamaño, o pasos ulteriores relacionados con el tratamiento de solución rica.

Es importante tener en cuenta que la disolución de cianuro debe ser preferida por los metales que se encuentren en el Au procesado. Para la reacción de disolución, el  $O_2$  es necesario; si no está en cantidades óptimas, el proceso se convierte en ineficiente. El intercambio de Au, cianuro y aire produce un compuesto de Au que se oxida además de la liberación de iones de hierro oxidantes.

Ante estas pruebas, se encontró que la velocidad a la que se disuelve el Au tiene asociación con la concentración de cianuro, la alcalinidad del entorno de descomposición y el pH, que suele estar entre 10.5 y 11.0. Por lo tanto, para que la cianuración de un mineral aurífero sea efectiva, el Au debe estar con fineza de tamaño y libre.

El proceso se ve afectado negativamente al encontrarse minerales adjuntos, como los sulfuros secundarios de Cu o los minerales oxidados de cobre, ya que se vuelven a disolver primero y se mantienen muy poco libre de cianuro para lixiviar el Au. Como se ha indicado, la adecuada presencia de  $O_2$  es fundamental para el PC, el cual implica etapas anteriores para reducir el tamaño, como chancado y molienda, para que las partículas de Au se liberen adecuadamente.

Si se utiliza la cianuración por agitación, el tamaño de la partícula debería encontrarse entre 75 y 95 % menor que la malla de 200. El mineral se cianura primero en los molinos de bolas y luego se lixivia en los tanques de lixiviación. Al aplicarse este proceso a pilar, el chancado puede requerirse según las



características de mineral del depósito. Cuando se desintegra en montones, la molienda no se tiene en cuenta. Como se mencionó anteriormente, la presencia de ciertas sustancias puede tener un impacto en el proceso de descomposición, como altas concentraciones de mineral de cobre oxidado.

Es crucial señalar al arsénico, que generalmente se presenta como arsenopirita, además de otras variedades de sulfuros. La liberación adecuada de Au y el consumo libre de O<sub>2</sub> pueden estar relacionados con la arsenopirita y el Au. La presencia de antimonio como estibina afecta el proceso. La presencia de zinc, níquel, hierro, cobre, manganeso y otras especies iónicas también podría reducir de forma significativa la cinética de disolución. A pesar de que los componentes carbonáceos tienen la capacidad de absorber el Au disuelto, su presencia es nula.

La madera, aceite, grasa u otros hidrocarburos en proporción alta tienen la capacidad de aminorar cuán rápido es la cianuración, a pesar de consumir oxígeno disuelto que se encuentra en la solución rica.

### **2.2.7 Pad lixiviación**

La lixiviación en pilas (heap-leaching), actualmente están siendo utilizadas debido a los bajos costos de operación y mayor eficiencia. La pila se riega mediante mangueras HDPE con emisores para eliminar la solución de cianuro. Después, la solución percola a través del mineral apilado y disuelve los valores de Au y Ag.

Esto permite que la solución percole con una solución cargada de ley de oro en el PAD y luego se deposita en una poza operación (PLS).



Para el desarrollo del método de lixiviación en pilas el mineral debe ser adecuado y contar con las siguientes características: porosidad, contenido de Au libre y bajo contenido de cianicidas e impurezas.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicada, debido a que se realiza experimentación en obtener los valores óptimos en el % de extracción de Au con mineral aurífero fino en un Lift de 10 metros del PAD dinámico; utilizando aquellos saberes adquiridos de manera práctica y operativa para construir y modificar este tipo de investigación permite mejora el proceso de la empresa. Y los análisis de los parámetros óptimos del proceso de lixiviación y sus condiciones de operación óptimas del PAD dinámico en el proceso de lixiviación con mineral aurífero finos para una mayor extracción de oro en el PAD.

##### 3.1.1 Nivel de investigación

Esta investigación desarrolla métodos descriptivo–correlacional, de acuerdo Hernández et al. (2016) los estudios de carácter descriptivos hace referencia específica a las características, particularidad, propiedades de sujetos, comunidades, grupos o fenómenos del análisis especificado. El estudio correlacional relaciona entre dos o más variables dependiente e independientes ya que nos permite describir los hechos observados. De un tipo de fenómeno del análisis especificado.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

El estudio será de tipo pre experimental, principalmente ya que presentará una situación controlada donde es manejada, de forma intencional, la variable independiente con el objeto de analizar los resultados con relación a la variable dependiente (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Consistiendo

principalmente en administrar una mejora a través de la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico, para observar cómo se desarrolla posteriormente la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca, existiendo la modalidad de pre y post test para realizar una comparación del antes y el después en la extracción aurífera.

Igualmente es señalado que tendrá un corte longitudinal debido a que esta investigación recolectará datos en diferentes tiempos para luego realizar inferencias en relación al problema investigado, sus principios y sus efectos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

### **Diseño Experimental**

A continuación, se presenta el diseño factorial, donde se consideran todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. Si hay dos factores, cada uno con dos niveles, habrá un total de  $2 \times 2 = 4$  o 4 combinaciones de tratamientos.

Donde las variables a evaluar son las siguientes:

<b>X1:</b>	<b>Altura de la pila</b>	<b>m</b>
<b>X2:</b>	<b>Flujo de riego</b>	<b>L/h*m<sup>2</sup></b>

Presentándose el siguiente modelo de diseño:

<b>Prueba</b>	<b>Altura de la pila (m)</b>	<b>Flujo de riego (L/h*m<sup>2</sup>)</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X1X2</b>
<b>1</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

## **3.2 POBLACIÓN, MUESTRA**

### **3.2.1 Población.**



Por lo que la población estará conformada por la cantidad de onzas de oro extraídas en el proyecto minero durante un periodo de 10 meses, planteando 5 meses para el pre test e igual cantidad para el post test correspondiente, con un intervalo de 01 mes para implementar la mejora del Pad dinámico.

### **3.2.2 Muestra.**

La muestra se encuentra conformada por la totalidad de cantidad de onzas de oro extraídas en el proyecto minero durante un periodo de 10 meses, planteando 5 meses para el pre test e igual cantidad para el post test correspondiente.

## **3.3 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **3.3.1 Unidad minera**

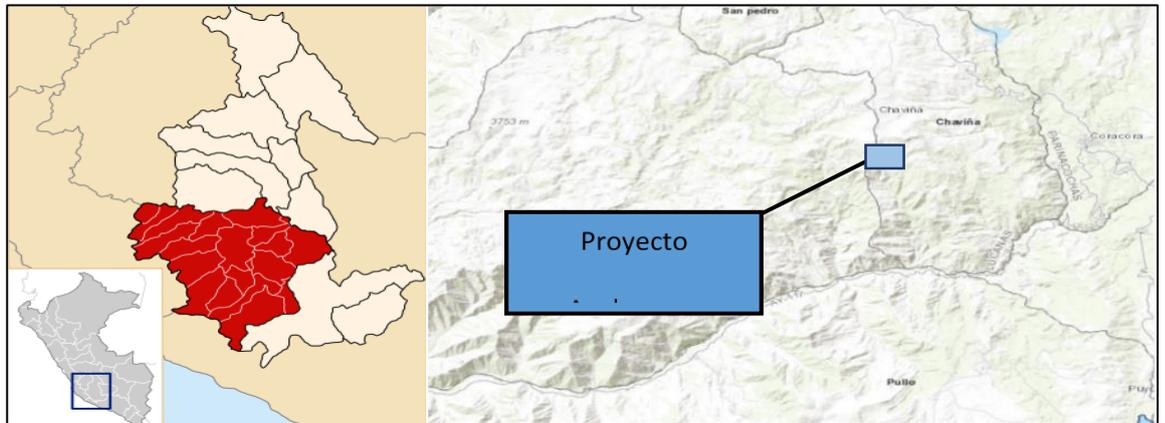
La U.M. Apumayo se ubica en el departamento. de Ayacucho en la provincia. de Lucanas, ubicada al occidente de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur en Perú. El proceso productivo de la mina consiste en extraer barras doré (Au y Ag) a través de diversos procesos y operaciones: perforación, voladura, carguío, acarreo, lixiviación en pilas, proceso Merrill Crowe, así como el proceso de fundición.

### **3.3.2 Accesibilidad**

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento. de Ayacucho, provincia. de Lucanas, distrito de Chaviña-Sancos, e implica la concesionara de Apumayo (este 61,500; norte 8 244,600 y este 616,250, norte 8 343,00 UTM, WGS84, zona 18 S), y la altitud puede variar entre los 3950 m.s.n.m. a 4250 m.s.n.m. con una extensión de 1,800 Has. El detalle de las rutas se evidencia en la figura 31.

**Figura 31.**

*Ubicación del proyecto Ayahuanca departamento de Ayacucho y provincia de Lucanas*



**Fuente:** Minera Apumayo

**Tabla 1**

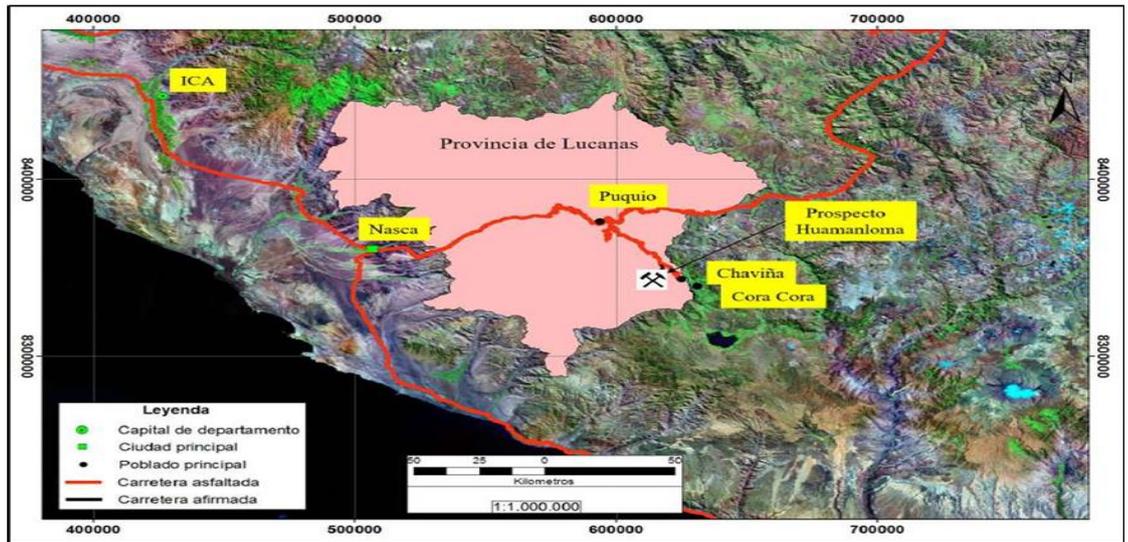
*Vía de acceso a mina Apumayo – ruta 1*

RUTA	Km	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Lima - Nazca	455	Asfaltado	6
Nazca - Puquio	151	Asfaltado	3
Puquio - Desvío	48	Asfaltado	2
Desvío - Proyecto	13	Trocha Carrozable	0.5
<b>TOTAL</b>	<b>667</b>		<b>11.5</b>

**Fuente:** Área de Geología mina Apumayo

**Figura 32**

*Acceso al área del proyecto*



**Fuente:** Área de Geología mina - Apumayo

### 3.3.2.1 Geomorfología y fisiografía

El área de estudio está ubicada y conforma el flanco Occidental de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur del Perú. El grado de erosión es de 3,900 a 4,360 m.s.n.m. y el aire exterior es suave y ondulado. Los Cerros Uchuy Pucará tienen una altitud de 4,360 metros, mientras que la quebrada del río Chaviña tiene una altitud de 3,900 msnm.

Generalmente, el clima es variable, con temperaturas que fluctúan entre 6°C durante el día y -8°C durante las noches. Hay una variedad de lluvias y frío, con tormentas eléctricas en diciembre y abril, y el sol durante lo que resta del año. La vegetación se compone de especies comestibles, arbustos, ichu, entre otros. Los ríos Chaviña, Sangarara y Yauca conforman la red hidrográfica del Pacífico.

**Geología:** El PA se compone de un yacimiento de ácido sulfato (sulfuración alta) ubicado en rocas volcánicas que están compuestos por

andesítica, con alteraciones en sílice propolítica, argílico, SA, vuggy-granular y SM,

**Grupo barroso:** Según INGEMMET (1997), las rocas volcánicas anteriores a la glaciación pleistocénica y posteriores a la formación Capillune son parte del Grupo Barroso, mientras que el tope del Barroso está marcado por la glaciación cuaternaria. El volcán Barroso inferior y el volcán Barroso superior son dos miembros distintos.

**Volcánico barroso inferior:** Las estructuras volcánicas desarrolladas pertenecen al tipo de volcán. Es compuesto por una sucesión de opciones piroclásticas y de derrame, la primera de las cuales corresponde a andesitas y traquiandesitas, y la segunda a brechas y aglomeratos volcánicos. Los derrames predominan sobre los plásticos. La forma de los acantilados del Volcánico Barroso se resalta claramente en todas sus apariciones, ya que contrastan con su superficie peneplanizada, que se encuentran a una altitud que, en promedio, es de 4,200 msnm.

En respuesta a las oposiciones de altura por encima de 900 m entre la cúpula de los volcanes y las planicies, se consolidan las capas lávicas periclinales con pendientes que oscilan entre 35°, 10° y 15°. En la superficie peneplanizada, los derrames lávicos pueden encontrarse en una posición subhorizontal.

Según la litología, el volcán inferior Barroso se representa por una variación de derrames andesicos y traquiandesicos con un color gris a violáceo y una textura porfídica que resalta el feno de plagioclasas. Además, existen rocas fluidas con una estructura fluida debido a la



alineación paralela o subparalelo de los aspectos de la trama y las estructuras vesiculares. Entre estos, es común encontrar brechas y aglomerados de tonalidad gris a marrón.

**Volcánico barroso superior:** La litología está representada por rocas piroclásticas donde la parte inferior se compone por intersecciones entre piedras grandes y gruesas con un aspecto masivo y pómez, biotita, granos angulares de cuarzo, plagioclasas y vidrio volcánico. Juntos, demuestran una dispersión elíptica notable. La roca puede tener una tonalidad gris violácea en superficies frescas, pero puede cambiar a gris claro como resultado del intemperismo. El ámbito superior está formado por tobas brechoides de color salmón blanco con fenocristales de plagioclasas de 1 a 2 mm y elementos líticos finos angulosos a subredondeados, que en su mayoría son lávicos.

**Geología local:** En la geología, se constituye por rocas volcánicas neógenas con dirección NNW, que se asignan a la formación barroso del Plioceno Superior - Pleistoceno. El ordenamiento volcánico da lugar a la Formación Aniso, que se compone de ordenamientos volcánicos sedimentarios de la época superior del Paleozoico.

La Región Tambillos se compone principalmente de una cúpula silícea calcedónica con alteraciones que varían desde el centro hacia el exterior, como silicificación, propilitización argilización avanzada, argilización neta. Estos cambios se encuentran en la secuencia volcánica, que incluye lavas andesíticas, tufos e ignimbritas.

**Litología:** Los stocks y domos dacítico constituyen la litología. El C° Cello Ccasa se encuentra al este de los domos y stock dacíticos, que se encuentran en una línea que se extiende de N a S y forma la línea de cumbres (Machare 1997). El cuarzo, minerales

opacos, plagioclasas y fenocristales de biotita están presentes. Debido a su posición, es probable que se preocupe por eventos posteriores.

**Lava andesítica:** Es el acontecimiento efusivo que ocurre después de que suceden eventos explosivos, también denominados piroclásticos. Las lavas andesíticas muestran variaciones en su textura que van desde la andesita porfirítica hasta la andesita afanítica, y las laminaciones centimétricas envuelven la zona superior del depósito lávico.

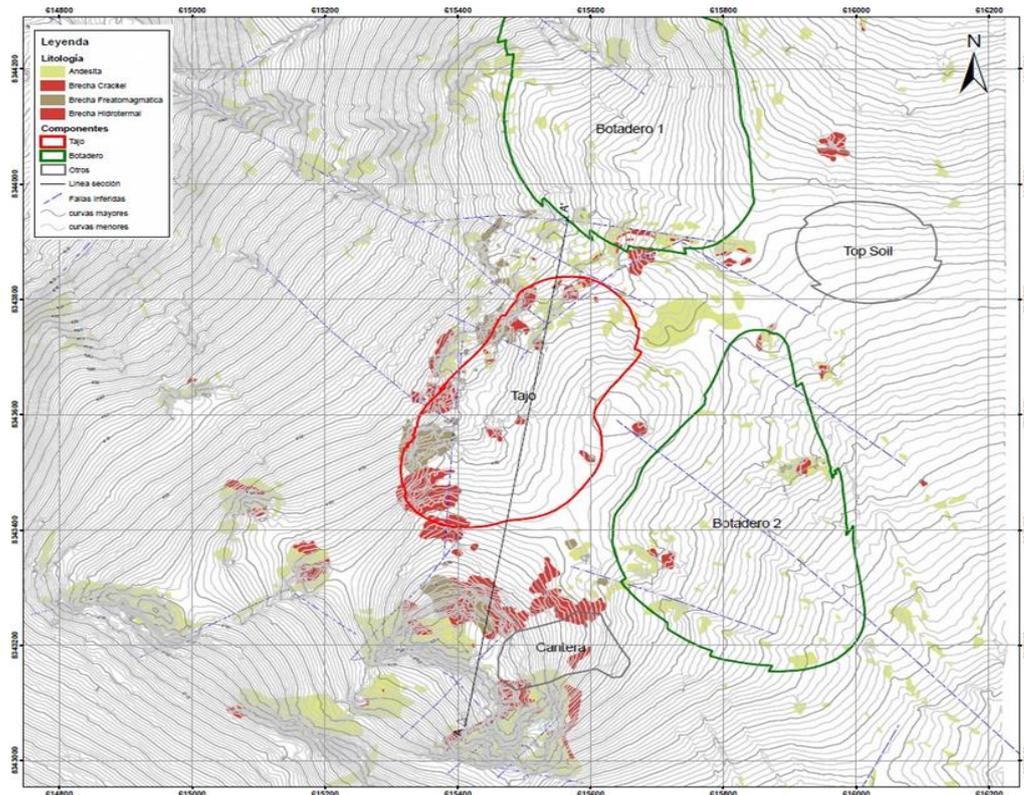
**Piroclástico:** En estos se incluyen depósitos de caídas que rellenan paleovalles, donde se pueden distinguir más de 3 unidades de erupción de tufo de lapilli con lapillis acrecionales, fragmentos líticos y clastos de pómez.

**Estructuras hidrotermales:** Las estructuras hidrotermales se distinguen por ser irregulares y silicificados que se elevan hasta 25 metros sobre la superficie y constituyen pendientes fuertes con aureolas alteradas que avanzan desde la opalación-silicificación en la cúpula hasta la argilización y propilitización. Estas se encuentran alineadas a N30°W and N60°E, y tienden a sobresalir de manera notable en la superficie.

**Conglomerados recientes:** Estos se encuentran cerca de los centros de alteración y en áreas de pendiente pronunciada. Los conglomerados son grupos de fragmentos de menos de 15 cm con una forma que puede ser redondeada o subangular. La mayoría de estos fragmentos están compuestos por rocas andesíticas y tufáceas, y se pueden observar signos de alteración silíceas y argílicas. Estos conglomerados tienen una estructura de clasto soportado, lo que significa que los fragmentos están cementados por sílice y óxidos de hierro. La presencia de esta cementación indica que en las áreas afectadas se aportaron soluciones silíceas posteriormente.

### **Figura 33**

*Litología local*



**Fuente:** Superintendencia de Geología – Apumayo

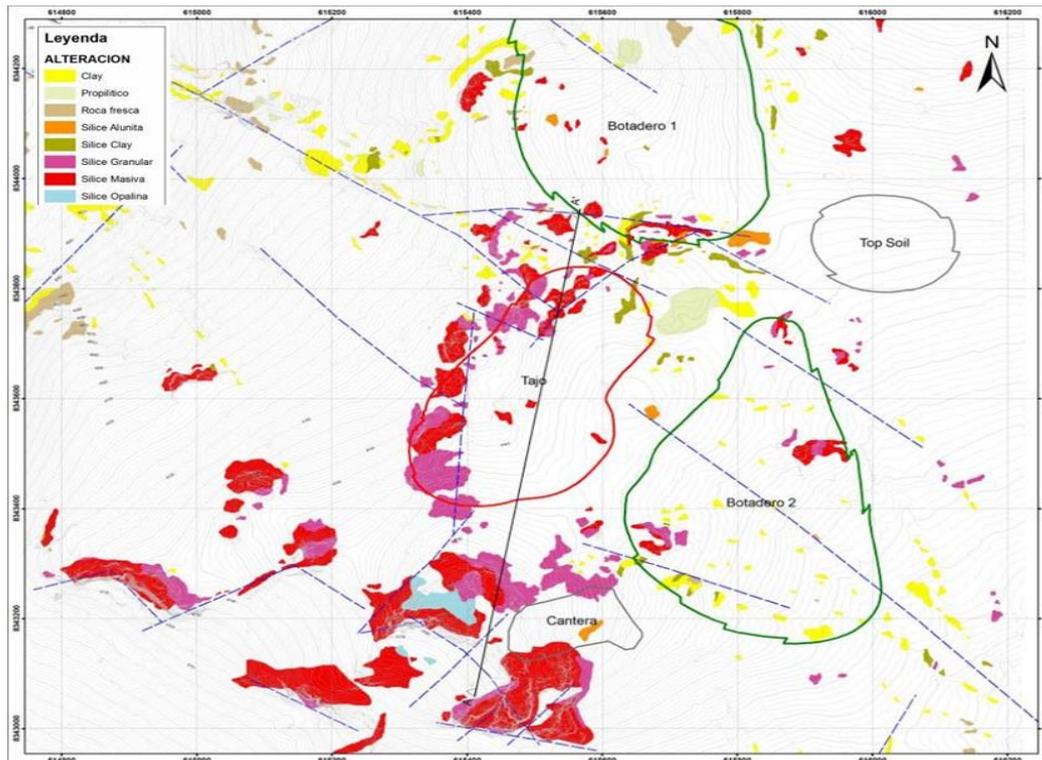
**Argílica:** Estos se encuentran al borde de los centros de alteración con un enlace de caolín (illita y/o esmectita) y pirita.

**Argílica avanzada:** En su totalidad, el conjunto de cuarzo-caolín es el de tamaño mayor en el proyecto. Con un contenido de caolín del 20% al 40%, el cuarzo es el componente principal de este ensamble. El caolín está envejeciendo y sustituyendo a los fenos de feldespatos. El ensamble de cuarzo-alunita muestra la intergestión de la alunita, que sustituye a los fenocrostas y cierra grietas, probablemente formadas en varias generaciones.

**Silicificación:** La SG, SO, lixiviada y la sílice muy compactada son tres formas conocidas. Los tres tipos están relacionados con los centros de alteración hidrotermal. La serie de tufos del Barroso y las lavas andesíticas se ve afectada por la modificación.

### Figura 34

*Alteración local*



**Fuente:** Superintendencia de Geología – Apumayo

### **Geología estructural.**

La investigación de fotointerpretación, llevada a cabo por M. Baker (APC, 1996), identificó diversos ejes de alteración hidrotermal caracterizados por alineamientos del suroeste y del sureste del norte: el de norte al sur, contiene los centros de alteración epitermal desde Piruruyoc hasta Iñahuato (incluyendo el PA), parece estar relacionado con el Complejo Volcánico Tambillos (CVT).

**Fallas:** Las fallas locales se asocian a la dirección de las fallas regionales NW y sus fallas transversales respectivas. Prevalcen los fracturamientos poli-direccionales.

**Stocks:** Se encuentran al límite N del centro de alteración epitermal Cello Ccasa. Implican intrusiones irregulares, con extensión menor a 50 m, que sobresalen de forma débil a la superficie, con fenos de feldespatos, de composición dacítica, cuarzo primario y biotitas.

**Centros de alteración epitermal:** Son estructuras con rumbo preferencial N60°W de forma irregular, y extensiones que varían de 50 a 300 metros; constituyen afloramientos silicificados, con cúpulas brechada y opalinas, y con bordes con alteración propilítica y argílica. Estos centros de alteración están conformados por múltiples eventos de silicificación y brechamiento.

**Brecha hidrotermal:** Se denomina brecha hidrotermal a las estructuras masivamente silicificadas con formas de canales silicificados, y a las estructuras con forma de cúpulas constituidas de brechas polimícticas con silicificación masiva. Las brechas hidrotermales se presentan formando generalmente canales verticales de grosor variable (desde 10 cm hasta 7 m), los cuales en el prospecto son polidireccionales. Generalmente, las rocas hospedantes son rocas piroclásticas, brechas silíceas y andesitas porfíricas. Las brechas hidrotermales tienen fragmentos silicificados, polimícticos, subángulos a redondeados, y su matriz está compuesta de sílice microgranular, SM, compacta, con óxidos de hierro diseminado.

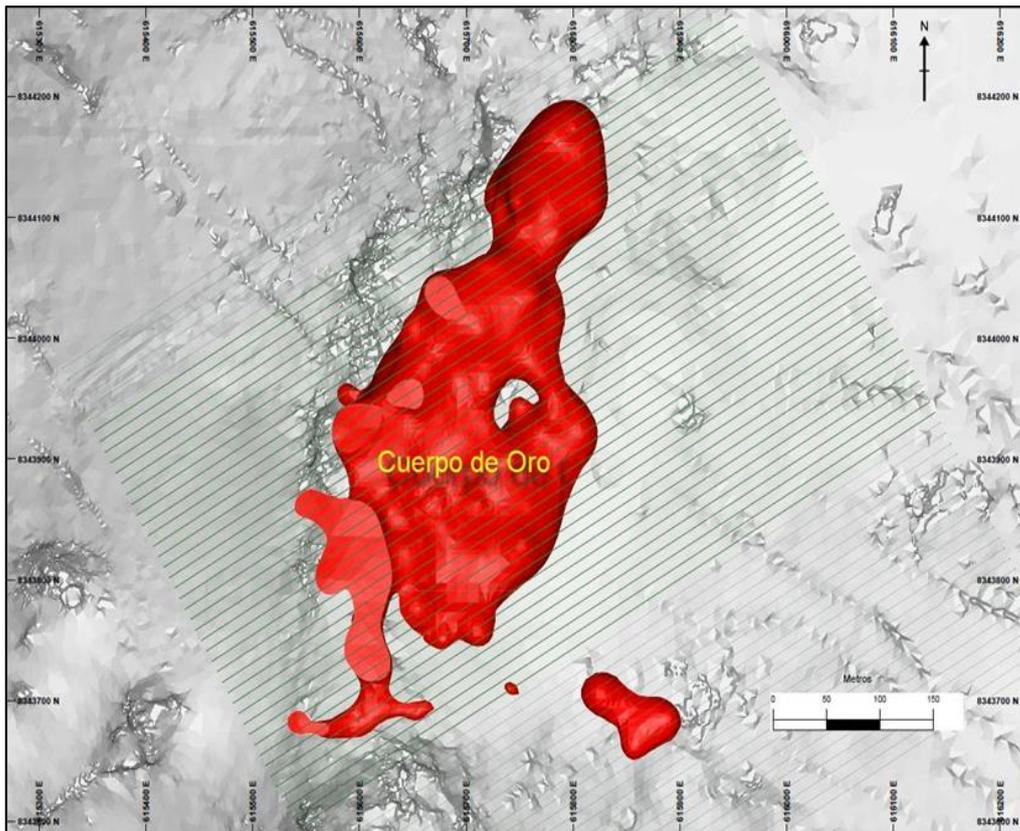
**Cráter de explosión:** hacen referencia a estructuras semicirculares que pueden alcanzar hasta los 700 metros de diámetro, y que se rellenan por brechas silicificadas, refracturadas y, de manera ocasional, con laminaciones finas. La roca que satura el cráter de explosión se encuentra influenciada por varios pulsos de fluidización (tufisitas).

#### **Estimación de recursos.**

**Interpretación geológica:** La interpretación geológica se ejecuta a partir de secciones verticales de dirección NE cada 10 m, haciendo uso de datos de logeo y cartografiado en superficie, obteniéndose interpretaciones para: Alteraciones, zonas en oxido – mixto - sulfuro, cuerpo de Au mayores a 0.10 gpt.

#### **Figura 35**

*Cuerpo de oro*



**Fuente:** Superintendencia de Geología – Apumayo

El listado de alteraciones del depósito se resume en la tabla siguiente:

**Tabla 2**

*Listado de alteraciones del depósito*

Abreviatura	Descripción
SR	Sílice Residual
SM	Sílice Masiva
SG	Sílice Granular
SV	Sílice Vuggy
SD	Sílice Deleznable
SO	Sílice Opalina
SA	Sílice Alunita
SC	Sílice Clay
SCP	Sílice Clay Pirita
CP	Clay Pirita
C	Clay Pirita
PRO	Propílica
RF	Roca fresca

**Fuente:** Superintendencia de Geología – Apumayo

**Cálculo de ley de corte.**

De acuerdo a la mineralización del yacimiento del proyecto Ayahuanca el cálculo de ley de corte Au considera el costo de minado (mineral y desmonte), costo de procesos metalúrgicos y gastos administrativos. Para analizar las reservas económicas, se considera lo siguiente:

- 1) Cut-off: de operación, como la ley mínima que hace referencia al proceso metalúrgico, costos de minado, y procesos administrativos.
- 2) Cut-off de producción, como la ley mínima que engloba los costos únicamente de minado y proceso metalúrgico.

### **Resumen y detalle de las reservas minerales.**

Se estiman 3'500,528 TN de mineral extraíble con ley promedio de 0.48 g/t de Au y 5'912,341 TN de desmonte, los cuales serán conducidos al botadero. Se obtuvo una relación desmonte-mineral de 1.7.

**Tabla 3**

*Reservas totales de mineral y generación de desmonte*

SECTOR	Años Vida	Mineral_ TN	Desmonte _TN	S.R.	Au_ gr	Oz_ A u
AYAHUANCA	1.3	3'500,528	5'912,341	1.7	0.48	<b>40,937</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3'500,528</b>	<b>5'912,341</b>	<b>1.7</b>	<b>0.48</b>	<b>40,937</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Geología:** La UM en Apumayo es concebida como un yacimiento tipo ácido sulfato (epitermal de sulfuración alta) que presenta alteraciones SM, PRO y argílico, AR, vuggy-granular, la cual se halla estacionada en rocas volcánicas de composición andesítica (Choqueña, 2017).

**a. Geología regional.** El yacimiento indicado se ubica en la franja metalogenética epitermal de Au-Ag extendida por los Andes peruanos. Los sistemas de falla regionales de Caylloma, Condoroma, Incapuquio y Chinch-



Lluta lo controlan. Las rocas volcánicas del grupo Tacasa y Barroso tienen mineralización que se encuentra bajo control de fallas de E-O (centro efusivo e hidrotermales). Estos yacimientos incumben yacimientos epitermales de Au de sulfuración alta como Tukari, Santa Rosa (7.16 y 4.64 Ma), Breapapma, Carhuarazo, Palla Palla y Minasnioc, así como a depósitos epitermales de Ag como Cacachara, Pavico y los Proyectos Baños del Indi y Masocruz. Esta franja tiene una edad de mineralización de 7 a 1,5 millones de años, lo cual evidencia que existe vulcanismo con mineralización reciente que, en sistemas epitermales, no supera el millón de onzas de aluminio. Además, la zona se encuentra en rocas volcánicas neógenas principalmente de origen andesítico, que pertenecen al grupo Tacaza, que se extendió en dirección Nor Oeste-Sur Este en 20 km, en discordancia angular con el grupo Barroso.

**b. Geología del yacimiento Ayahuanca.** El entorno de la zona está principalmente formado por formaciones rocosas formadas por erupciones volcánicas. Los centros volcánicos experimentaron cambios y erosiones parciales durante el periodo Mio-Plioceno. La actividad volcánica en estos lugares se manifestó de manera explosiva y efusiva, lo que provocó la acumulación de material piroclástico y lávico que llenó la paleotopografía de las zonas entre Taihuire (Ayahuanca) y Lambre. En este lugar se construyó un centro de actividad epitermal, pero a consecuencia de la acumulación de SR, se cerró. En consecuencia, se formó un cráter explosivo que fue rellenado por brechas freatomagmáticas, también conocidas como diatrenas. La SM, la SV, la SG, la SA, la SO y la tierra de sílice son características de los depósitos epitermales de sulfuración alta. La andesita, las brechas freatomagmáticas, crackel, hidrotermales y un intrusivo subvolcánico de composición dacítica

son ejemplos de tipos de rocas relacionados con la mineralización desde un punto de vista litológico.

### Figura 36

*Alteraciones propias del yacimiento de alta sulfuración*



**Fuente:** Operaciones Mina Apumayo.

Las alteraciones que se encontraron resultan conformes del yacimiento epitermal de sulfuración alta, SV, SM, SO, SA, SC. La andesítica, las grietas phreatomagmáticas, las grietas crackle, las grietas hidrotermales y una intrusión subvolcánica de composición dacética son los tipos de piedra relacionados con la mineralización.

**Litología.** En la zona del yacimiento brota diversas rocas volcánicas (tufos y lavas), brechas asociadas a emplazamiento de aparatos volcánicos e intrusivos subvolcánicos, dentro de las principales rocas se encuentran las siguientes:

- **Andesita porfirítica:** es una piedra de gran grosor de tamaño medio que se puede encontrar tanto en la zona alterada como mineralizada como en la zona marginalmente fertilizada o sin nieve.
- **Brecha ckackel:** Implica fragmentos angulosos que no presentan rotación ni matriz, los cuales se encuentran cementados mediante óxidos. La brecha

puede ser monomictiva o polimictica, en función al protolito que forman las brechas fraetomagmática y la andesita.

- **Brecha hidrotermal:** Asociada a los más altos valores de Au, surge a consecuencia de procesos hidrotermales, cuyos gases tienden a romper las paredes de las rocas preexistentes, con lo cual forman estructuras polimicticas subvertical a vertical, frecuentemente inyecciones de sílice crema.
- **Brecha freato magmática:** Roca políctica fragmentaria que se caracteriza por la presencia de fragmentos angulosos, subangulares y subredondeados; algunos de estos fragmentos coinciden con las brechas previas.
- **Intrusivo subvolcánico dacítico:** De textura porfirítica de grano grueso, estas no se ubican en afloramiento local. Se encuentran en el sector N del área mineralizada seccionando la andesítica

### Figura 37

*Textura porfirítica gruesa trazos de azufre en oquedades, FeOx (goethita) y puntuales vetillas de sílice en Fractura*



**Fuente:** Superintendencia Geología Mina Apumayo.

**Alteración:** Las alteraciones hidrotermales que fueron determinadas en YA resultan típicas de alineación epitermales de sulfuración alta, con menor o mayor desarrollo, una respecto a otra.

- **SM:** implica alteración a exposición mayor, esta se ubica en la zona mineralizada y al N-S del yacimiento.
- **SV:** esta alteración es encontrada en la superficie local, así como en ciertos taladros diamantinos.

### Figura 38

*Brecha hidrotermal fuertes inyecciones de sílice en toda la roca b) textura porfirítica media gruesa vetillas de sílice en fracturas FeOx (goethita)*



**Fuente:** Superintendencia Geología Mina Apumayo.

- **SG.** Esta forma de alteración es común en lugares con depósitos minerales. La alteración de la SG se encuentra principalmente cerca de la alteración de la SM.
- **Sílice alunita.** Hasta ahora, se han realizado pocos estudios sobre este tipo de alteración, aunque se ha encontrado en algunos afloramientos aislados que se ubican de forma longitudinal en los límites de la zona mineralizada. Se ha detectado la alteración de sílice alunita en varios estratos del depósito.
- **Sílice opalina.** Esta es evidente en exposición local, afloramiento de brechas, ubicada en la cumbre del cerro Taihuire. La SO hace referencia al tope del sistema hidrotermal de Ayahuanca.

### Figura 39

#### *Sílice opalina*



**Fuente:** Superintendencia Geología Mina Apumayo.

- **SC (Clay).** Se evidencia en zonas marginales de centro de alteración hidrotermal Ayahuanca como una particularidad de yacimientos epitermales de sulfuración alta.

### Figura 40

#### *Sílice clay*



**Fuente:** Superintendencia Geología Mina Apumayo.

- **Alteraciones propilíticas.** Destaca por su tonalidad verdosa, lo cual se debe a sus niveles de clorita, con esta alteración, los afloramientos pueden encontrarse en rocas inalteradas.

#### **Figura 41**

##### *Sílice propilítica*



**Fuente:** Superintendencia Geología Mina Apumayo.

- **SGD:** Los minerales fueron analizados en función al orden de predominancia: cuarzo, goethita, trazas de baritina, esfalerita, rutilo, pirita, plomo, escorodita, titanomagnetita, y en la muestra no fue evidente Au metálico. El oro (Au) es observable, en óxidos de hierro y partículas de pirita, como solución acuosa, o submicroscópica.

**Tabla 4**

*Microscopia electrónica de la sílice deleznable*

MINERALES	DESCRIPCION	TAMAÑO DE PARTICULAS (um)
CUARZO	Presencia inclusiones de rutilo, zircón y esfalerita	milimétrico
GOETHITA	Ocurren como granos libres. Se aprecia intercedido con rutilo y cuarzo	5, 10, 20
TITANO MAGNETITA	Presenta como partículas libres	10
ESCORODITA	Se encuentra Inter crecidas con galena. Presencia como inclusión en cuarzo	5, 10
BARITINA	Se encuentra como inclusión en cuarzo	5
LEUCOXENO- RUTILIO	Se aprecia asociada a zircón	5
PIRITA	Ocurre como inclusión en cuarzo	2

Fuente: Superintendencia Geología Mina Apumayo.

**Figura 42**

*Mineral de sílice deleznable*



Fuente: Superintendencia Geología Mina Apumayo.

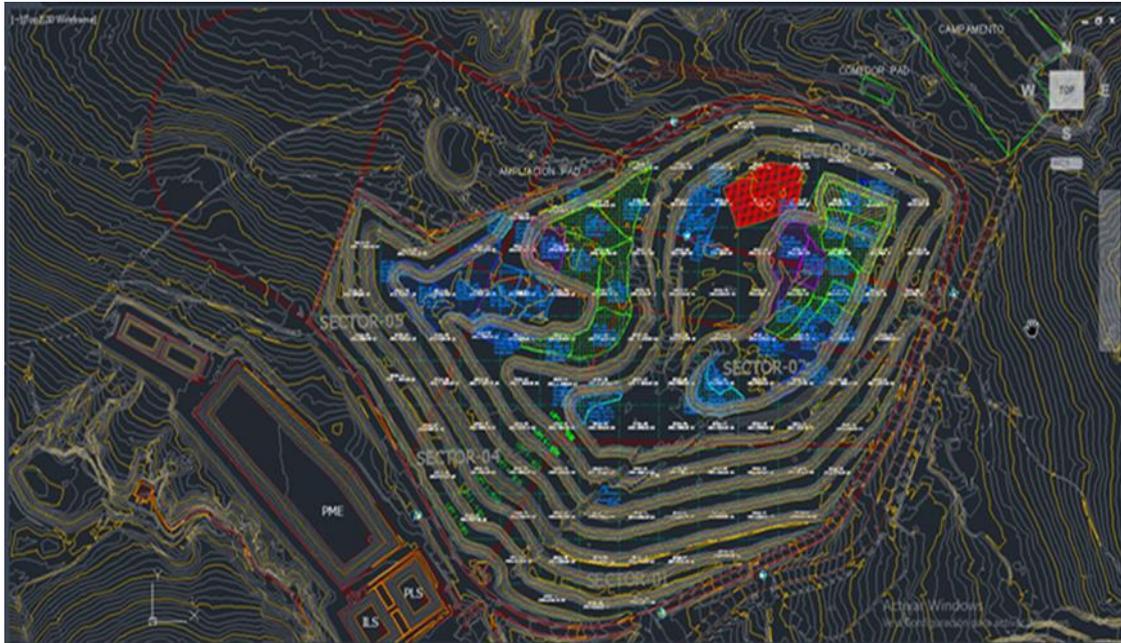
**Prueba metalúrgica.** Para realizar una evaluación del grado de extracción de Au del Ayahuanca la prueba se ha realizado en el sector 03 del lift 09 del Pad lixiviación del donde se habilito una superficie un área de 5000 m<sup>2</sup> colocando una geomembrana con tuberías perforadas para colectar la solución rica

Los estudios que presentan el cuerpo mineralizado del Ayahuanca, se utiliza un plan de pruebas metalúrgicas a diferentes escalas para determinar la extracción de Au, el consumo de reactivos y el tiempo de lixiviación. en la investigación granulométrica. Al distribuir las partículas de mineral ROM por tamaño, en el proceso de tamizaje deja un

tamaño de 80% de las partículas de mineral. Esto permite obtener información respecto a cómo se distribuye el tamaño de las partículas en la muestra de mineral fragmentado.

### Figura 43

*Impermeabilización de la celda en el Lift 09 S-3 la para el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Topografía - Apurímac.

- a. **Estudio granulométrico.** Hace referencia a cómo se distribuye por tamaño las partículas de mineral ROM, a fin de determinar la distribución de tamaño de aquellas que contiene la muestra de mineras que ha sido fragmentado. El p80 hace referencia al tamaño de tamiz, que permite el paso del 80% de partículas de la minera.

## Figura 44

*Fotografía mineral aurífero con granulometría fino*



**Fuente:** Operaciones Mina - Apumayo.

### 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

#### 3.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Implica revisar los datos actuales de estudios en torno al área de estudio. Para ello, se analizó y revisó de forma exhaustiva de las técnicas utilizadas para extraer minerales auríferos de grano fino. Además, se recopilieron datos estadísticos al acumular mineral fino en el Pad de lixiviación de la U.M. Apumayo durante varios años. Después, se realizó un análisis de los datos obtenidos para avanzar en la estructura, diseño y el proceso de todo lo que se realizó durante la interpretación de los diversos datos obtenidos.

Las técnicas que se emplearon fueron las siguientes:

- a. Observación directa:** A partir del estudio de campo, fue posible establecer que en el PAD de lixiviación de Apumayo, el riego de la solución es mediante el sistema de goteo, Sílice Clay o deleznable del mineral fino, genera el empozamiento en las celdas de riego. Además, fue posible observar que el mineral del proyecto en cuestión es arcilloso y fino, lo cual se debe al modo de formación geológica, así como a la alteración a nivel geológico.



- b. Análisis documental:** Se revisaron documentos previos asociados a cuestiones de mineral debido al exceso de fino en el Pad lixiviación. Además, se evaluó la permeabilidad mineral, además de las pruebas de lixiviación en columna para extraer Au.
- c. Experimentación:** Los resultados se obtuvieron de la siguiente forma:
- Resultados al obtener el porcentaje de finos y de extracción de Au en proceso de lixiviación en pilas.
  - Mediante análisis químicos en el Laboratorio Químico de la Empresa, a fin de realizar un análisis los valores de Au, Ag, en el mineral de cabeza y ripios.
  - Mediante los resultados de las pruebas de permeabilidad realizadas en el equipo de carga constante.
  - Mediante el monitoreo de la lixiviación en el Pad dinámico: que implica mejor la extracción de % oro y solución de riego, cianuro libre, muestras de solución para su análisis de Au, Ag, Cu, pH, solución rica, otros.

#### 3.4.2 Análisis de los datos estadístico

Para facilitar su análisis de estadística descriptiva, el programa Excel nos permitió ordenar, agrupar y clasificar los datos obtenidos de la muestra objeto de estudio. Esto fue necesario para procesar, analizar e interpretar los datos estadísticos.

### 3.5 PROCEDIMIENTO

Se consideró en gabinete y en campo.

#### 3.5.1 Gabinete

Los antecedentes fueron revisados en cuanto al tema, en diversos ámbitos (local, internacional, nacional), para lo cual se hizo uso de repositorios y buscadores web de distintas universidades.



### 3.5.2 Campo

Se ejecutaron las siguientes actividades:

- Recepción, muestreo de mineral, Cuarteo del mineral, toma de muestras, y homogenizado, dosificación de CaO mineral, bombeo de Solución cianurada.
- Procedimiento pruebas de velocidad de percolación (permeabilidad) estos se desarrollaron en el área de pruebas metalúrgicas de la minera.
- Pruebas de lixiviación en el Pad dinámico se descargaron el mineral toneladas de mineral y se agregó una cantidad determinada de cal (computada en la prueba de alcalinidad) para elevar el pH óptimo de 10.5 - 11.5 y se homogenizo con el mineral. Como parámetro de riego se empleó  $9.3 \text{ l/h}\cdot\text{m}^2$  se evaluó su velocidad de percolación. La solución lixiviante percoló mediante el mineral y se toma alicotas de solución pregnant, la solución se colecto diariamente en una poza de geomenbrana y es conducida mediante la tubería HDPE al sector 03; estas muestras liquidas se analizaron por los contenidos de metales preciosos (Au y Ag). A la solución barren se le adiciona el NaCN y NaOH, la solución de riego y es bombeado la hacía el Pad dinámico (circuito cerrado).

La prueba continúa realizándose hasta que no se tuvo registro de presencia de metales preciosos en la solución rica o hasta que la curva de extracción vs tiempo presente una tendencia asintótica. Al momento de completar la extracción de oro, el riego al mineral se corta, hasta que el contenido de oro no sea mayor de  $0.010 \text{ g/m}^3$  en la solución, y luego es retirado el ripio del PAD dinámico y descargado en otra área para completar su ciclo de lixiviación. a continuación, las muestras de ripio son ensayado en laboratorio químico de forma directa para determinar los contenidos Au y Ag.



Se busca información sobre el proyecto las alteraciones del proyecto Ayahuanca se coordina superintendencias de geología, operaciones mina, Pad de lixiviación, planta M.C. y laboratorio Químico para realizar el análisis de fuego preparación de la muestra solidas de mineral, preparación del frasco plástico de 500 ml, se entrega las muestras liquidas a laboratorio Químico para su análisis de fuerza de NaCN, pH, después de analizar nos entrega de resultados laboratorio químico.

Por último, al recolectar la información, los datos de los resultados de la evaluación de lixiviación del mineral aurífero fino se plasmaron al programa Excel a fin de que puedan trabajarse y aplicarse el control de lixiviación de los minerales finos. En este marco, se revisó y tabuló digitalmente los datos mediante la realización de gráficos para presentar adecuadamente los resultados.

### **3.6 EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

#### **3.6.1 Materiales y equipo en Pad**

##### **A. Instrumentos y equipos.**

**A.1.** En las pruebas de percolación para preparar la muestra se hizo uso de un cuarteador tipo jones de 2" de abertura.

**A.2.** En el análisis granulométrico se empleó el siguiente material:

- ✓ Radio portátil Hanndy.
- ✓ Tamiz de la serie Tyler número de malla 200m (75  $\mu$ m).
- ✓ Un ro-tap tamizadoras para cedazos de 8"  $\varnothing$  externo.

##### **B. Materiales y reactivos.**

###### **B.1. Materiales muestreó de mineral.**

- ✓ Mallas 6", 4", 3", 2", 1 ½".
- ✓ Carretilla.
- ✓ Combo de 3 libras.



- ✓ Cucharón para muestreo.
- ✓ Retazo de Geo membrana 2x2 m<sup>2</sup>.
- ✓ Palanas tipo cucharón.
- ✓ Bolsas medianas o grandes de plástico.
- ✓ Sacos de polipropileno.
- ✓ Engrapador.
- ✓ Plumón indeleble.
- ✓ Cilindro de densidad aparente.
- ✓ Balanza tipo plataforma.

## **B2. Materiales para la instalación de riego.**

- ✓ Manguera de riego 18mm con goteros emisores
- ✓ Tuberías ciegas HDPE de 6" y 8"
- ✓ Tuberías perforadas HDPE de 6"
- ✓ Reducciones de HDPE de 8" a 6".
- ✓ Conector Matriz manguera de 18 mm.
- ✓ Bridas Bitaulicas tipo anillo BRUNO de 6" y de 8"
- ✓ Válvulas tipo mariposa 6", 8"
- ✓ Acoples Studend de HDPE de 6" y 8".
- ✓ Llave Francesa 14".
- ✓ Llave mixta # 1 1/16".
- ✓ Arco de Sierra.
- ✓ Caja de herramientas.

## **B.3. Reactivos**

### **Cianuro de sodio.**



- ✓ Marca ORICA MINING CHEMICALS de Australia
- ✓ Nombre químico: cianuro de sodio
- ✓ pH: 11.3 – 11.7 (20g/l de agua)
- ✓ Color: cristalino blanco
- ✓ Olor: ligero a almendras amargadas
- ✓ Formula química: NaCN
- ✓ Peso molecular: 49.015 EPA (1998) g/mol
- ✓ Apariencia: sólido cristalino, blanco, en forma de briquetas
- ✓ Gravedad específica: 1.6 a 20°C
- ✓ Punto de fusión: 563.7 +/- 1°C
- ✓ Punto de ebullición: 1500°C
- ✓ Reacción con ácido: la reacción produce gas cianhídrico (HCN)
- ✓ Toxicidad: extremadamente venenoso
- ✓ Pureza: 97.5% (variable en otros lotes)
- ✓ Humedad: 0.20 % máximo
- ✓ Forma del NaCN: en briquetas de peso aproximado de 14 g / briqueta y de dimensiones de longitud de 34 mm, ancho 32 mm, espesor 15 mm
- ✓ Embalaje: 1000 kg netos en caja de madera contrachapada.

#### **Cal viva.**

- ✓ Marca: Calquipa
- ✓ Nombre químico: Oxido de calcio
- ✓ Formula química: CaO
- ✓ Peso molecular: 56.1
- ✓ Color y Apariencia: estado sólido, material blanco, ligeramente terroso, tipo pulverizado



- ✓ Olor: no presenta
- ✓ pH: 12 y 13 (solución acuosa)
- ✓ Densidad suelta: 0.850 T / m<sup>3</sup>
- ✓ Punto de fusión: 2570 °C
- ✓ Solubilidad en agua: insignificante, a 0°C = 1.40 gr Ca O /l, a 100 °C = 0.54 g Ca O/l
- ✓ Solubilidad con otros solventes: el óxido de calcio tiende a reaccionar con ácidos.
- ✓ Estabilidad química: al absorber humedad, el CO<sub>2</sub> en el aire absorbe para formar carbonato de calcio e hidróxido de carbono.
- ✓ Toxicidad: La cal es tóxica, sin embargo, es esencial hacer uso de equipos adecuados de protección y garantizar la ventilación en aquellas zonas que se requiere.
- ✓ % Ca O total: 91.45
- ✓ % Ca O útil (libre) : 80.60
- ✓ % SiO<sub>2</sub> : 2.80
- ✓ % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1.10
- ✓ % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 0.40
- ✓ % Carbón :0.083
- ✓ Granulometría: 100 % ( # 100 mallas )

#### **Agua industrial.**

- ✓ pH: 4 – 5
- ✓ Turbidez: < 2 NTU
- ✓ Cloro residual: < 1.1 mg /l
- ✓ Conductividad eléctrica: 3.1 DS / m

✓ Sulfato: 385 mg /l

### 3.7 PROCEDIMIENTOS

#### 3.7.1 Pruebas de operación del Pad Dinámico.

La prueba fue ejecutada en el Sector 03 Lift 09 del Pad Apumayo. Donde se habilitó un área de 5,000 m<sup>2</sup>, impermeabilizando con geomembrana el área, también se instaló tubería perforada para coleccionar la solución rica, como se muestra en la figura 45.

#### Figura 45

*Tendido de tubería perforada para la colección de solución en el Pad dinámico*

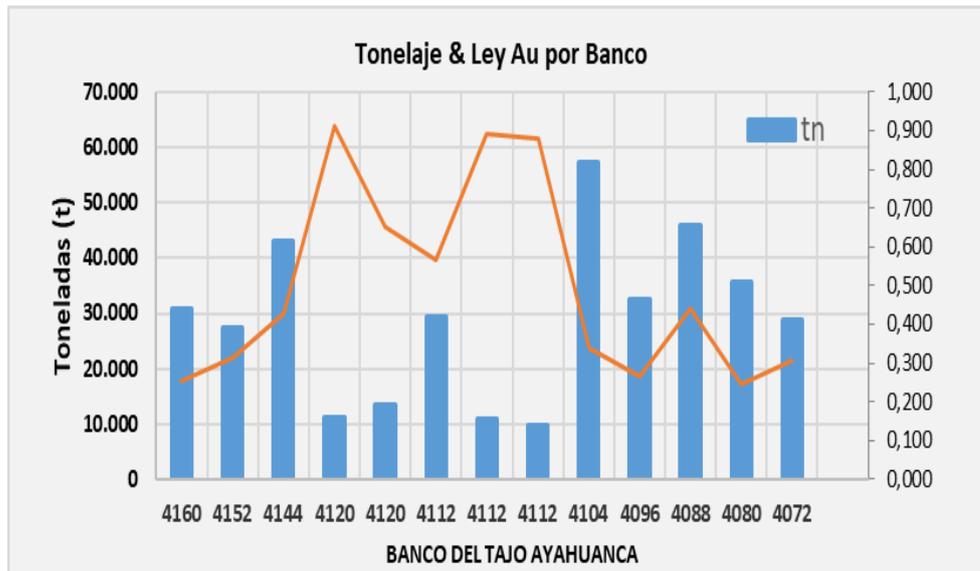


**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

Sobre esta superficie se descargaron 75,000 TN de mineral y con una altura de Lift de 10 metros. Este mineral contiene 1803.60 Onzas de Au, de estas se ha extraídas 1796.77 onzas oro.

#### Figura 46

*Tonelaje de mineral por polígono vs ley de Au que ingresa al Pad dinámico*



Fuente: Elaboración propia

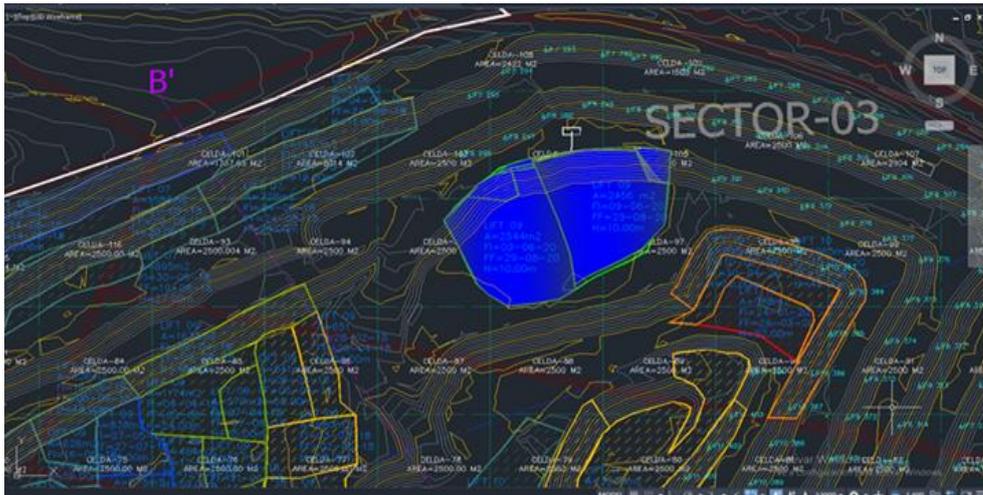
### 3.7.2 Lixiviación en Pad

El proceso lixiviación, consiste en procesar el mineral con contenido metálico (Au, Ag,) del tajo mina en Pad Lixiviación mediante el proceso de lixiviación con una solución cianurada, extrayendo el metal precio en forma de solución para posteriormente se recuperado en una Planta Merrill Crowe o Plan de Carbón Activado, obteniendo como producto final las barras de oro o doré (Au-Ag).

el regado del mineral se realiza con la solución de cianuro de sodio, para ello, se hace uso de la pila de mineral depositado y, conforme avanza la percolación de la solución, el cianuro tiende a penetrar las porosidades del mineral, logrando obtener Au y Ag libre, y químicamente reaccionando con ellos para formar un compuesto conocido como sodio aurocianuro. Después, debido a la fuerza gravitatoria, la solución cargada de valores metálicos se recolección en la tubería de colección de carga dinámica.

Figura 47

Ubicación del Pad dinámico en el sector 03 con un Área de 5,000 m<sup>2</sup>



Fuente: Superintendencia Topografía - Apumayo.

El Proceso de lixiviación en Pad dinámico considera las siguientes fases:

- ✓ Descarga y recepción de Mineral.
- ✓ Muestreo de Mineral.
- ✓ Dosificación de Cal.
- ✓ Riego de Mineral.
- ✓ Re-bombeo de SC.

### 3.7.3 Descarga y recepción de mineral en Pad Dinámico

#### 3.7.3.1 Zona de descarga de mineral en el Pad dinámico

El área de descarga es una ‘plataforma amplia con un área. 20 m x 30 m. un área en el que los operadores de volquete puedan maniobrar y efectuar la descarga de mineral proveniente de mina. Las unidades tiene una capacidad de 22 m<sup>3</sup> La descarga de mineral se realiza por el cuadrador con su respectivo cono. El mineral depositado en el Pad dinámico es de tamaño ROM, posee un promedio de densidad de 1.5 gr/cm<sup>3</sup> y un pH promedio de 4.35, la cuota de mineral diaria es de 20.000 TN/día, (660 viajes por día) con una capacidad para albergar de 34 volquetes, en la zona de descarga se contará con una luminaria para descargar el mineral en el turno de noche.



### 3.7.4 Factores que influyen en proceso de lixiviación

**Permeabilidad:** Hace referencia a la velocidad en que la solución percola en las pilas durante la lixivante, donde la solución pasa por diversos grados de porosidad presentada en el mineral. Por lo tanto, es fundamental determinar los niveles de permeabilidad de la solución que se fluye. En minerales que poseen contenidos altos de finos, se reduce la capacidad de drenar el flujo de la solución lixivante. Esto se debe a que la permeabilidad es afectada por la arcilla, que no permiten que la solución fluya y dejan áreas sin riego, lo que resulta en una recuperación deficiente o en áreas que pueden impedir que la solución fluya. Aquellos minerales con contenidos alto de finos se deben de aplicarse la prueba de percolación, ya que estos influyen en la absorción de los metales preciosos.

- **Ratio de riego:** En minerales con contenido alto de finos, y la generación de empozamientos es un elemento significativo en la extracción de metal y los ciclos de lixiviación. La velocidad de percolación determinada y observada experimentalmente es de 1.99 metros por día, mientras que ratio de riego el flujo promedio es de 9.3 litros por hora por metro cuadrado.
- **Alcalinidad de la solución:** Esto regula el pH, por lo que un mineral debe estar libre de sustancias que podrían hacer que el mineral se vuelva ácido como resultado de la desintegración del mineral. Se añade determinada cantidad de óxido de calcio para impedir la hidrólisis del cianuro, y una cantidad excesiva de óxido de calcio puede retrasar el proceso de cianuro por precipitación de calcio, La precipitación se forma fácilmente, lo cual se debe a la lenta circulación causada por una baja percolación, y se encuentra entre la descomposición y el mineral. El óxido de calcio se dosifica de acuerdo con

una proporción establecida en las pruebas metalúrgicas. En este rango, el pH oscila entre 10.5 – 11.5. de la alcalinidad a nivel industrial

- EL procedimiento de caleo se realiza al momento de la descarga de mineral durante esta etapa, se agrega cal de manera uniforme y se entrevera. De la misma manera, hay una tractor marca Caterpillar Modelo D6T XL que se utiliza para realizar el proceso de extendido de mineral y el de escarificación del mineral para la instalación de riego.

### **Figura 48**

*Descarga del mineral en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Figura 49**

*Recepción de mineral en la plataforma de descarga en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Figura 50**

*Extendido del mineral para ampliar la plataforma de descarga en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

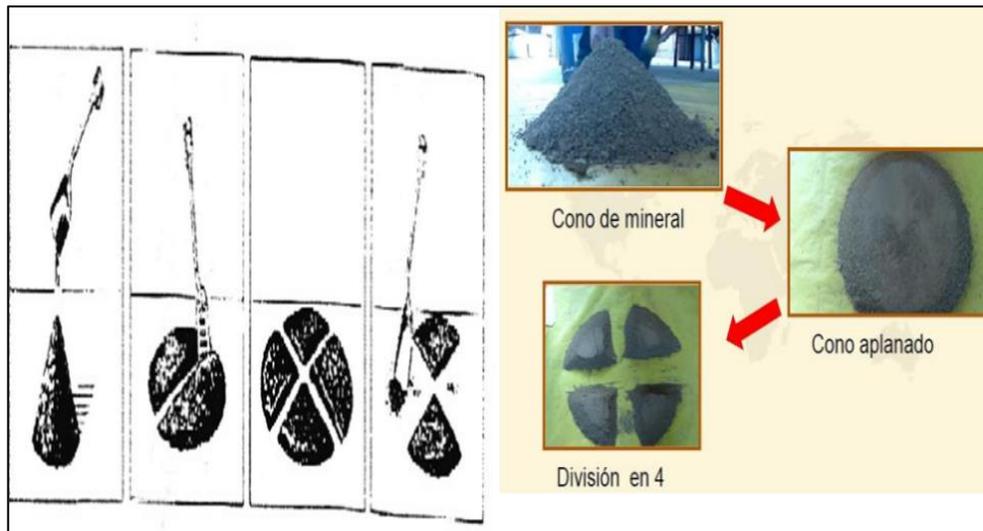
Al cuantificarse las toneladas, de mineral en el tajo del proyecto ayahuanca es de 158.6546 TN y con una ley promedio de 0.700 gr/TN. En el caso no se planteen opciones de tratamiento del mineral fino mayor a 30% de finos este será destinado al botadero.

#### **3.7.5 Muestreo de mineral**

El muestreo del mineral descargado en el Pad dinámico se hace uso del método Grand Sampling (muestreo al azar). se efectúa con un cucharón, y es depositada para formar un cono referencial de cada 10 volquetes se toma la muestra, se luego se proceden a realizar preparación mecánica y el homogenización y cuarteo de las muestras.

### Figura 51

*Procedimiento de cuarteo de mineral en el Pad dinámico*



**Fuente:** Elaboración propia.

Hasta conseguir una muestra representativa final de 5 Kg aproximadamente. Las cuales son embolsadas con su respectivo rotulo para su envío a Laboratorio Químico para su respectivo análisis mostradas en la figura 52. También se toma una muestra para la humedad y densidad. Es fundamental recalcar que, durante el muestreo, se hace uso de las combas para aminorar el tamaño de las rocas tamaños superiores a 1 ½” para alcanzar un muestreo representativo.

**Figura 52**

*Muestras de mineral embolsadas*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

Las leyes de las muestras tomadas en el Pad dinámico deben ser cercanas a las leyes reales del polígono mineral, para ello, se hace uso del método Grand Sampling (muestreo al azar).

### **3.7.6 Dosificación de cal**

La dosificación de calcio al mineral representa un componente decisivo en la lixiviación de minerales de Au porque para lograr una buena lixiviación del Au debe de llegar al pH ideal (10.5 - 11). La cantidad de cal necesaria para cada polígono que llega al PAD los datos que brinda investigaciones metalúrgicas para cada banco y polígono que se descarga en el PAD. Este índice se comunica al supervisor del PAD, quien indica al operador de la retroexcavadora la dosificación de cal, que indica la cantidad de cal necesaria para cada polígono que llega al pad (volquetes de mineral).

### Figura 53

*Proceso de dosificación de cal en el mineral en Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

#### 3.7.7 Armado de celdas de riego

Después de descargar el material, se amplía la plataforma de descarga utilizando un tractor D6T para continuar extendiendo el área de descarga mientras el mineral se descarga. Después del apilamiento, se requiere un tiempo predeterminado para armar la celda. Después de eso, que debería tener su propia berma de seguridad con los conos que correspondan. El área donde se instalará la celada de riego se riepan tres veces en cruz, lo que equivale la última pasada. El ripeo final se realiza en la dirección opuesta que se colocarán las mangueras. El área donde se instalan las mangueras se convierte en un área de riego, el perímetro de la zona de riego comienza con la delimitación de la zona, que debería ser de alrededor de 2500 metros cuadrados.

### Figura 54

*Empuje y escarificado de mineral con tractor D6T para la instalación de riego en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

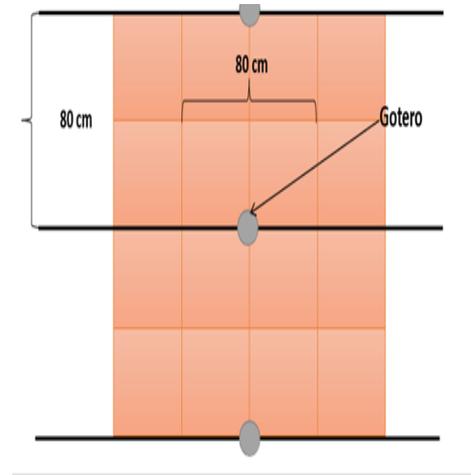
A continuación, los materiales que se utilizan en el armado e instalación de la celda de riego:

- ✓ Tuberías ciegas HDPE de 6"
- ✓ Bridas Bitaulicas BRUNO de 6" y de 8"
- ✓ Conector Matriz manguera de 18 mm.
- ✓ Manguera de riego de 18 mm.
- ✓ Tuberías perforadas HDPE de 6"
- ✓ Tuberías ciegas HDPE de 8"
- ✓ Válvulas tipo mariposa 6", 8"

Luego de instalar las mangueras de riego, se riega con solución cianurada que proviene de la Planta M.C, esta contiene una fuerza de cianuro de 250 ppm., y un pH de 10.5 – 11.5, la celda nueva se riega por un tiempo de riego de 4-5 días con una ratio inicial bajo que es de 9 L/h\*m<sup>2</sup>. pasando los días se incrementamos la ratio de riego de acuerdo al drenado para asegurar el % extracción de oro.

**Figura 55**

*Área de riego 80 X 80 cm en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

**Figura 56**

*Riego instalado con solución cianurada en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### 3.7.8 Sistema de riego

El sistema de riego es encargado de humedecer uniformemente el mineral, regando una cantidad determinada en  $L/h \cdot m^2$ , definida previamente se realizaron pruebas en el laboratorio metalúrgico según la capacidad de percolación del mineral. La solución (agua+cal+cianuro de sodio) traspasa la pila de mineral y, en este momento, reacciona al

cianuro con el metal precioso, por lo que forma un complejo cianurado de Au soluble en agua. Este se lixivia por 30 días, donde logra lixiviarse casi en su totalidad del Au que se encuentra en el mineral, por tanto, el mineral captado se recolecta en una Poza de geomembrana de 5 x 5 metros, la solución cargada de Au es conducida hacia la tubería de colección del sector 3 y la solución se traslada por gravedad hacia celdas de distinción y es direccionado poza operaciones (PLS).

### **Figura 57**

*Celdas de riego plataforma y talud en el Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

### **Figura 58**

*Vista de talud Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo.

## Figura 59

*Drenado de la solución rica en una poza del Pad dinámico*



**Fuente:** Superintendencia Planta Pad - Apumayo. El Área 5,000 m<sup>2</sup>, Altura del lift 10 metros, Tiempo de Lixiviación 30 días, flujo ratio de riego es 9.3 L/h\*m<sup>2</sup> con concentraciones de CN-Na 250 ppm, pH 10.96.

### **Las condiciones básicas a considerarse son:**

- Armado de las celdas de riego lo más uniforme posible.
- Una ratio de riego adecuado para que no se impermeabilice el mineral formando ponding empozamiento el área regada.
- El emisor riega con un tamaño de gota uniforme que no se encuentra afectada por las situaciones ambientales, en otras palabras, esta no se arrastra por el viento o conduce a pérdidas por condiciones de operación o evaporación.

### **Para alcanzar estas condiciones se requiere, por lo tanto:**

1. Trazar las líneas de riego y tuberías matrices a fin de estabilizar la presión de la línea, y lograr mantener el flujo constante conforme incrementa los círculos de humedad de presión constante o diámetro.
2. Elegir de manera cuidadosa los dispositivos de riego, conforme a los criterios determinados.



3. Computar su distribución ajustando su área de incidencia y su capacidad de flujo con la cantidad o ratio de riego en  $L/h \cdot m^2$ .

**Malla de riego:**

- Las distancias entre emisor - emisor son de 0.80 cm.
- Las distancias entre manguera y manguera son de 0.80 cm.

**3.7.9 Sistema de riego puesta en marcha de celdas del Pad dinámico**

Una vez puesta en marcha el sistema de riego en las celdas se verifica la instalación que todo este óptimo, previo a su ingreso a la etapa de humectación de mineral.

Para lixiviar el Au en el PAD se consideran 3 etapas:

**Humectación:** Dura aprox. 4 días con una ratio de riego de  $9 L/h \cdot m^2$

**Producción:** De 25-30 días, aproximadamente, con un ratio de riego de  $12 L/h \cdot m^2$ .

**Agotamiento:** Dura alrededor de 20 -30 días con similares características que la producción. Con una ratio de riego bajo de  $7- 8 L/h \cdot m^2$ .

Al terminar con estas etapas, se inicia con el retiro del Ripio. Es el mineral lixiviado del Pad dinámico.

**Datos de riego:**

**Caudal:** Se considera una muestra representativa en una probeta, el caudal de un emisor

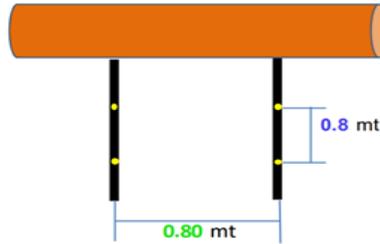
durante 30 seg, a fin de obtener:

$$Q = \frac{50ml}{30seg} \times \frac{3600 seg}{1hr} \times \frac{1L}{1000 ml}$$

$$Q = 6 L/hr$$

**Marco de riego:** Determinada mediante distancias entre emisor y emisor; y manguera a manguera.

Distancia entre goteros	0.80	mt
Distancia entre líneas	0.80	mt



Marco de riego = (distancia entre emisores)  $\times$  (distancia entre mangueras)

$$Mr = 0.80m \times 0.80m.$$

$$Mr = 0.64 m^2$$

Tasa de riego: Tiene como función en humedecer uniforme el mineral en  $L/h \cdot m^2$

$$Tr = \frac{Q}{\text{marco de riego}}$$

$$Tr = \frac{6 L/h}{0.64 m^2}$$

$$Tr = 9 L/h * m^2$$





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD CON UN PAD DINÁMICO

Con el objetivo de evaluar la factibilidad del proceso de este mineral fino en un PAD dinámico, se ha construido una celda de 5 000 m<sup>2</sup> donde se ha impermeabilizado con geomembrana HDPE. Donde se apila el mineral con una ley de 0.780 gr/TN con una altura de la pila de 10 metros ubicado en el sector del Lift N°09, en el Pad de Apumayo donde se descargó 75 000 TN de mineral fino. También se monitoreo la solución rica por lo que contuvo en promedio de 1089.93 Onzas de Au. Los resultados en un porcentaje óptimo de extracción de oro del 93.65%.

Así mismo la optimización de los parámetros de lixiviación van de manera conjunta. Desde el inicio de la prueba consumo de cal es de 1.33 Kilogramos por tonelada, con una concentración de cianuro de 255 ppm, con un tiempo de riego es de 30 días (**humectación** 0 - 4 días, una ratio de riego de 9 L/h\*m<sup>2</sup>, **producción** 25 – 30 días con una ratio de riego de 12 L/h\*m<sup>2</sup> y **agotamiento** dura alrededor de 20 días similares características de producción), con una ratio de riego bajo de 7 L/h\*m<sup>2</sup>

Con respecto al objetivo la medida optima de los parámetros más importantes que influyen en el proceso de lixiviación en la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca,. Durante la investigación, se identificaron los parámetros que juegan un papel determinante

El consumo de cianuro de 0.14 Kg/TN, el CaO de Calquipa en una proporción de 1.33 Kg /TN, con una ratio de riego de 9.3 L/h\*m<sup>2</sup>. Con una relación L/S (líquidos/Solido) de 0.473 demostrando ser eficiente para maximizar la extracción de oro. La ley de ripios, con un contenido de oro de 0.049 gr/TN, en 30 días de lixiviación. Con un % extracción

de 90.31, también influyó de manera significativa en los resultados finales. para el éxito del proceso de lixiviación. se observa un aumento promedio de 1,089.93 onzas en la producción de oro en la planta del proyecto. Estos resultados, respaldados por un nivel de significancia estadística

**Tabla 5***Parámetros de Operación en el Pad Dinámico (ROM)*

<b>Datos de operación en Pad dinámico</b>		
<b>Código</b>	<b>Pad dinámico lift 10 metros sector - 03</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Mineral deleznable Ayahuanca</b>	
Granulometría	Rom	
Tamaño de partícula	M-200 30%	
Peso del mineral húmedo	75000.00	TN
Humedad	4.13	%
Velocidad de percolación	1.99	m/día
Ratio de cal	1.33	Kg/TN
Densidad bulk inicial seca	3.855	Kg/m <sup>3</sup>
Densidad de riego	9.30	L/h*m <sup>2</sup>
Concentración de cianuro	250	ppm
Consumo de cal	1.53	Kg/TN
Consumo de cianuro	0.14	Kg/TN
% saturación	7.09	%
Ley de cabeza Au	0.78	gr/TN
Días de lixiviación	30.0	días
Área del Pad dinámico	5.000	m <sup>2</sup>
Altura de pila	10	m/alt.
% extracción de Au	90.31	%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 6***Extracción por solución*

<b>Extracción por soluciones</b>		
<b>Días</b>	<b>%Extracción Au</b>	
<b>30</b>	<b>90.31</b>	
<b>Ley</b>	<b>0.780</b>	<b>gr Au/TN</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El Proceso de lixiviación duro 30 días alcanzando un 90.31 % extracción de Au por solución. Y con la ley analizada (solidos) 93.68%, y extracción de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) 93.66%

**Tabla 7**

*Resumen de Extracción por analizada y solución (ROM)*

<b>RESUMEN DE EXTRACCIONES</b>		
<b>Analizada</b>		
<b>Cabeza (g/TM)</b>	<b>Ripios (gr/TN)</b>	<b>Extracción (%)</b>
<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>
<b>0.780</b>	<b>0.049</b>	<b>93.68</b>
<b>Calculada (Extracción en soluciones y ripios)</b>		
<b>Cabeza calculada (g/TM)</b>	<b>Ripios (gr/TN)</b>	<b>Extracción (%)</b>
<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>
<b>0.777</b>	<b>0.049</b>	<b>93.66</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 8**

*Análisis estadístico de la prueba de lixiviación en Pad dinámico.*

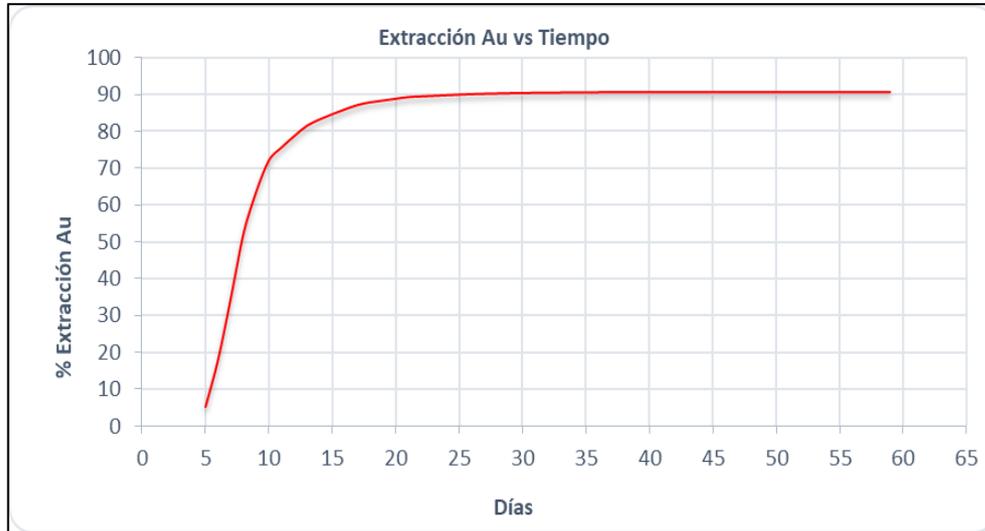
<b>% extracción de Au</b>		
ANALIZADA (CABEZA Y RIPIOS):	93.68	%
CALCULADA (SOLUCIONES + RIPIOS):	93.66	%
<b>Análisis estadístico:</b>		
PROMEDIO:	93.67	%
VARIANZA:	0.00	%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.02	%
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	0.02	%

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 8, los resultados de la extracción de Au (%) presenta un mayor promedio aritmético de 93.67%, con un coeficiente de variación de 0.02% lo que indico que los resultados son homogéneos, es decir presenta muy baja variabilidad.

**Figura 61**

*Extracción Au vs tiempo*

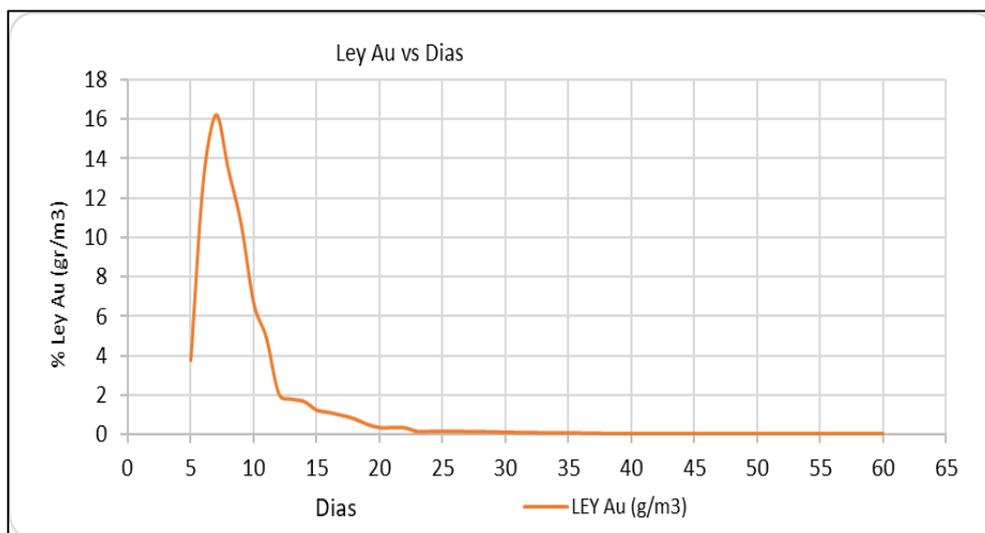


**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa los resultados de la Extracción en función a la cabeza: Calculada Con un promedio de 90.31% de extracción.

**Figura 62**

Muestra la curva de la Ley de Au en función del tiempo de lixiviación



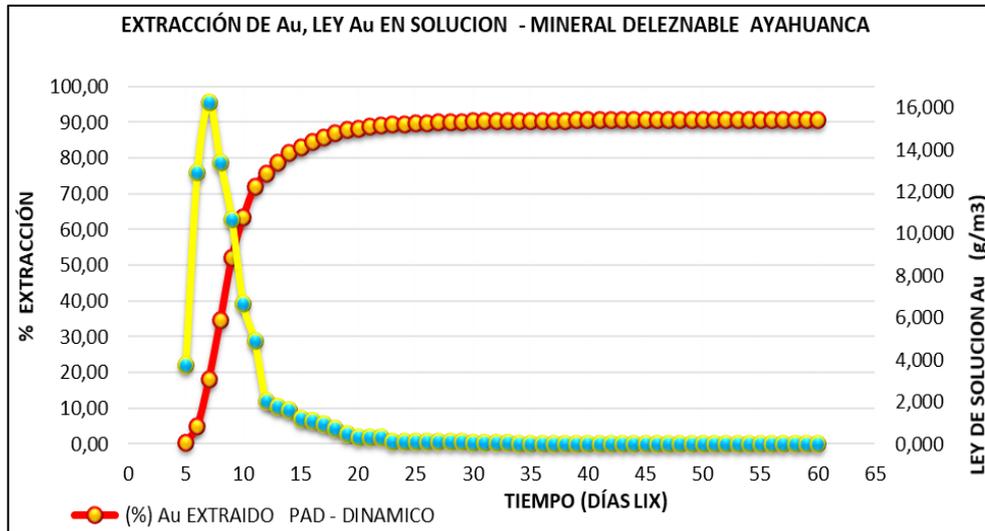
**Fuente:** Elaboración propia.

En la fig. 63 se observa la curva de extracción en función del tiempo de lixiviación, se observa que la máxima extracción se logra entre el 7mo día y va

descendiendo al 23<sup>vo</sup> día, con una extracción de Au de 90.31 % con una fuerza de cianuro de 254 ppm.

**Figura 63**

Porcentaje de extracción Au vs ley de Au en solución PLS

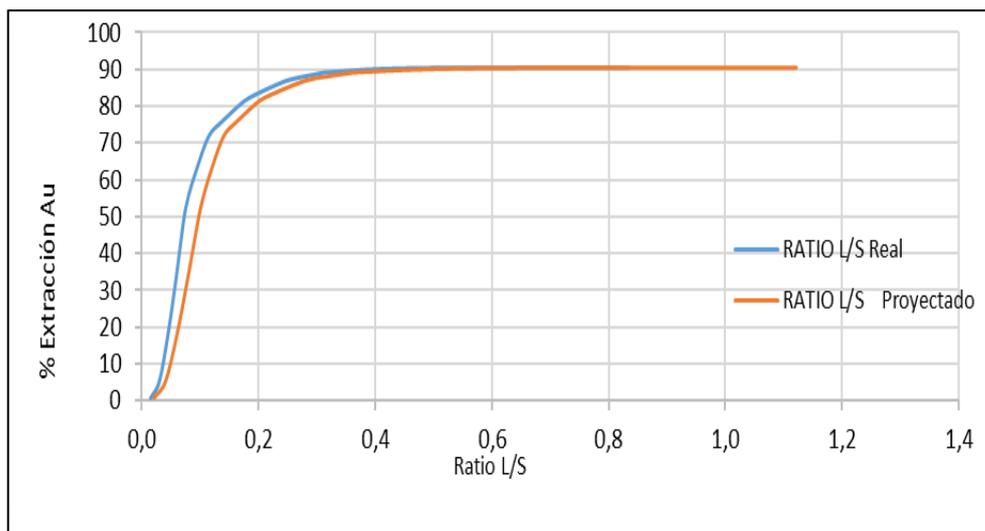


**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 63, se observa la extracción vs ley de Au en la solución hasta los 30 días de lixiviación, ratio L/S de 0.473, se ha logrado una extracción de 90.31%.

**Figura 64**

Extracción vs ratio solución del Au

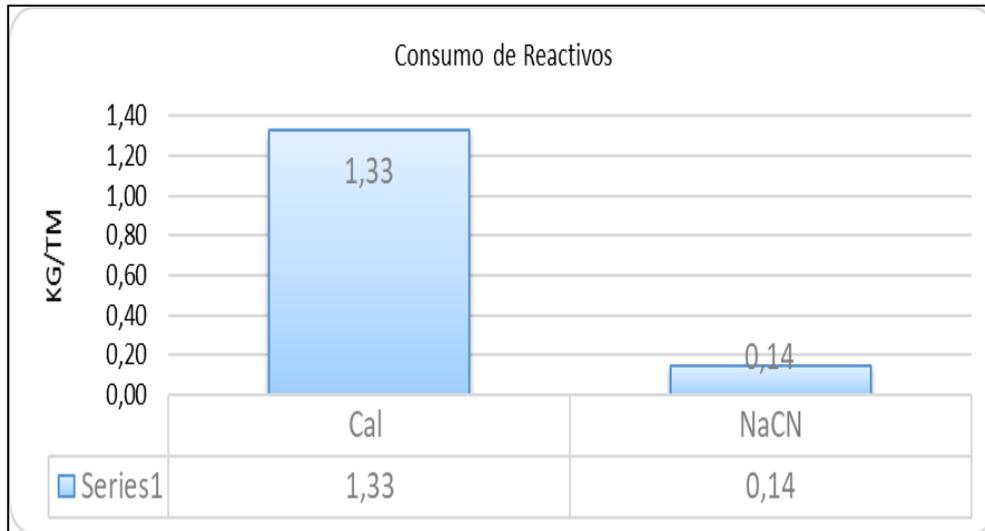


**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 64, se observa la extracción vs Ratio solida/liquido (L/S). A los 30 días de lixiviación, ratio L/S de 0.482, se ha logrado una extracción de 90.31%.

### Figura 65

#### Consumo de Reactivos



**Fuente:** Elaboración propia.

En tanto que el consumo de reactivos se determinó 1.33 Kg Cal/TN mineral y 0.14 Kg NaCN/TN mineral. La cinética de lixiviación del Au está controlada por reacción química, esto debido a dos factores:

- La Concentración de Cianuro. De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que hay una mayor extracción de Au en mineral lixiviado a 250 ppm.
- En el caso de la taza de riego se ha iniciado con ratio de  $9 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ . a medida que va humedeciendo mineral y pasando el tiempo a los 9 días se incrementa la ratio de riego a  $12 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ . Pasa los días de Lixiviación, se va ajustando el ratio de riego hasta llegar a  $7 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$  y cumpliendo los 30 días con un promedio de  $9.3 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$ .

**Tabla 9**

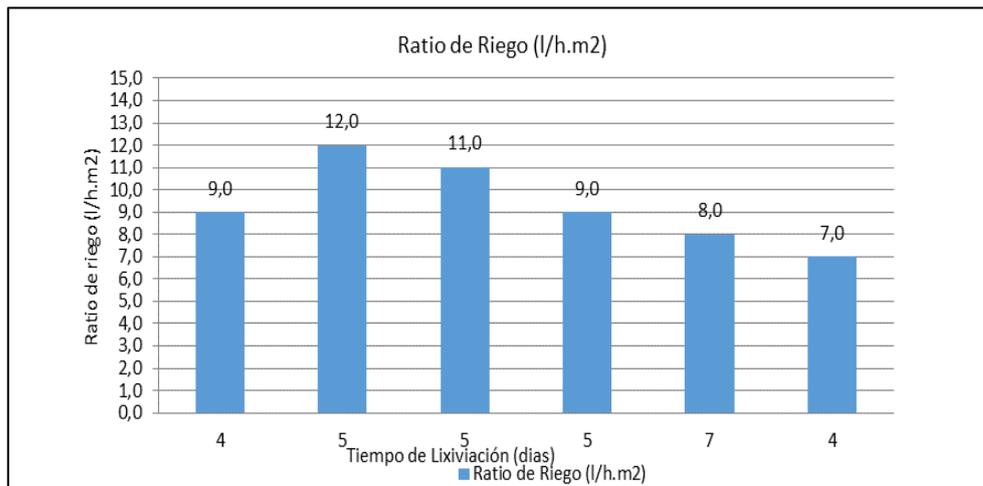
*Intervalo de tiempo de riego en Pad dinámico*

INTERVALO DE TIEMPO DE RIEGO (días)	Tiempo de Lixiviación (días)	Ratio de Riego (L/h.m <sup>2</sup> )	Volumen de solución de riego (m <sup>3</sup> ) - 5000 m <sup>2</sup>
0-5	4	9.0	4320.0
1-5	5	12.0	7200.0
6-10	5	11.0	6600.0
11-15	5	9.0	5400.0
16-22	7	8.0	6720.0
22-30	4	7.0	3360.0
0-30	30	9.3	33600.0

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 66**

*Ratio de riego en Pad dinámico*



**Fuente:** Elaboración propia. **Figura 67**

Control de drenado en el Pad Dinámico



Al completar la descarga del mineral, se siguió con la dosificación de la CaO sólida de “Calquipa” a una ratio de 1.33 kg/TN de mineral. La cal con el mineral es entreverada al momento de realizar el empuje de mineral. Luego, la plataforma de la celda fue nivelada.

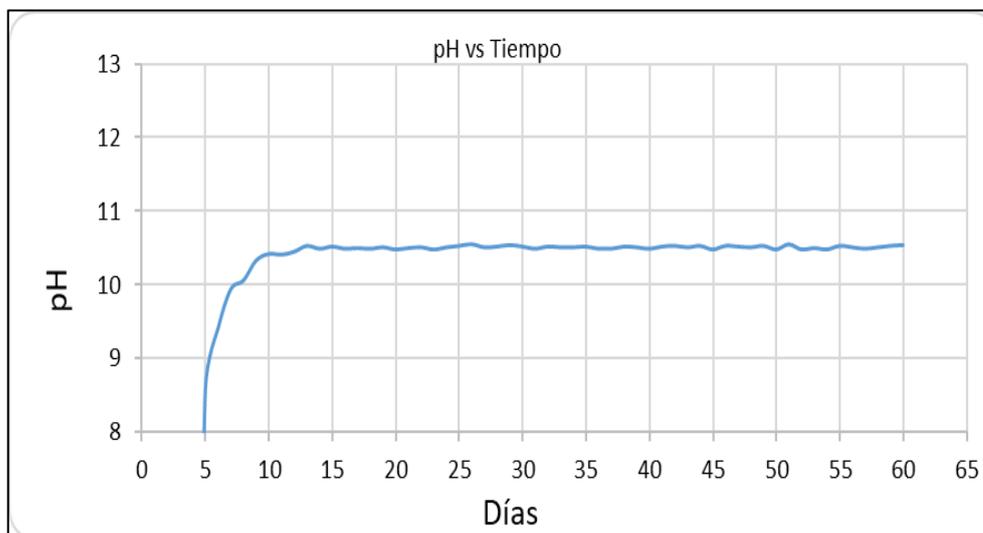
Se tomaron 228 muestras de mineral antes y después del ciclo de lixiviación para determinar el % de extracción de oro balance metalúrgico diario del Au. Las muestras se realizaron ensayo al fuego.

### Monitoreo del pH de la solución PLS (Solución Pregmant)

El pH en la solución de la descarga inicio con un valor de 8.58, como se presenta en la siguiente figura. Este valor se incrementa de manera gradual, al finalizar la prueba, se obtuvo un 10.52 de pH de la solución.

#### Figura 68

*pH en la solución de la descarga de la celda inicio*

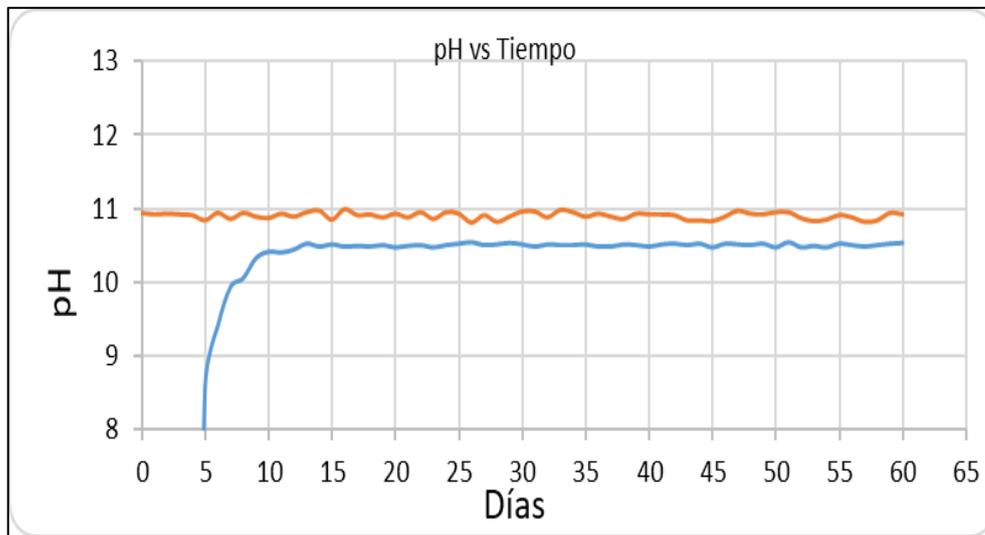


**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 69, se presenta el valor del pH de la solución Barren de la planta Merrill Crowe y el valor del pH en la Pregmant promedio 10.90 del Pad dinámico.

### Figura 69

Valor del pH de la solución Barren de la planta Merrill Crowe y el valor del pH en la Pregmant



Fuente: Elaboración propia.

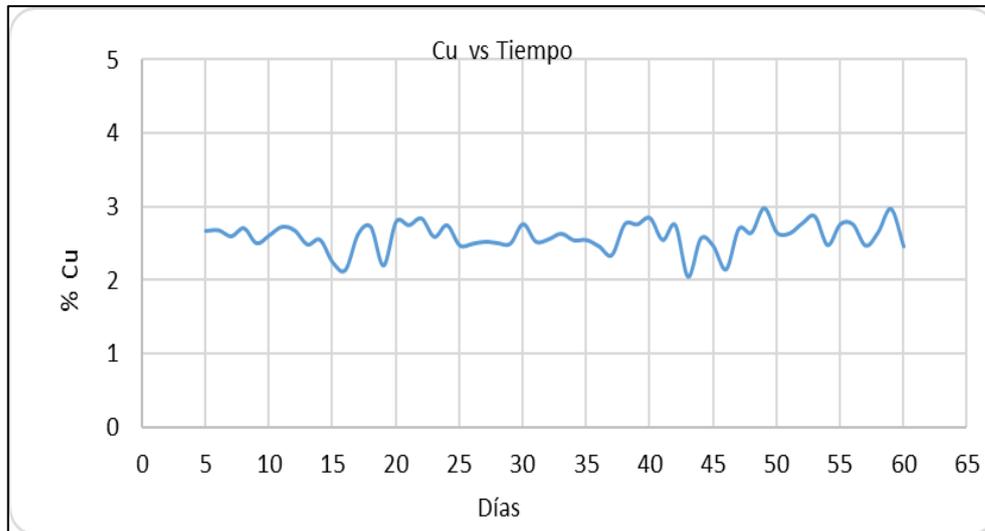
Al aumentar el pH en la solución pregmant del Pad dinámico, este puede encontrarse influencia por el valor alto del pH de la solución Barren de PMC.

La celda de prueba en la descarga 10.71 no cambió el valor del pH, manteniendo su valor. De acuerdo con su categoría NCV, este mineral es considerado ligeramente ácido.

Es fundamental establecer la proporción de cal para mantener el pH en los parámetros de operación desde el principio. También es necesario evaluar la mezcla cal-mineral. La oxidación del Au La ley de Au en la solución de PLS cargada se muestra en la Figura 62. La concentración de Au disminuye gradualmente hasta alcanzar una cantidad inferior a  $0.082 \text{ (gr/m}^3\text{)}$ . La ley de cobre en el balance de solvencia de embarazo (PLS) se evidencia en la figura 70, lo que muestra la dispersión de cobre.

**Figura 70**

*Ley de cobre en la solución PLS*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Balance Metalúrgico** Para el balance se consideran dos métodos: Balance de cabeza y rипios y Balance extracción en soluciones y rипios, para ello se considera el monitoreo a diario de la solución PLS y la solución Barren de la planta Mc de Apumayo. De acuerdo con este método se establece que, durante los 30 días de lixiviación, la extracción del Au fue el 93.67%.



**Tabla 10**

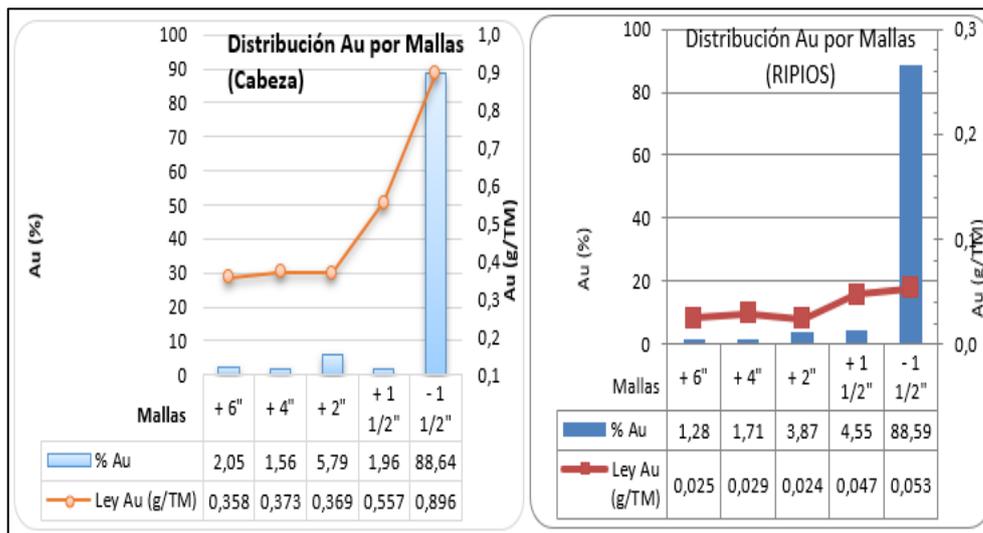
*Balance Metalúrgico*

Dia	Solución	Ley de solución Au g/m3		Au Oz
	m3	Rica	Barren	Acumulado día
26	15,945	0.185	0.010	98.350
27	18,129	0.190	0.010	103.745
28	18,129	0.195	0.010	114.915
29	18,249	0.219	0.010	120.436
30	18,241	0.242	0.010	125.953
01	18,189	0.247	0.010	134.439
02	18,394	0.217	0.010	125.207
03	18,407	0.211	0.010	115.092
04	18,480	0.201	0.010	111.998
05	18,587	0.201	0.010	112.953
06	18,895	0.198	0.010	110.198
07	19,040	0.177	0.010	98.186
08	19,080	0.166	0.010	95.667
09	19,063	0.155	0.010	88.653
10	19,127	0.166	0.010	92.488
11	18,729	0.176	0.010	98.653
12	19,040	0.179	0.010	101.955
13	19,200	0.187	0.010	112.940
14	19,173	0.183	0.010	108.403
15	19,200	0.168	0.010	96.137
16	19,147	0.167	0.010	93.032
17	19,200	0.174	0.010	95.989
18	19,200	0.191	0.010	105.866
19	19,187	0.213	0.010	120.294
20	19,200	0.239	0.010	135.805
21	19,200	0.263	0.010	150.311
22	19,200	0.255	0.010	144.138
23	19,187	0.237	0.010	134.477
24	19,173	0.230	0.010	132.061
25	19,200	0.222	0.010	128.397
TOTAL	563,191			3,406.739

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 71**

*Distribución de Au por mallas del mineral Au en la muestra cabeza y rípios*



**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 71, se observa la distribución granulométrica del Au por mallas en el mineral de cabeza, en la malla -1½'' con una ley de 0.896 gr/TN de Au, el mineral es muy fino donde el Au este liberado teniendo un mejor contacto con la solución lixivante, por lo tanto, en la muestra del mineral lixiviado (Ripio) con una ley de 0.053 gr/TN de Au con una extracción de 88.59% de Au.

**Tabla 11**

*Extracción de Au por mallas en el Pad dinámico*

Extracción por mallas				
Malla	Abertura (µm)	Cabeza	Rípios	% Extracción Au
		Ley (g/TN) Au	Ley (g/TN) Au	
+ 6"	152400	0.358	0.020	94.41
+ 4"	101600	0.373	0.027	92.76
+ 2"	50800	0.369	0.024	93.60
+ 1 1/2"	38100	0.557	0.041	92.64
- 1 1/2"		0.896	0.043	95.20

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 11, la extracción por mallas en el Pad dinámico, el mayor porcentaje de extracción Au es en la malla de - 1 1/2", con cabeza 0.896 g/TN y ripios 0.043 g/TN con un 95.20% de extracción de Au.

#### 4.3 EVALUACIÓN DEL EXPERIMENTO FACTORIAL REALIZADO

El objetivo es determinar los efectos principales de los factores y la interacción entre ellos sobre el % de extracción de Au.

**Tabla 12**

*Diseño factorial 2<sup>2</sup>*

Prueba	Altura de la pila (m)	Flujo de riego (l/h*m <sup>2</sup> )	X1	X2	X1X2	% Extracción de Au
1	10	8	-1	-1	1	85
2	15	8	1	-1	-1	88
3	10	12	-1	1	-1	90
4	15	12	1	1	1	95

**Fuente:** Elaboración propia.

Este análisis muestra que ambos factores (altura de la pila y flujo de riego) afectan significativamente el % de extracción de Au, con el flujo de riego teniendo un mayor impacto. La interacción entre los factores también influye, aunque en menor medida. Esto sugiere que optimizar ambos factores conjuntamente puede ser importante para maximizar la extracción de Au.

**Tabla 13**

*Efectos estimados para extracción Au (%)*

Efecto	Estimado
Promedio	89,5
A: Altura pila	4
B: Flujo riego	6
AB	1

**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis del diseño factorial planteado confirma que tanto la altura de la pila como el flujo de riego tienen efectos significativos en la extracción de Au, con el flujo de riego teniendo un efecto ligeramente mayor. La interacción entre los factores también tiene un efecto pequeño pero significativo. Optimizar ambos factores conjuntamente puede ser clave para maximizar la extracción de Au.

**Tabla 14**

*Modelo matemático para extracción Au*

Coefficiente	Estimado
Constante	64,5
A: Altura pila	0,8
B: Flujo riego	1,5

**Fuente:** Elaboración propia.

$$\text{Extracción Au} = 64.5 + 0.8 * \text{altura pila} + 1.5 * \text{Flujo riego}$$

**Tabla 15**

*Camino de Máximo Ascenso para extracción Au*

Altura pila	Flujo riego	Predicción para extracción Au
(m)	(L/h*m <sup>2</sup> )	(%)
12,5	10	89,5
13,3333	11	91,6667
14,1667	12	93,8333

**Fuente:** Elaboración propia.

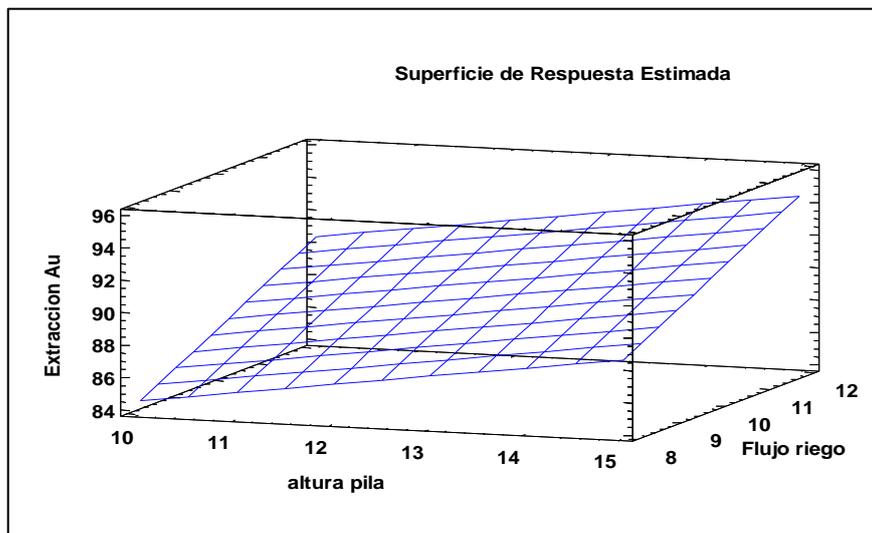
El camino de máximo ascenso proporciona una dirección en la que ajustar los factores para maximizar la extracción de Au. Aunque los datos experimentales y los coeficientes deben ser coherentes, el análisis indica que optimizar tanto la altura de la pila

como el flujo de riego conduce a una mayor extracción de Au. La verificación y el ajuste del modelo matemático son esenciales para una predicción precisa y confiable.

Trabajando con una altura de pila de 14 metros y un Flujo de riego de 12 L/h\*m<sup>2</sup> se obtiene un % de extracción de oro del 93.83%

**Figura 72**

*Superficie de respuesta estimada*



**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis del diseño factorial desarrollado y el camino de máximo ascenso muestra que ambos factores, altura de la pila y flujo de riego, tienen efectos significativos en la extracción de Au, con el flujo de riego teniendo un impacto mayor. La interacción entre los factores también es relevante. Optimizar estos factores conjuntamente es clave para maximizar la eficiencia de extracción de Au.

#### **4.4 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE RESULTADOS**

Para realizar la comparación entre el antes y después de los resultados alcanzados en la extracción de Au con la implementación del proceso con Lixiviación en Pad, se

muestra a continuación un análisis descriptivo donde se compara la producción antes y después, tanto para la mina como para la planta:

**Tabla 16**

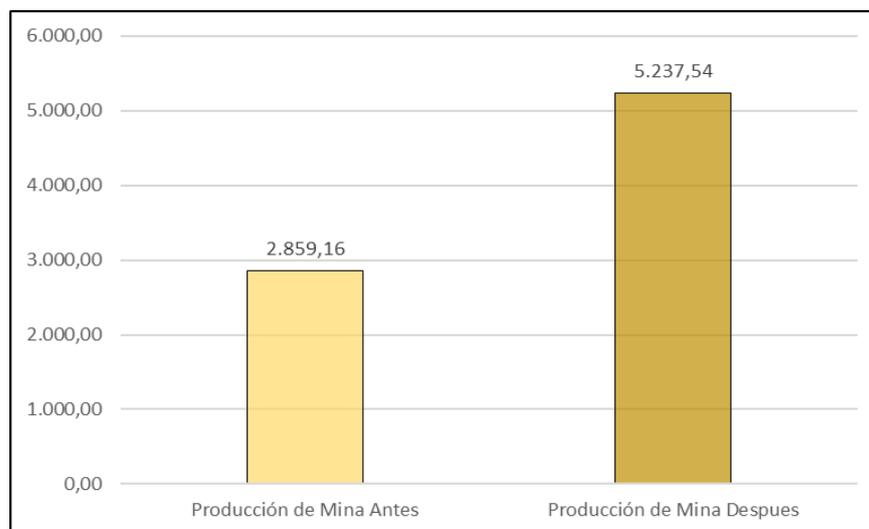
*Comparación de producción de mina*

Mes	Producción antes (Oz)	Mes	Producción después (Oz)
1	2.580,44	7	4.682,24
2	3.100,58	8	6.348,60
3	3.177,73	9	7.181,70
4	2.972,07	10	3.844,03
5	2.465,00	11	4.131,10
<b>Promedio</b>	<b>2.859,16</b>	<b>Promedio</b>	<b>5.237,54</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 73**

*Comparación de producción de mina*



**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 16 y figura 73 muestran una comparación entre la producción de una mina antes y después de un período de tiempo especificado. Antes del cambio, la producción promedio mensual de la mina fue de aproximadamente 2,859 onzas de oro, mientras que después del cambio, esta cifra aumentó significativamente a un promedio mensual de alrededor de 5,238 onzas de oro. Este incremento en la producción sugiere

que las medidas implementadas o cambios realizados han resultado en un aumento notable en la eficiencia y rendimiento de la mina durante el período evaluado.

**Tabla 17**

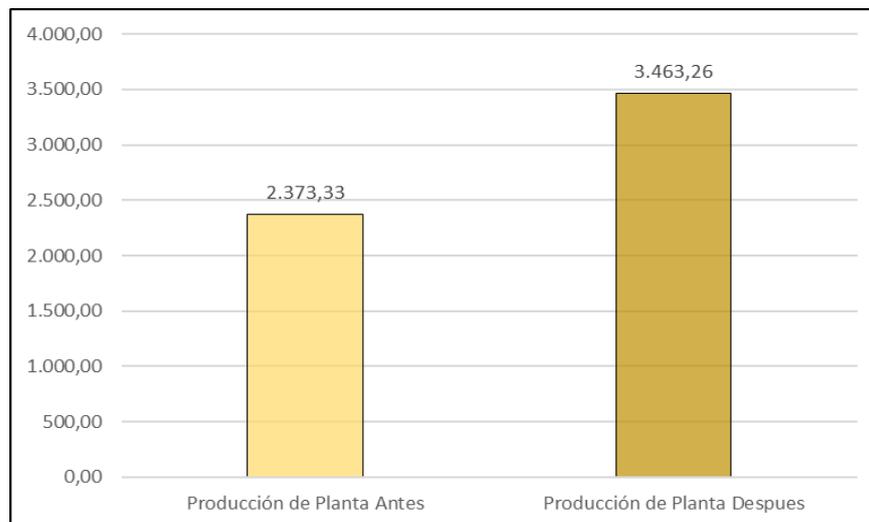
*Comparación de producción de planta*

Mes	Producción antes (Oz)	Mes	Producción después (Oz)
1	2.337,99	7	3.421,74
2	2.354,42	8	3.657,53
3	2.436,73	9	3.426,46
4	2.293,40	10	3.406,28
5	2.444,11	11	3.404,28
<b>Promedio</b>	<b>2.373,33</b>	<b>Promedio</b>	<b>3.463,26</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 74**

*Comparación de producción de planta*



**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 17 y figura 74 presentan una comparación entre la producción de una planta antes y después de un período determinado. Antes del cambio, la producción promedio mensual de la planta fue de alrededor de 2,373 onzas de oro, mientras que después del cambio, esta cantidad aumentó a un promedio mensual de aproximadamente 3,463 onzas de oro. Este incremento en la producción indica que las modificaciones

implementadas han resultado en un aumento significativo en la eficiencia y rendimiento de la planta durante el período analizado.

Ahora se desarrolla un análisis inferencial estadístico para establecer si existe diferencias significativas entre el antes y después de la implementación de la mejora planteada, de igual manera tanto para la producción de mina como de planta.

#### 4.4.1 Producción de mina

Para poder validar si realmente se produjo una mejora en la producción de mina, se debe desarrollar una prueba estadística para comparar el antes y después, para lo cual primero se debe de realizar el test de Shapiro -Wilk que permitirá evaluar los datos de la variable producción de mina.

##### Prueba de normalidad.

$H_0$ : “La información de la producción de mina presenta características de una distribución normal”.

$H_1$ : “La información de la producción de mina no presenta características de una distribución normal”.

“Si el p-valor es  $>$  a 0.05 se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el p-valor es  $<$  a 0.05 se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

#### Figura 75

*Prueba de normalidad de la producción de mina*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Producción de Mina AuOz Antes	,239	5	,200 <sup>*</sup>	,885	5	,335
Producción de Mina AuOz Despues	,248	5	,200 <sup>*</sup>	,893	5	,373

**Fuente:** Tomado de SPSS v 26.

La figura 75 muestra que los niveles de significancia (Sig.) de 0.335 y 0.373 son mayores que el nivel crítico ( $p > 0.05$ ). Esto indica que los datos siguen una distribución

normal, lo que permite utilizar la prueba t de Student para comparar las medias antes y después de la aplicación de la técnica. Esta prueba es adecuada para muestras relacionadas, lo que facilita la evaluación de los cambios producidos por la implementación de la técnica en cuestión.

**Contraste de hipótesis – Producción de mina.**

$H_0$ : “La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico no incrementa la producción de oro en mina del proyecto Ayahuanca”.

$H_1$ : “La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa la producción de oro en mina del proyecto Ayahuanca”.

“Si el p-valor es  $>$  a 0.05 se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el p-valor es  $<$  a 0.05 se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

**Figura 76**

*Estadísticas de muestras emparejadas de producción de mina*

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Producción de Mina AuOz Despues	5237,5340	5	1456,76440	651,48485
	Producción de Mina AuOz Antes	2859,1640	5	318,42035	142,40191

**Fuente:** Tomado de SPSS v 26.

**Figura 77**

*Diferencias emparejadas de producción de mina*

		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Producción de Mina AuOz Despues - Producción de Mina AuOz Antes	2378,37000	1250,19569	559,10451	826,04702	3930,69298	4,254	4	,013

**Fuente:** Tomado de SPSS v 26.

La figura 77 muestra resultados con un valor de p de .013 (significación bilateral), donde  $p < 0.05$ . Esto implica que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), lo que indica un contraste significativo entre los índices de pre test y post

test. Además, se observa una mejora de la producción de oro en mina del proyecto Ayahuanca en 2.378,37 onzas en promedio para el periodo evaluado. Estos hallazgos sugieren que la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico mejora la producción de oro en mina del proyecto Ayahuanca.

#### 4.4.2 Producción de planta

Para poder validar si realmente se produjo una mejora en la producción de mina, se debe desarrollar una prueba estadística para comparar el antes y después, para lo cual primero se debe de realizar el test de Shapiro -Wilk que permitirá evaluar los datos de la variable producción de planta.

##### Prueba de normalidad.

$H_0$ : “La información de la producción de planta presenta características de una distribución normal”.

$H_1$ : “La información de la producción de planta no presenta características de una distribución normal”.

“Si el p-valor es  $>$  a 0.05 se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el p-valor es  $<$  a 0.05 se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

#### Figura 78.

##### Prueba de normalidad de la producción de planta

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Producción de Planta AuOz Antes	,234	5	,200*	,903	5	,428
Producción de Planta AuOz Despues	,432	5	,003	,931	5	,416

Fuente: Tomado de SPSS v 26.

La figura 78 muestra que los niveles de significancia (Sig.) de 0.428 y 0.416 son mayores que el nivel crítico ( $p > 0.05$ ). Esto indica que los datos siguen una distribución normal, lo que permite utilizar la prueba t de Student para comparar las medias antes y

después de la aplicación de la técnica. Esta prueba es adecuada para muestras relacionadas, lo que facilita la evaluación de los cambios producidos por la implementación de la técnica en cuestión.

**Contraste de hipótesis general –Producción de planta.**

$H_0$ : “La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico no incrementa la producción de oro en planta del proyecto Ayahuanca”.

$H_1$ : “La optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico incrementa la producción de oro en planta del proyecto Ayahuanca”.

“Si el p-valor es  $>$  a 0.05 se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el p-valor es  $<$  a 0.05 se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

**Figura 79**

*Estadísticas de muestras emparejadas de producción de planta*

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Producción de Planta AuOz Despues	3463,2580	5	109,02333	48,75671
	Producción de Planta AuOz Antes	2373,3300	5	65,23932	29,17591

**Fuente:** Tomado de SPSS v 26.

**Figura 80**

*Diferencias emparejadas de producción de planta*

		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Producción de Planta AuOz Despues - Producción de Planta AuOz Antes	1089,92800	134,98917	60,36899	922,31681	1257,53919	18,054	4	,000

**Fuente:** Tomado de SPSS v 26.

La figura 80 muestra resultados con un valor de p de .000 (Significación Bilateral), donde  $p < 0.05$ . Esto implica que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), lo que indica un contraste significativo entre los índices de pre test y



post test. Además, se observa una mejora de la producción de oro en planta del proyecto Ayahuanca en 1.089,93 onzas en promedio para el periodo evaluado. Estos hallazgos sugieren que la optimización del proceso de lixiviación en Pad dinámico mejora la producción de oro en planta del proyecto Ayahuanca.



## 5 V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La optimización del proceso de lixiviación en la extracción de oro mediante el Pad dinámico en el proyecto Ayahuanca ha demostrado un éxito destacado. La construcción de un Pad dinámico con una superficie de 5,000 m<sup>2</sup>, impermeabilizado con geomembrana, ha proporcionado condiciones ideales para el apilamiento del mineral aurífero fino, con una ley de Au de 0.780 gramos por tonelada. La solución cianurada de riego, con un pH de 10.90 y una fuerza de cianuro 255 ppm, con una altura mineral de 10 metros y el acondicionamiento del CaO de Calquipa en una proporción de 1.33 Kg por tonelada, ha sido fundamental para la eficacia del proceso. Estos factores, combinados, han resultado en un porcentaje óptimo de extracción de oro del 93.65% en un periodo de 30 días. De acuerdo al análisis estadístico realizado se observa una mejora de la producción de oro en mina en 2.378,37 onzas y en planta de 1.089,93 onzas en promedio para el periodo evaluado. Estos hallazgos respaldan la efectividad del enfoque implementado y proporcionan una base sólida para la mejora continua de las operaciones mineras.

**SEGUNDA:** En relación al objetivo de determinar el porcentaje óptimo de extracción de oro del mineral fino en el proceso de lixiviación en el proyecto Ayahuanca ha sido alcanzado de manera satisfactoria. Los resultados obtenidos indican que se logró optimizar la extracción de oro con un destacado porcentaje del 93.65%.

**TERCERA:** Con base al objetivo de determinar el tiempo óptimo del proceso de lixiviación en la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca y considerando los resultados previamente mencionados, se puede concluir de manera sólida y positiva. Los resultados obtenidos demostraron que el tiempo de 30 días fue altamente efectivo para lograr una extracción de oro óptima.



**CUARTA:** Con respecto al objetivo de establecer los parámetros más importantes que influyen en el proceso de lixiviación en la extracción de oro en el proyecto Ayahuanca, los resultados obtenidos proporcionan una visión integral de los factores clave que impactan significativamente en la eficacia del proceso. Se identificaron varios parámetros cruciales que juegan un papel determinante en el éxito del proceso de lixiviación. La variación del pH en la solución Pregnant de drenado (PLS) se mostró como un factor esencial, siendo óptimo a un nivel de 8.58. Además, la relación S/L (sólidos a líquidos) de 0.473 demostró ser una condición eficiente para maximizar la extracción de oro. La ley de ripios, con un contenido de oro de 0.049 gramos por tonelada, también influyó de manera significativa en los resultados finales. La construcción del PAD Dinámico con una superficie de 5,000 m<sup>2</sup> impermeabilizada con geomembrana, así como la altura mineral de 10 metros, se revelaron como factores determinantes para el éxito del proceso de lixiviación. Asimismo, la utilización de una solución cianurada de riego con un pH de 10.90 y una fuerza de 255 ppm, junto con el acondicionamiento del CaO de Calquiya en una proporción de 1.33 Kg por tonelada, destacaron la importancia de la composición de la solución en el proceso.

**QUINTA:** En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la implementación del proceso de lixiviación en Pad dinámico ha demostrado ser altamente efectiva en el incremento de la producción de oro tanto en la mina como en la planta. Los datos revelan una mejora significativa en la producción de oro en la mina, con un aumento promedio de 2,378.37 onzas durante el periodo evaluado. Asimismo, se observa un aumento promedio de 1,089.93 onzas en la producción de oro en la planta del proyecto. Estos resultados, respaldados por un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$  en ambos casos, sugieren de manera contundente que la implementación del proceso de



lixiviación en Pad dinámico ha generado un impacto positivo en la producción de oro en todas las etapas del proyecto Ayahuanca.



## 6 VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda a la Empresa Minera Apumayo implementar el mapeo geológico previo a acumular el mineral en los Pads, a fin de realizar un mejorar el proceso de extracción de Au de acuerdo a la alteración.

**SEGUNDA:** Se recomienda a la empresa Minera Apumayo realizar un monitoreo de los ciclos de lixiviación, Por lo tanto, de los 60 días de lixiviación que se tiene como parámetro de operacional y al evaluar los ripios nos indica que la cinética es rápida por lo se recomienda bajar el tiempo de lixiviación entre 25 a 30 días nos llevará a tener mayor área disponible para descarga de mineral y menor dilución de la ley de la solución rica

**TERCERA:** En cuanto al consumo de reactivos el mineral presenta un consumo de 1.33 Kg Cal/TN mineral y 0.143 Kg NaCN/TN mineral. Considerar un aumento de costos de 0.68 US\$/ T mineral por el Óxido de calcio aquí la ratio de cal es de 0.85 kg/TN., un incremento aquí la ratio de cal es de 1.55 kg/TN.



## 7 VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anco, J. (2015). *Procesos de minado y lixiviación de minerales con alto contenido de finos Mysrl*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Aramburu, V. (2003). Modelo de la Pre-aireación en 288 concentrados de oro pirítico para optimizar el proceso de Cianuración.
- Azañero, A. (2000). *Como mejorar la extracción de Oro en lixiviación en Monton*. Universidad Mayor de San Marcos, Perú.
- Bilbao, M. (2011). *Manejo y operacion del proceso de cianuracion de oro en pilas y precipitacion en planta Merrill Crowe*. Universidad Nacional de Ingenieria. Perú.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2016). *Metodología de la investigación* (sexta edic). Mc Graw Hill.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1st ed.). Editorial McGraw-Hill.
- Huareccallo, J. (2019). *Influencia de la caracterización geometalúrgica en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca*. *Repositorio Institucional - UNH*. Tesis posgrado. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.
- Lopez, F. (2019). *influencia del Blending del mineral, alteración de mineral y concentración de cianuro de sodio, en la velocidad de percolación y porcentaje de extracción de oro del mineral aurífero del proyecto Ayahuanca, tratado por lixiviación en pilas*. o. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.
- Marcapura, M., & Chávez, L. (2017). *Influencia de nuevos procesos de lixiviación en la recuperación de Au en material fino extraído del tajo cerro negro – minera Yanacocha SRL - 2017*. Universidad Privada del Norte.
- Marrufo, J. (2019). *Optimización de la recuperación del oro en el proceso de lixiviación*



- en pilas (HEAPLEACHING)*, 2019. Universidad Privada del Norte.
- Miranda, N. (2012). *factibilidad técnica de la aglomeración y posterior lixiviación de minerales oxidados, sulfurados y mezclas con cloruro de sodio y sulfato férrico*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Ortega, K. (2009). *Recuperación de Oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico en la compañía aurífera Santa Rosa*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Pastor, J. (2018). *influencia del Blending de minerales con alteraciones de sílice en la percolación por lixiviación, Lucanas - Ayacucho 2017*. Universidad Privada del Norte.
- Rivera, D. (2019). *Factibilidad para la construcción de un Pad Dinámico Sobre Un botadero Analizando la Estabilidad en la Compañía Minera los Andes Perú Gold S.A.C*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Sánchez, A., & Quispe, L. (2020). *Influencia del porcentaje de finos -200 mallas del Blending de mineral en la permeabilidad y extracción de oro durante la lixiviación en Pads*. Universidad Privada del Norte.
- Tremolada, J. (2011). *Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de Cianuración en Pilas*. Universidad de Oviedo.
- Troya, M. (1993). *Procesos Alternativos de Cianuración*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Uchamaco, A. (2019). *Estudio de la cianuración del tajo Huamanloma – Apumayo SAC*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.



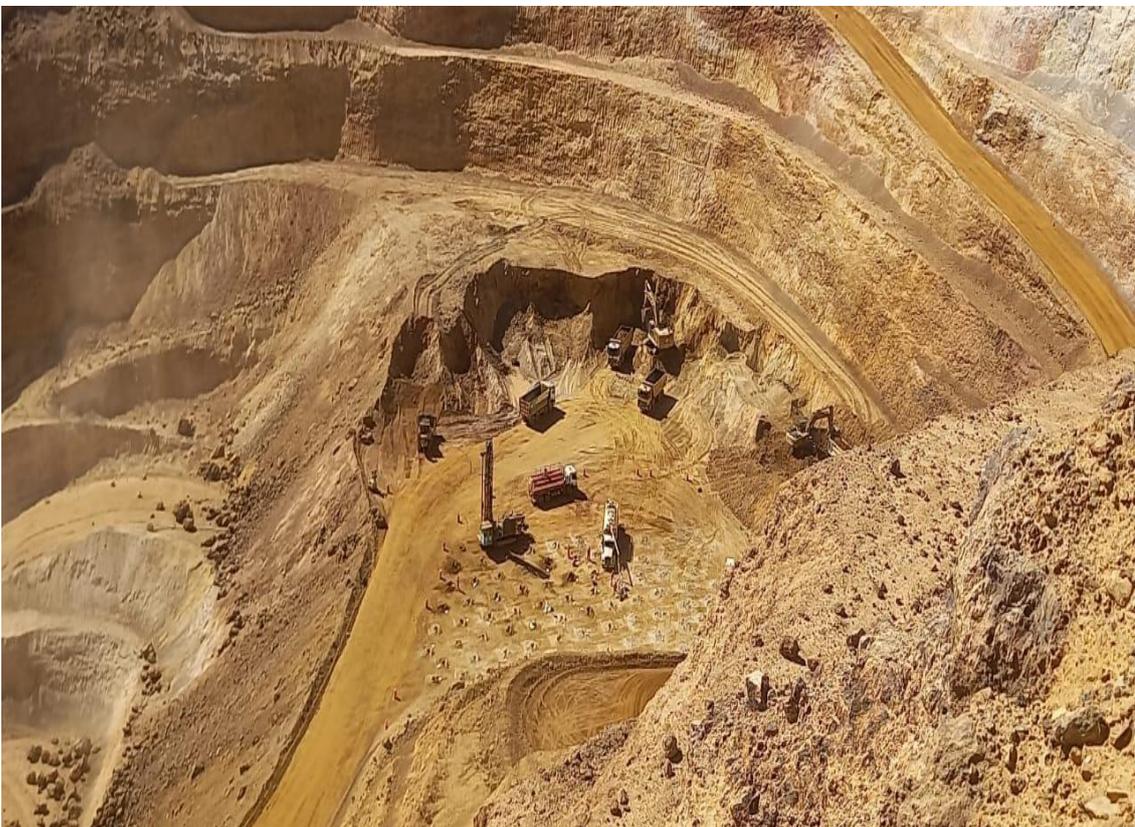
## 8 ANEXOS

ANEXO A. Se observa la imagen perforación de taladros.....	145
ANEXO B. Se observa la imagen carguío de mineral fino en el tajo.....	145
ANEXO C. Se observa la descarga de mineral fino en el Pad lixiviación .....	146
ANEXO D. Se observa en la imagen empozamiento de la solución en la pila de lixiviación .....	146
ANEXO E. Se observa en la imagen la implantación del Pad dinámico.....	147
ANEXO F . Se observa en la imagen descarga de mineral del Pad dinámico.....	147
ANEXO G. Se observa en la imagen regando con solución de cianuro en el Pad dinámico .....	148
ANEXO H. Se observa en la imagen los 10metros de altura de mineral regando .....	148
ANEXO I. Se observa en la imagen la poza de colección de solución rica .....	149
ANEXO J. Se observa en la imagen movilidad de la supervisión para verificar el proceso continuo en el Pad lixiviación.....	149
ANEXO K. Se observa en la imagen control de drenado con desfaces .....	151
ANEXO L. Se observa el diagrama de flujo de planta MC.....	153
ANEXO M. Se observa la leyenda de equipos de planta MC .....	153

**ANEXO A. Se observa la imagen perforación de taladros**



**ANEXO B. Se observa la imagen carguío de mineral fino en el tajo**



**ANEXO C. Se observa la descarga de mineral fino en el Pad lixiviación**



**ANEXO D. Se observa en la imagen empozamiento de la solución en la pila de lixiviación**



**ANEXO E. Se observa en la imagen la implantación del Pad dinámico**



**ANEXO F . Se observa en la imagen descarga de mineral del Pad dinámico**



**ANEXO G. Se observa en la imagen regando con solución de cianuro en el Pad  
dinámico**



**ANEXO H. Se observa en la imagen los 10 metros de altura de mineral regando**



**ANEXO I. Se observa en la imagen la poza de colección de solución rica**



**ANEXO J. Se observa en la imagen movilidad de la supervisión para verificar el proceso continuo en el Pad lixiviación**

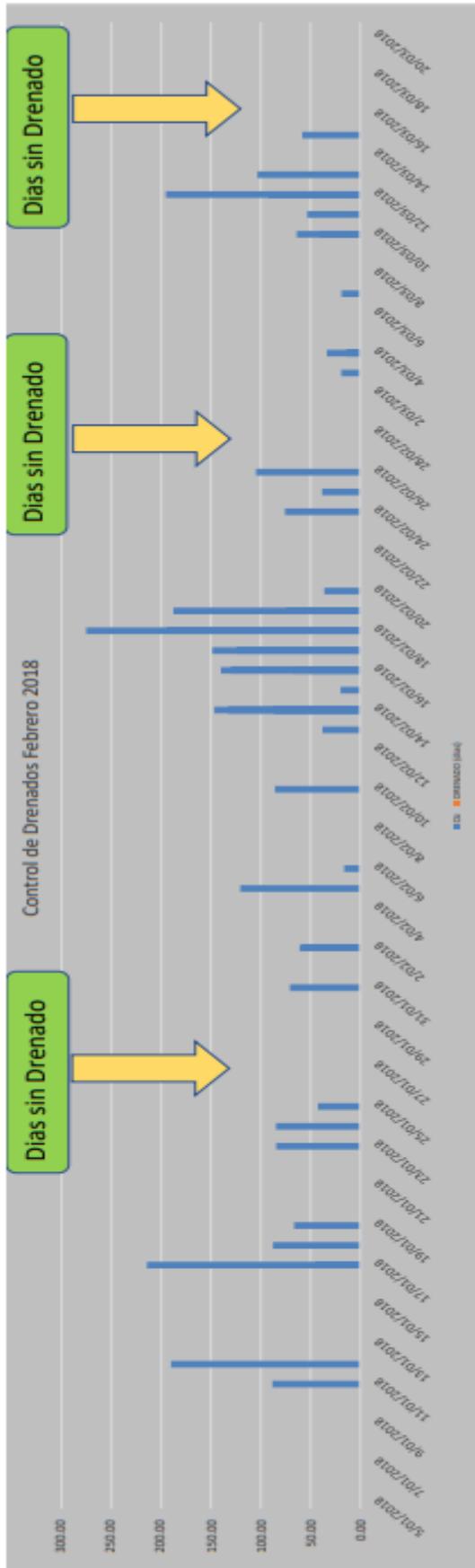




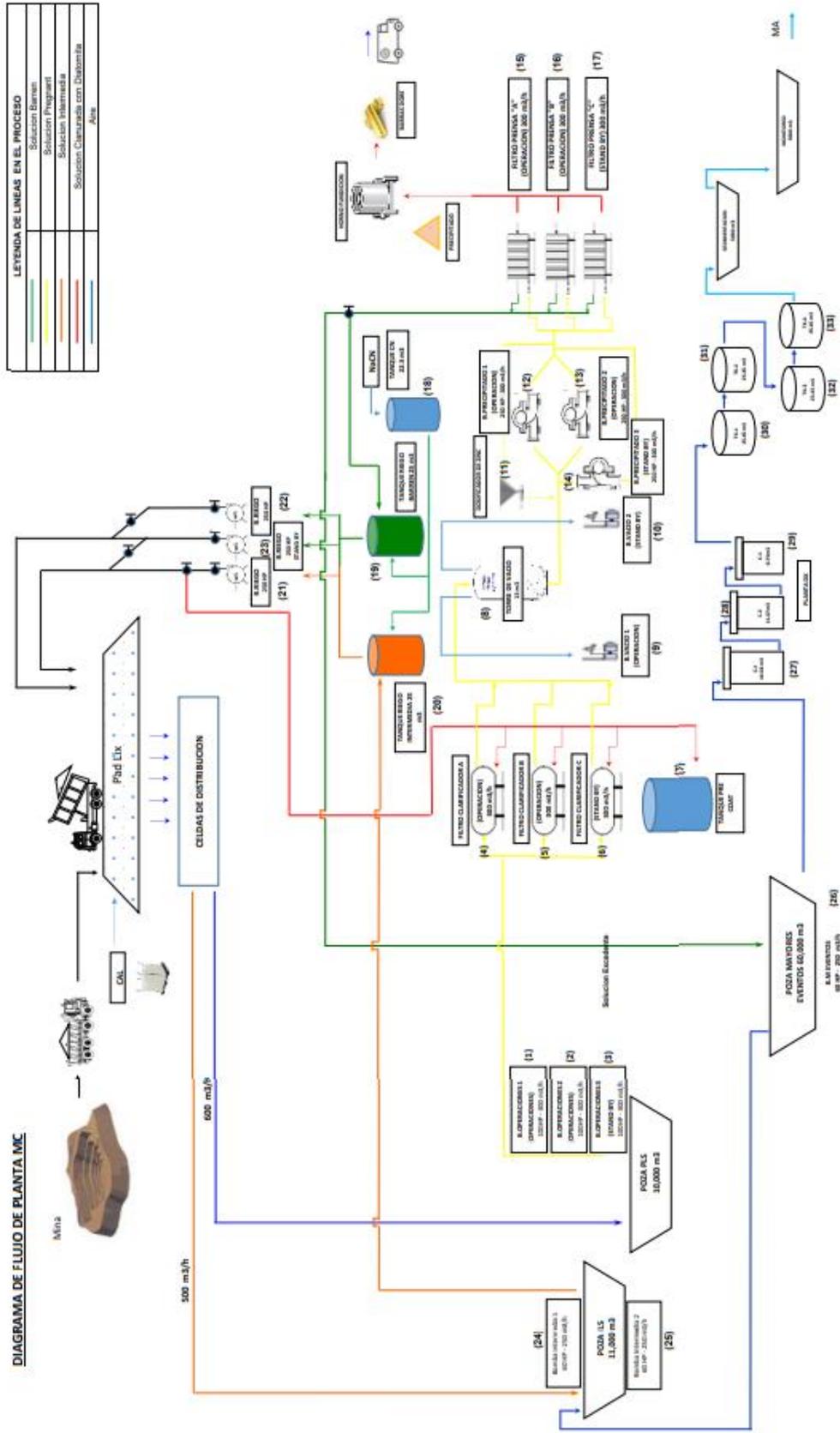
ANEXO K. Se observa en la imagen control de drenado con desfares

CONTROL DE DRENADO Y LIXIVIACIÓN

TAJO	PAD	LIFT	SECTOR	CELDA	ALTURA MINERAL	ALTURA TOTAL (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	FECHA INICIO LIX.	VELOCIDAD PERCOLACION (m/dia)	DRENADO (dias)	FECHA DRENADO	FECHA FIN LIX.	MINERAL (t)	FINOS DE ORO		Zona
														g/t	Oz	
1	AYAHUANCA	APUMAYO	8	2,3	80,90	10	45,00	2500	1,85	24,32	25/01/2018	20/03/2018	17500,00	0,101	42,62	Plataforma
2	AYAHUANCA	APUMAYO	8	3	89,97	10	45,00	1334	2,66	16,92	17/01/2018	20/03/2018	18510,00	0,480	214,24	Plataforma
3	AYAHUANCA	APUMAYO	8	2,3	79,88,89	10	45,00	2734	2,66	16,92	18/01/2018	30/03/2018	11010,00	0,330	87,61	Plataforma
4	AYAHUANCA	APUMAYO	6	5	111,112	10	23,00	1546	2,66	8,65	12/01/2018	5/03/2018	23190,00	0,340	190,12	Plataforma
5	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	117,114	10	18,00	718	2,66	6,77	11/01/2018	6/03/2018	10770,00	0,340	88,30	Talud
6	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4	110,66,58	10	30,00	2236	2,45	12,24	19/01/2018	8/03/2018	13540,00	0,204	66,60	Plataforma
7	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4	110,66,58	10	26,00	1168	2,45	10,61	17/01/2018	8/03/2018	17520,00	0,104	43,94	Talud
8	APUMAYO	APUMAYO	7	4	44,45	10	52,00	280	1,65	31,52	6/02/2018	7/03/2018	4200,00	0,161	16,31	Plataforma
9	APUMAYO	APUMAYO	7	4	44,45	10	46,00	990	1,65	27,88	20/02/2018	7/03/2018	14850,00	0,161	57,65	Talud
10	AYAHUANCA	APUMAYO	9	2	79	10	57,00	641	2,52	22,62	31/01/2018	10/03/2018	9615,00	0,305	70,71	Plataforma
11	AYAHUANCA	APUMAYO	9	2	79,88	10	53,00	1092	2,23	23,77	5/02/2018	14/03/2018	16380,00	0,305	120,47	Plataforma
12	AYAHUANCA	APUMAYO	9	2,3	70,71,79,88	10	62,00	2537	1,76	36,23	18/02/2018	15/03/2018	38055,00	0,300	275,29	Plataforma
13	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	88,89,96,97	10	45,20	791	1,76	25,68	10/02/2018	17/03/2018	11865,00	0,300	85,83	Plataforma
14	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	96,97,104,105	10	30,00	1531	1,76	17,05	20/02/2018	17/03/2018	27965,00	0,110	60,91	Plataforma mini PAD
15	APUMAYO	APUMAYO	7	4,2	44,45,46,57,58,59	10	65,00	2680	2,00	32,50	18/02/2018	18/03/2018	40200,00	0,200	193,87	Plataforma + Talud
16	APUMAYO	APUMAYO	9	3	96,98	10	10,00	1200	1,80	5,56	23/01/2018	19/03/2018	10000,00	0,350	84,40	Plataforma mini PAD
17	APUMAYO	APUMAYO	9	3	105,97	10	50,00	800	2,80	27,78	16/02/2018	21/03/2018	8000,00	0,350	67,52	Plataforma
18	APUMAYO	APUMAYO	9	3	95,104,105	10	10,00	1800	2,80	3,57	24/01/2018	22/03/2018	27000,00	0,130	84,64	Plataforma+ minipad
19	APUMAYO	APUMAYO	7	3,2	60,76	10	40,70	1211	1,69	24,08	16/02/2018	24/03/2018	18165,00	0,320	140,16	Plataforma
20	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2	76,85	10	36,10	752	1,66	21,75	14/02/2018	25/03/2018	11280,00	0,320	87,04	Plataforma
21	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2	60,76	10	42,50	689	1,88	22,61	15/02/2018	25/03/2018	2583,75	0,320	19,94	Talud
22	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2	85,86	10	32,50	1225	1,73	16,79	14/02/2018	28/03/2018	18375,00	0,300	132,92	Plataforma
23	AYAHUANCA	APUMAYO	7	3	85,89,94	10	35,00	1200	1,73	20,23	16/02/2018	28/03/2018	18000,00	0,300	130,21	Plataforma
24	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,3	76,85,93	10	28,00	1401	1,70	16,47	13/02/2018	29/03/2018	5253,75	0,300	38,01	Talud
25	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4	57,58	10	35,00	1397	1,39	25,18	24/02/2018	31/03/2018	20955,00	0,150	75,79	Plataforma
26	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	57,58,66,110	10	32,30	1174	1,94	16,65	16/02/2018	10/04/2018	17610,00	0,118	50,11	Plataforma
27	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	95,96	10	20,00	1014	1,50	13,33	14/02/2018	20/04/2018	15210,00	0,400	146,70	Plataforma
28	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	66,110,111,112	10	28,60	1370	1,90	15,05	17/02/2018	3/04/2018	20550,00	0,300	148,66	Plataforma
29	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	57,66,111,112	10	31,30	1373	2,36	13,26	17/02/2018	5/04/2018	20595,00	0,250	124,15	Plataforma
30	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	56,57,65,66,112,113	10	34,10	2594	2,36	14,45	19/02/2018	6/04/2018	38910,00	0,200	187,65	Plataforma
31	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	65,113,112	10	26,90	2319	2,36	11,40	18/02/2018	8/04/2018	8696,25	0,200	41,94	Talud
32	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,3	85,93,116	10	26,90	1010	2,16	12,45	19/02/2018	8/04/2018	15150,00	0,200	73,06	Plataforma
33	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,5	114,84	10	35,00	2222	2,16	16,20	29/02/2018	10/04/2018	8332,50	0,191	38,38	Plataforma
34	AYAHUANCA	APUMAYO	7	4	57,58	10	45,00	2482	2,16	20,83	4/03/2018	13/04/2018	5907,50	0,150	33,66	Plataforma
35	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	96	10	30,00	800	3,60	8,33	20/02/2018	13/04/2018	3000,00	0,580	36,17	Plataforma
36	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	96	10	30,00	2000	2,16	13,89	26/02/2018	14/04/2018	7500,00	0,580	104,89	Plataforma
37	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	90,91,98,99	5	30,00	1200	1,72	17,48	13/03/2018	15/04/2018	22008,00	0,195	103,48	Plataforma
38	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,4	46,47,59,60	10	45,70	896	1,72	26,63	16/03/2018	18/04/2018	13440,00	0,180	58,33	Plataforma
39	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	91,98,99,105,106	4	35,60	2148	2,23	15,95	4/03/2018	18/04/2018	3222,00	0,179	13,91	Talud
40	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,4	46,59	10	48,00	738	2,23	21,51	11/03/2018	19/04/2018	11070,00	0,200	53,39	Plataforma
42	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,4	45,46,58,59,60	10	47,40	1769	2,23	21,24	19/03/2018	20/04/2018	19035,00	0,200	91,80	Plataforma
43	AYAHUANCA	APUMAYO	7	2,4	59,60,75,76	10	42,00	1471	2,50	16,83	10/03/2018	23/04/2018	22065,00	0,120	63,85	Plataforma
44	AYAHUANCA	APUMAYO	9	3	97,105	7	25,00	500	2,16	11,57	7/03/2018	26/04/2018	5250,00	0,149	18,86	Plataforma
45	AYAHUANCA	APUMAYO	6	4,5	55,56,64,65	10	38,00	1500	2,50	15,22	12/03/2018	26/04/2018	22500,00	0,360	195,32	Plataforma
46	AYAHUANCA	APUMAYO	6	5	55,64,65	10	33,00	1200	2,50	13,22	10/03/2018	26/04/2018	4500,00	0,360	39,06	Talud



ANEXO L. Se observa el diagrama de flujo de planta MC



ANEXO M. Se observa la leyenda de equipos de planta MC

LEYENDA DE EQUIPOS					
DESCRIPCION	MARCA	HP	VOLTAJE	CAPACIDAD	
(1.) BOMBA OPERACIONES 1. (OPERACION)	LH-875 TSURUMI	100	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(2.) BOMBA OPERACIONES 2. (OPERACION)	LH-875 TSURUMI	100	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(3.) BOMBA OPERACIONES 3. (STAND BY)	LH-875 TSURUMI	100	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(4.) FILTRO CLARIFICADOR A (OPERACION)	DURCO FILTERS - 29 PANELES (102x102 cm)	-	-	1200 ft <sup>2</sup> - 300 (m <sup>3</sup> /h)	
(5.) FILTRO CLARIFICADOR B (OPERACION)	DURCO FILTERS - 29 PANELES (102x102 cm)	-	-	1200 ft <sup>2</sup> - 300 (m <sup>3</sup> /h)	
(6.) FILTRO CLARIFICADOR C (STAND BY)	DURCO FILTERS - 29 PANELES (102x102 cm)	-	-	1200 ft <sup>2</sup> - 300 (m <sup>3</sup> /h)	
(7.) TANQUE DE PRECOAT	-	-	-	9.62 (m <sup>3</sup> )	
(8.) TORRE DE VACIO	-	-	-	13 (m <sup>3</sup> )	
(9.) BOMBA DE VACIO 1. (OPERACION)	SHI	40	460		
(10.) BOMBA DE VACIO 2. (STAND BY)	SHI	40	460		
(11.) CONO DE ZINC	-	-	-	-	
(12.) BOMBA CENTRIFUGA PRECIPITADO 1. (OPERACION)	PEERLESS PUMPS	250	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(13.) BOMBA CENTRIFUGA PRECIPITADO 2. (OPERACION)	PEERLESS PUMPS	250	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(14.) BOMBA CENTRIFUGA PRECIPITADO 3. (STAND BY)	FLOW SERVE	250	460	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(15.) FILTRO PRENSA "A" (OPERACION)	ASCENSION INDUSTRIES (49 paneles - 110x110 cm)	-	-	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(16.) FILTRO PRENSA "B" (OPERACION)	ASCENSION INDUSTRIES (49 paneles - 110x110 cm)	-	-	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(17.) FILTRO PRENSA "C" (STAND BY)	ASCENSION INDUSTRIES (49 paneles - 110x110 cm)	-	-	300 (m <sup>3</sup> /h)	
(18.) TANQUE DE CIANURO	-	-	-	22.32 (m <sup>3</sup> )	
(19.) TANQUE DE RIEGO BARREN	-	-	-	25 (m <sup>3</sup> )	
(20.) TANQUE DE RIEGO INTERMEDIA	-	-	-	25 (m <sup>3</sup> )	
(21.) BOMBA RIEGO 1. (OPERACION)	PEERLESS PUMPS	250	460	550 (m <sup>3</sup> /h)	
(22.) BOMBA RIEGO 2. (OPERACION)	PEERLESS PUMPS	250	460	550 (m <sup>3</sup> /h)	
(23.) BOMBA RIEGO 3. (STAND BY)	PEERLESS PUMPS	250	460	550 (m <sup>3</sup> /h)	
(24.) BOMBA Intermedia 1. (OPERACION)	LH-845 TSURUMI	60	460	250 (m <sup>3</sup> /h)	
(25.) BOMBA Intermedia 2. (STAND BY)	LH-845 TSURUMI	60	460	250 (m <sup>3</sup> /h)	
(26.) BOMBA POZA GRANDES EVENTOS	LH-845 TSURUMI	60	460	250 (m <sup>3</sup> /h)	
(27.) COLUMNA DE CARBON (C-1)	-	-	-	14.58 (m <sup>3</sup> )	
(28.) COLUMNA DE CARBON (C-1)	-	-	-	11.67 (m <sup>3</sup> )	
(29.) COLUMNA DE CARBON (C-1)	-	-	-	8.75 (m <sup>3</sup> )	
(30.) TANQUE REACTOR (TK-1)	-	-	-	25,45 (m <sup>3</sup> )	
(31.) TANQUE REACTOR (TK-2)	-	-	-	25,45 (m <sup>3</sup> )	
(32.) TANQUE REACTOR (TK-3)	-	-	-	25,45 (m <sup>3</sup> )	
(33.) TANQUE REACTOR (TK-4)	-	-	-	25,45 (m <sup>3</sup> )	



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JOSE LUIS CHAMBILLA QUISPE  
identificado con DNI 43253735 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Metalúrgica

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

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN  
EN LA EXTRACCIÓN DE ORO DEL PROYECTO AYPHUANCA

" Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 27 de Mayo del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo JOSE LUIS CHAMBICA QUISPE, identificado con DNI 43233735 en mi condición de egresado de:

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

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

Título Profesional denominado:

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ORO DEL PROYECTO AYDHUANCA"

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de Mayo del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella