

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

---

**OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE ORO POR EL PROCESO CIL  
UTILIZANDO ANTIINCRUSTANTE PARA MINERALES DEL YACIMIENTO  
MINERO AYSAMIC S.A.C- AREQUIPA 2024**

**(Investigación Tecnológica)**

---

**PRESENTADO POR:**

Br. BRAULIO AGUILAR MORALES  
Br. JUAN IGNACIO MAMANI CCAHUANA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO METALURGICO**

**ASESOR:**

Dr. PEDRO CAMERO HERMOZA

**CUSCO - PERÚ**

**2025**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACION DE LA RECUPERACION DE DRD POR EL PROCESO CIL UTILIZANDO ANTIINCRUSTANTE PARA MINERALES DEL YACIMIENTO MINERO AYSAMIE S.A.C - AREQUIPA 2024 (INVESTIGACION TECNOLÓGICA)

presentado por: MAMANI CAHUANA JUAN FERRER con DNI Nro.: 76412368 ..... presentado por: AGUILAR MORALES BRAULIO ..... con DNI Nro.: 46887575 ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALURGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 00.0 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 10 de DICIEMBRE de 2024.....



Firma

Post firma Pedro Camacho Hermosa

Nro. de DNI 23956513

ORCID del Asesor 0000-0001-5366-9187

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:413289447 ✓

# BRAULIO - JUAN AGUILAR - MAMANI

## PARA TURNITIN TESIS DE ADSORCIÓN DE ORO BRAULIO Y JUAN.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:413289447

109 Páginas

Fecha de entrega

6 dic 2024, 9:16 a.m. GMT-5

20,172 Palabras

Fecha de descarga

6 dic 2024, 10:03 a.m. GMT-5

107,374 Caracteres

Nombre de archivo

PARA TURNITIN TESIS DE ADSORCIÓN DE ORO BRAULIO Y JUAN.pdf

Tamaño de archivo

1.8 MB

## 8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**  
43 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DNI: 23956513

## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y señores miembros de la comisión revisora del informe de Tesis.

En cumplimiento al artículo 18° del Reglamento de Grados y Títulos aprobado por la Resolución N° CU-361-2010-UNSAAC de 18/11/2010, de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica actualmente en vigencia. Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a su disposición el presente informe de Tesis intitulada:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE ORO POR EL PROCESO  
CIL UTILIZANDO ANTIINCRUSTANTE PARA MINERALES DEL YACIMIENTO  
MINERO AYSAMIC S.A.C- AREQUIPA 2024”**

**(Investigación Tecnológica)**

El presente trabajo de investigación tecnológica es de carácter cuantitativo – experimental y pretende optimizar la recuperación de oro utilizando el proceso de cianuración por agitación de los minerales del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C-Arequipa, ajustando variables de operación a nivel laboratorio.

**Los bachilleres**

## DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante, a todos mis amigos(as) que me brindaron su apoyo, a mis docentes de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica por brindarme sus conocimientos y consejos.

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres José y Florencia quienes fueron mi fuerza, mi soporte y mi inspiración para superarme cada día, a mi hermano Yoel Elvis y a mis hermanas Sonia y Ovalia que siempre creyeron y confiaron en mí y me apoyaron en todo momento.

A mi hijo José André va dedicado este trabajo, hijo gracias a tu existencia que fue el motivo y la razón para finalizar este capítulo en mi vida profesional y decirte no habrá nadie a quién pueda amar más que a ti en mi vida, porque eres la razón de que haya encontrado mi camino para ser feliz.

Agradecerme a mí mismo porque yo fui quien me motivé para llegar hasta aquí que era mi objetivo de mi vida profesional.

**Aguilar Morales, Braulio**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación es dedicado a Dios por darme la vida, salud y de esta forma tener la oportunidad de hacer realidad este proyecto.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC, por haber compartido su tiempo y su conocimiento durante mi formación como estudiante en las diferentes áreas del conocimiento.

A mis padres Ignacio Mamani Huillca y Matilde Ccahuana Vargas. Gracias por brindarme tu apoyo incondicional y por creer en mí y espero poder disfrutar más momentos a su lado como profesional y yo encargarme de ustedes.

A mis hermanos Yony, Edgar, Rocio, Margoth por siempre darme consejos y apoyarme en todo lo que necesitaba. Quienes me brindaron su cariño y amor como hermanos mayores.

A mis demás familiares, amigos y personas especiales quienes me apoyaron durante todo el periodo en mi formación personal y profesional con deseos de mucho esfuerzo.

**Mamani Ccahuana, Juan Ignacio**

## ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
SUMMARY .....	XIV
SIMBOLOGÍA Y ACRÓNIMOS.....	XVI
1    CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1    Situación problemática .....	1
1.2    Formulación del Problema.....	2
1.2.1    Problema General.....	2
1.2.2    Problemas Específicos .....	2
1.3    Justificación .....	2
1.3.1    Conveniencia.....	2
1.3.2    Relevancia Social .....	3
1.3.3    Relevancia Tecnológica .....	3
1.3.4    Valor Teórico .....	3
1.3.5    Utilidad Metodológica .....	3
1.4    Objetivos.....	4

1.4.1	Objetivo General.....	4
1.4.2	Objetivos Específicos.....	4
2	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Antecedentes de la Investigación (Estado de Arte) .....	5
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2	Antecedentes Nacionales .....	6
2.2	Definición de términos básicos.....	7
2.3	Bases Teóricas .....	10
2.3.1	Oro .....	10
2.3.1.1	Propiedades físicas.....	10
2.3.1.2	Propiedades químicas.....	11
2.3.2	Hidrometalurgia .....	11
2.3.3	Cianuración .....	12
2.3.4	Fundamentos fisicoquímicos de la cianuración del oro .....	13
2.3.4.1	Química de la cianuración.....	13
2.3.4.2	Cinética de la cianuración del oro.....	13
2.3.4.3	Termodinámica de la cianuración del oro.....	15
2.3.5	Lixiviación por agitación .....	18
2.3.6	Variables de la lixiviación por agitación.....	19
2.3.6.1	Granulometría .....	19
2.3.6.2	Concentración de oxígeno.....	20

2.3.6.3	Densidad de pulpa.....	21
2.3.6.4	Concentración de cianuro.....	21
2.3.6.5	Tiempo de lixiviación .....	22
2.3.6.6	Alcalinidad.....	22
2.3.7	Proceso CIL (carbón en lixiviación) .....	22
2.3.8	Carbón activado .....	24
2.3.8.1	Adsorción.....	25
2.3.9	Antiincrustante.....	25
2.3.9.1	KURITA T-2420.....	25
2.3.10	Factores que afectan a la formación de incrustaciones .....	27
2.3.10.1	pH.....	27
2.3.10.2	Temperatura .....	27
2.3.10.3	Turbulencia .....	27
2.3.10.4	Caídas de presión .....	27
2.3.10.5	Aireación .....	27
2.3.10.6	Mezcla de Aguas.....	28
2.3.11	Consecuencias de las incrustaciones.....	28
2.3.11.1	Baja en la producción.....	28
2.3.11.2	Costos por parada de proceso.....	28
2.3.11.3	Reducción en la recuperación del oro .....	28
2.3.11.4	Daño de equipos.....	28

2.3.11.5	Altos costos de mantenimiento .....	28
2.3.12	Índice de Langelier.....	28
2.3.13	Índice de Ryznar (RSI) .....	30
3	CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	31
3.1	Hipótesis .....	31
3.1.1	Hipótesis general.....	31
3.1.2	Hipótesis Especificas .....	31
3.2	Variables .....	31
3.2.1	Identificación de variables: .....	31
3.2.1.1	Variable dependiente.....	31
3.2.1.2	Variable independiente .....	31
3.2.1.3	Variables intervinientes.....	32
3.2.2	Operacionalización de variables .....	33
4	CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
4.1	Ámbito del estudio: localización política, geográfica .....	34
4.2	Diseño de investigación .....	36
4.2.1	Método.....	37
4.2.2	Tipo .....	37
4.2.3	Alcance.....	38
4.3	Población de estudio.....	38
4.3.1	Población.....	38

4.3.2	Muestra.....	38
4.3.3	Muestreo.....	38
4.3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
4.4	Validez y confiabilidad de instrumentos .....	39
4.5	Plan de análisis de datos .....	40
4.6	Diagrama de bloques .....	41
5	CAPITULO V: PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	42
5.1	Pruebas experimentales de agitación a nivel de laboratorio .....	42
5.2	Pruebas experimentales del antiincrustante con mayor eficiencia .....	48
5.3	Pruebas experimentales de adsorción del carbón activado.....	50
6	CAPITULO VI: DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	52
6.1	Variables operacionales en la recuperación de oro por el proceso CIL. ....	52
6.1.1	Balance metalúrgico de las pruebas metalúrgicas por agitación .....	52
6.1.2	Cálculos de extracción y recuperación para el balance metalúrgico ...	53
6.2	Evaluación de la eficiencia del antiincrustante.....	59
6.3	Evaluación de la adsorción con carbón activado .....	62
6.3.1	Adsorción del carbón activado sin antiincrustante .....	63
6.3.2	Adsorción del carbón activado con antiincrustante .....	66
6.3.3	Características fisicoquímicas del carbón .....	68
6.3.4	Análisis del carbón activado con microscopia electrónica .....	69
6.4	Modelo matemático .....	72

7	CONCLUSIONES .....	81
8	RECOMENDACIONES .....	82
9	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	83
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
11	ANEXOS.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades físicas de oro.....	11
<b>Tabla 2</b> La granulometría respecto al porcentaje de extracción de oro.....	20
<b>Tabla 3</b> Valores del índice de saturación de Langelier. ....	29
<b>Tabla 4</b> Datos generales de la empresa CIA Minera Jerusalén S.A.C. ....	35
<b>Tabla 5</b> Niveles de las variables.....	36
<b>Tabla 6</b> Tabla de diseño aleatorizado 2 <sup>3</sup> .....	37
<b>Tabla 7</b> Equipos, Materiales y Reactivos .....	39
<b>Tabla 8</b> Consumo de cianuro por cada titulación de la prueba N°1 .....	47
<b>Tabla 9</b> Parámetros operativos del antiincrustante y carbón activado .....	49
<b>Tabla 10</b> Variables operacionales de las pruebas metalúrgicas. ....	52
<b>Tabla 11</b> Balance metalúrgico de las pruebas experimentales.....	53
<b>Tabla 12</b> Caracterización de la muestra de solución PLS de la prueba N° 6. ....	60
<b>Tabla 13</b> Resultados de las pruebas experimentales con antiincrustante.....	60
<b>Tabla 14</b> Resultados de la adsorción de oro sin antiincrustante. ....	63
<b>Tabla 15</b> Resultados de la adsorción de oro con antiincrustante. ....	66
<b>Tabla 16</b> Características fisicoquímicas del carbón fresco y cargado. ....	68
<b>Tabla 17</b> Análisis de tamaño de partícula de los carbones. ....	69
<b>Tabla 18</b> Comparativo de la adsorción del carbón con y sin antiincrustante.....	69
<b>Tabla 19</b> Niveles de las variables.....	72
<b>Tabla 20</b> Diseño factorial aleatorizado (3 factores, 2 niveles).....	73
<b>Tabla 21</b> Balance de las pruebas experimentales.....	73
<b>Tabla 22</b> Efecto estimado de las pruebas experimentales. ....	74
<b>Tabla 23</b> Análisis de varianza .....	75
<b>Tabla 24</b> Parámetro óptimo para llegar a una recuperación de 93.70%. ....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Representación esquemática de las etapas en una reacción química. ....	14
<b>Figura 2</b>	Reacciones Electroquímicas de oxidación en la cianuración. ....	16
<b>Figura 3</b>	Diagrama de estabilidad potencial pH para el sistema $Au - H_2O - CN^-$ ... ..	18
<b>Figura 4</b>	Lixiviación por agitación. ....	19
<b>Figura 5</b>	Diagrama de flujo del proceso CIL .....	23
<b>Figura 6</b>	Empresa Minera Cia Minera Jerusalén S.A.C.....	34
<b>Figura 7</b>	Vista geográfica de compañía minera AYSAMIC S.A.C.....	35
<b>Figura 8</b>	Diagrama de bloque.....	41
<b>Figura 9</b>	Consumo de NaCN v/s tiempo de agitación. ....	47
<b>Figura 10</b>	Gráfico de la eficiencia v/s dosis del antiincrustante. ....	61
<b>Figura 11</b>	Simulación del antiincrustante para su dosis óptima.....	62
<b>Figura 12</b>	Adsorción de oro de la velocidad v/s tiempo sin antiincrustante. ....	64
<b>Figura 13</b>	Gráfico del porcentaje de recuperación v/s tiempo sin antiincrustante.....	65
<b>Figura 14</b>	Adsorción de oro de la velocidad v/s tiempo con antiincrustante.....	66
<b>Figura 15</b>	Gráfico del porcentaje de recuperación v/s tiempo con antiincrustante.....	67
<b>Figura 16</b>	Visualización de poros del carbón activado. ....	70
<b>Figura 17</b>	Diagrama de Pareto de los efectos de cada variable.....	77
<b>Figura 18</b>	Optimización del % de recuperación.....	78
<b>Figura 19</b>	Gráfico de los efectos principales para % de recuperación. ....	78
<b>Figura 20</b>	Gráfico de efectos estandarizados para % recuperación. ....	79
<b>Figura 21</b>	Gráfica de contornos Recuperación v/s concentración de antiincrustante. ....	79
<b>Figura 22</b>	Gráfica de cubos de medidas ajustadas del %Recuperación. ....	80

## RESUMEN

La problemática de la minera AYSAMIC S.A.C- Arequipa en la planta concentradora CIA Minera JERUSALEN S.A.C. es la recuperación de oro en el proceso CIL ante minerales oxidados asociados con minerales refractarios e insolubles; obstruyendo la capacidad de adsorción de oro y plata por parte del carbón activado, dificultando así la recuperación de oro en el proceso CIL. El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo obtener una mayor recuperación de oro a través de la dosificación del antiincrustante en determinadas condiciones de concentración de cianuro y capacidad de adsorción del carbón activado. En las pruebas metalúrgicas de lixiviación, la concentración de cianuro más eficiente fue de 3500 ppm, donde se obtuvo 91.7% de recuperación de oro en solución PLS. Luego se procedió a determinar la concentración óptima de antiincrustante Kurita T-2420, la dosis óptima fue de 8 ppm con una eficiencia del 86% de adsorción del carbón activado. Por último se definió la capacidad de adsorción de carbón activado, en ausencia de antiincrustante la recuperación de oro fue del 71.7% después de 2 horas, mientras que la recuperación de oro mejoró significativamente al 93.7% cuando se usó el antiincrustante. La metodología que se empleó es del tipo tecnológico, experimental con enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y explicativo. Se realizó ocho pruebas experimentales de todas las variables, obteniendo el siguiente modelo matemático para llegar a su optimización:

$$\% \text{ Recuperación} = 59.23 + 0.004546 A + 0.5869 B - 2.560 C + 0.000516 A*B + 0.000858 A*C + 0.3823 B*C - 0.000129 A*B*C.$$

**Palabras clave:** Recuperación, antiincrustante, concentración, adsorción.

## SUMMARY

The problem of the mining company AYSAMIC S.A.C- Arequipa in the CIA Minera JERUSALEN S.A.C concentration plant. is the recovery of gold in the CIL process from oxidized minerals associated with refractory and insoluble minerals; obstructing the adsorption capacity of gold and silver by the activated carbon, thus hindering the recovery of gold in the CIL process. The objective of this research project was to obtain a greater recovery of gold through the dosage of the antifouling under certain conditions of cyanide concentration and adsorption capacity of the activated carbon. In the metallurgical leaching tests, the most efficient cyanide concentration was 3500 ppm, where 91.7% gold recovery was obtained in PLS solution. Then, the optimal concentration of antifouling was determined; the optimal dose was 8 ppm with an efficiency of 86% adsorption of activated carbon. Finally, the adsorption capacity of activated carbon was defined; in the absence of antifouling, the gold recovery was 71.7% after 2 hours, while the gold recovery improved significantly to 93.7% when the antifouling was used. The methodology used is technological, experimental, and quantitative in nature, with a descriptive and explanatory scope. Eight experimental tests were conducted for all variables, resulting in the following mathematical model for optimization:

$$\% \text{ Recovery} = 59.23 + 0.004546 A + 0.5869 B - 2.560 C + 0.000516 A*B + 0.000858 A*C + 0.3823 B*C - 0.000129 A*B*C.$$

**Keywords:** Recovery, antifouling, concentration, adsorption.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú la industria Minera - Metalúrgica, es fuente de riqueza de mayor importancia dentro del contexto socioeconómico. Dicha actividad se desarrolla en forma acelerada, gracias a las tecnologías limpias que son cada vez más avanzadas a los procesos tradicionales. El Perú a nivel mundial se ubica entre los primeros países productores de diversos metales (Au, Ag, Cu, Zn, Pb, etc.). Entre los metales mencionados el oro es uno de los metales más valiosos debido a su uso en la joyería, electrónica, diversos usos industriales y decorativos. A lo extenso del país la actividad minera se realiza a pequeña, mediana minería y gran escala. La lixiviación por cianuración tiene como objetivo principal disolver un elemento desde el mineral que lo contiene, para luego ser recuperado en etapas posteriores. Para lograr la disolución del oro es importante liberar las partículas de oro mediante chancado y molienda. La Minera AYSAMIC S.A.C contrata plantas convencionales de lixiviación de oro para procesar sus minerales auríferos con alto contenido de cobre y minerales insolubles. Actualmente sus minerales son tratados en CIA Minera Jerusalén S.A.C ubicada en el Distrito de Chala, Provincia de Caravelí, Departamento de Arequipa. Las dificultades que se presentan en el proceso de lixiviación son las bajas recuperaciones de oro, alto consumo de cianuro, adsorción deficiente y obstrucción por parte del carbón activado. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de solucionar los problemas mencionados cuyo objetivo general es optimizar la recuperación de oro mediante el proceso CIL utilizando antiincrustante Kurita T-2420 para el tratamiento del mineral del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C-Arequipa. Para concluir con el objetivo general se ajusta las siguientes tres variables: concentración de cianuro, concentración de antiincrustante y la capacidad de adsorción de carbón activado.

**SIMBOLOGÍA Y ACRÓNIMOS**

Ag: Plata

Au: Oro

Cu: Cobre

Zn: Zinc

Pb: Plomo

Hr: Hora

S.A.C. Sociedad anónima cerrada

ppm: Partes por millón

rpm: Revoluciones por minuto

gr/: 1 Gramos por litro

kg/t: Kilogramos por tonelada

kg/TM: Kilogramos por tonelada métrica

°C: Grados Celsius

°K: Grados kelvin

V: Voltaje

%: Porcentaje

Psi: Libras por pulgada cuadrado

S/: Soles

CN: Cianuro

pH: Acidez

NaCN: Cianuro de sodio

KCN: Cianuro de potasio

HCN: Cianuro de hidrogeno

NaOH: Hidróxido de sodio

CaSO<sub>4</sub>: Sulfato de calcio

HCl: Ácido clorhídrico

CN<sup>-</sup>: Ion cianuro

OH<sup>-</sup>: Ion hidroxilo

CuFeS<sub>2</sub>: Calcopirita

Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>: Bornita

Cu<sub>2</sub>S: Calcosina

CuS: Covelina

Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>: Energita

ADR: Adsorción, desorción y recuperación

CIL: Carbón en lixiviación

RSI: Índice de Ryznar

ISL: Índice de Langelier

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Situación problemática**

A nivel internacional Cruz en su tesis “control de carbón activado en proceso ADR” al añadir el antiincrustante evito la formación de carbonatos en la capa externa del carbón. A nivel nacional Ccahuana en sus tesis “remoción de los carbonatos y control de incrustaciones en una planta de carbón activado para la recuperación del oro”, realizando pruebas a nivel de laboratorio y planta con una adición 3ppm de antiincrustante en la etapa de adsorción se neutralizo y removió la presencia de carbonatos del carbón activado.

La Minera AYSAMIC S.A.C contrata plantas convencionales de lixiviación de oro para procesar sus minerales auríferos e insolubles con alto contenido de cobre. Estos minerales son tratados en la CIA Minera JERUSALEN S.A.C., y las dificultades que se presentan en el proceso son las bajas recuperaciones de oro, baja adsorción del carbón activado y alto consumo de cianuro, resultando no rentable al proceso de extracción de oro.

En el proceso CIL es importante controlar los parámetros operativos de lixiviación, el carbón activado es una de las variables importantes en considerar para la adsorción de metales como el oro, plata y minerales insolubles; así saturando y obstruyendo el carbón activado, ante ello es importante hacer estudios para una mejor selectividad del metal valioso.

Ante esto es necesario implementar nuevos reactivos para una mayor recuperación de oro. El reactivo antiincrustante Kurita T-2420, ayuda a evitar que el carbón llegue a saturarse por otros metales pesados que no sean de interés metalúrgico; permitiendo reducir al mínimo la deposición de incrustación de carbonatos, silicatos y sulfatos en el carbón activado, haciendo una mejor selectividad de los metales valiosos en los carbones y acelerando la adsorción de los metales valiosos al carbón.

Teniendo en cuenta la situación problemática, por lo antes explicado, se implementará el reactivo antiincrustante para optimizar el proceso de extracción de oro por el proceso CIL utilizando el método experimental con enfoque cuantitativo.

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Se podrá optimizar la recuperación de oro por el proceso CIL utilizando antiincrustante para el tratamiento del mineral del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C- Arequipa?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

PE1: ¿Qué concentración de cianuro se necesitará para optimizar la recuperación de oro?

PE2: ¿Cuál será la concentración de antiincrustante que se requiere para optimizar la recuperación de oro?

PE3: ¿Cuánto será la capacidad de adsorción del carbón activado en la recuperación de oro?

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1 Conveniencia**

El presente trabajo de investigación es conveniente porque permitirá una mejor selectividad del metal valioso por parte del carbón activado, aplicando el antiincrustante que por funcionalidad tiene en minimizar la precipitación de carbonatos, sulfatos y silicatos; así mismo, ayudara en adecuar e investigar el consumo de cianuro para optimizar la recuperación de oro utilizando el proceso CIL.

### ***1.3.2 Relevancia Social***

El estudio propuesto beneficiará a los involucrados en la investigación de obtención de oro por cianuración de acuerdo a la problemática planteada, así mismo al presentar mejoras en sus procesos otorga a toda la masa colectiva en la compañía minera, que permitirá obtener una mejor calidad de vida a los trabajadores y sus familias, al ahorrar el carbón activado involucra directamente a la rentabilidad de la empresa.

### ***1.3.3 Relevancia Tecnológica***

La investigación propuesta demostrará experimentalmente, que es posible mejorar el proceso de cianuración por agitación con el uso del antiincrustante a nivel de laboratorio, que permite un porcentaje más elevado de recuperación de oro. Con los datos obtenidos se puede posteriormente proyectar a nivel de planta. Por tanto, se pretende dar a conocer a la empresa los resultados obtenidos y de este modo generen mejor rentabilidad.

### ***1.3.4 Valor Teórico***

Con el presente trabajo de investigación, se dará a conocer en mayor medida el comportamiento de una o más variables con la finalidad de ajustar ahorro en el uso de reactivos, que generará conocimiento comparativo con otras plantas metalúrgicas que tengan las mismas características.

### ***1.3.5 Utilidad Metodológica***

El propósito de la investigación experimental es mejorar en los procesos ajustando las variables, que empezara con el análisis muestras a nivel de laboratorio, determinar las concentraciones de los reactivos, determinar las variables independientes óptimas hasta lograr la recuperación más rentable para la empresa. Cuyos datos son reales y fiables con instrumentos y equipos garantizados.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Optimizar la recuperación de oro mediante el proceso CIL utilizando antiincrustante para el tratamiento del mineral del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C-Arequipa.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

OE1: Estimar la concentración de cianuro para optimizar la recuperación de oro.

OE2: Determinar la concentración del antiincrustante para optimizar la recuperación de oro.

OE3: Definir la capacidad de adsorción de carbón activado en la recuperación de oro.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación (Estado de Arte)

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Cruz (2018) en su tesis “Control de carbón activado en proceso ADR” de la Universidad de Sonora del departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica, México. Tiene como objetivo encontrar los parámetros adecuados para la operación de la planta ADR con la finalidad de mantener la eficiencia adecuada, esto a través de la realización de pruebas metalúrgicas. En su trabajo de tesis realizó múltiples pruebas tales como: determinación de carbonatos, Actividad con solución PLS diluido, Actividad con solución sintética con pH 11.41 vs pH 10.5 y Actividades con solución proveniente de cola Planta SART y cabeza ADR con 5 ppm de antiincrustante. Concluyendo que para una solución sintética para en condiciones libres de impurezas, el oro se adsorbió con mayor eficiencia en pH 10.5 y al añadir el antiincrustante, se evitó la unión de carbonatos en la capa externa del carbón activado.

Rendón, Castillo, & Azocar (2020) en su artículo “Pectina deshidratada de *Passiflora edulis* como inhibidor de incrustaciones minerales”, Universidad de Oriente Núcleo de Monagas Venezuela de la escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Cuyo objetivo fue formular un químico antiincrustante elaborado a partir de pectina deshidratada a base de una materia prima local y natural representada por la parchita. Con base en esto, evaluaron la capacidad de este químico para inhibir la precipitación de las incrustaciones de minerales o escamas de Sulfato de Calcio. Concluyendo que la pectina deshidratada a base de parchita es eficiente en el proceso de inhibición de la precipitación de incrustaciones minerales de Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), mejorando esto con una mayor concentración y un menor tamaño de partículas.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Borja (2013), “*Estudio de minimización de la precipitación de carbonatos en el proceso de desorción de oro del carbón activado*”, Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería Lima - Perú. Cuyo objetivo es minimizar la precipitación de carbonatos en el proceso de desorción de oro del carbón activado, evaluando la dosificación de dos tipos de antiincrustantes en el proceso. La dosificación de Nalco 9714 a un valor de 110 ml/min presenta una menor precipitación de carbonatos en el proceso de desorción en comparación con el Millperse 815, el Nalco 9714 precipita en promedio 240ppm menos de  $\text{CaCO}_3$  que el Millperse 815. Obteniendo resultados con la dosificación de los dos tipos de antiincrustante, con el Nalco 9714 se logra disminuir el contenido de carbonatos inicial en un 19.3% a diferencia del Millperse 815 con el cual la remoción de carbonatos disminuye en un 12.6%. Por lo tanto, se concluye que el antiincrustante adecuado y optimo a dosificar en el proceso strip el Nalco 9714, permite minimizar el contenido de carbonatos en el carbón y hacerlo más eficiente para el posterior proceso de adsorción.

Ccahuana (2005), en su tesis “*Remoción de los carbonatos y control de incrustaciones en una planta de carbón activado para la recuperación del oro*” sustentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, cuyo objetivo, optimizar la etapa de lavado de ácido para la remoción de carbonatos y al control de la formación de las incrustaciones. Para tal efecto se realizaron pruebas a nivel laboratorio y posteriormente en planta. Los resultados de sus pruebas, llevaron a optimizar la concentración de HCl a 3.7%, con una adición de antiincrustantes de 3 ppm en la etapa de adsorción y 30 ppm en la etapa de desorción. Concluyendo que el efecto del antiincrustante tiene la característica de inhibir, neutralizar y remover los carbonatos del carbón activado.

Carhuamaca Rojas & Cristobal Cárdenas (2013), en su tesis “*Recuperación del oro mediante la pre-aireación en los concentrados de oro pirítico en la empresa Analytica*

*Mineral Services S.A.C – Chala-Arequipa*” sustentado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, tuvo como objetivo, optimizar la recuperación de oro mediante pruebas de cianuración por agitación. Fueron 8 los trabajos experimentales que desarrollaron, determinando la influencia de las variables independientes que son; la aireación en la cianuración como el oxígeno, el pH de pulpa y el tiempo de cianuración. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: Tomando los valores aceptables del proceso de las pruebas de cianuración por agitación de tiempo de cianuración de 55 horas, pH de la pulpa de 10.5, la aireación en la pulpa como oxígeno 12.6 psi se obtuvo una recuperación de 88.03% de oro.

## **2.2 Definición de términos básicos**

**Minerales oxidados:** En un mineral oxidado, posiblemente en un área atípica de los reservorios de sulfuros primarios, y para que requieren algún tipo de procesamiento especial. O oxidación y otros procesos de alteración hidrotermal conducen a rotura de la estructura de la roca, provocando un aumento en permeabilidad (Cubas Villegas, 2019)

**Mineral Sulfurado:** Son minerales que están acompañados con elementos de azufre y elementos metálicos como el cobre, hierro, plomo y zinc, entre otros metales. Minerales sulfurados más conocidos son calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covelina ( $\text{CuS}$ ) y enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) (Cubas Villegas, 2019).

**Conminución:** Es la reducción de tamaño de trozos grandes a fragmentos pequeños. La conminución se lleva a cabo en dos etapas relacionados, pero separados, los cuales son el chancado y la molienda.

**Granulometría:** Deberá evaluarse el tamaño adecuado, de manera que no contenga un exceso de gruesos ni un exceso de finos. En dicha práctica se mantiene la recirculación de

las partículas de oro más pesadas a la molienda, hasta obtener un tamaño adecuado para rebozar el clasificador en el circuito de cianuración (Cubas Villegas, 2019).

**Lixiviación:** Es un proceso por el cual se extrae un soluto de un sólido, mediante la utilización de una solución lixivante. Ambas fases entran en un contacto directo donde el soluto puede difundirse desde un sólido a una fase líquida (Cubas Villegas, 2019).

**Cianuración:** Es un proceso de disolución selectiva, por el cual se logra el metal valioso desde un mineral sólido.

**Cianuro de sodio:** El cianuro de sodio (NaCN) es una sal sódica del ácido cianhídrico (HCN). Es un compuesto sólido e incoloro que se hidroliza de manera fácil en presencia de agua y óxido de carbono (IV) para dar carbonato de sodio y ácido cianhídrico (Cubas Villegas, 2019).

**Carbón en lixiviación (CIL):** El carbón se añade a la pulpa que está en proceso de lixiviación y se remueve el carbón por medio de cedazos después de que se ha absorbido el oro y la plata.

**Carbón en pulpa (CIP):** Consiste en recuperar el oro y la plata disueltos en la pulpa por medio de la adsorción de estos metales en el carbón activado después de realizado el proceso de lixiviación.

**Carbón en columna (CIC):** Durante este proceso la solución lixiviada de cianuro pasa a través de columnas llenas de carbón, es sumamente eficaz para extraer el oro de la solución cianurada de baja graduación.

**Adsorción:** Es la adhesión que se da de un finísimo estrato de moléculas, líquidas o gaseosas, a la superficie de sólidos (como el carbón activo) con los que entran en contacto.

**Alcalinidad:** Es la capacidad del agua para aceptar protones ( $H^+$ ), es por lo tanto la capacidad de neutralizar los ácidos; se caracteriza por la presencia natural de los iones carbonatos  $CO_3^{-2}$ , bicarbonatos  $HCO_3^{-}$  e hidróxidos  $OH^-$ .

**Área superficial:** Es la cantidad de nivel superficial referida al conjunto de los poros del carbón. Se determina en base a una isoterma de adsorción, en base al método de Brunauer, Emmett y Teller (BET). Se expresa en  $m^2/g$ .

**Carbón Activo:** Es un tipo de carbón que ha sido "activado" en altas temperaturas mediante calentamiento por vapor de agua y anhídrido carbónico o agentes deshidratantes, lo que le da una estructura porosa interna muy desarrollada. El área superficial de un carbón activo es del orden de los  $1000 m^2/g$ .

**Densidad aparente:** Es la relación que existe entre el volumen y el peso de una masa homogénea de carbón activo.

**Densidad real:** Se refiere a la densidad del esqueleto de una partícula de carbón. Queda determinada por desplazamiento de volúmenes de aire, en el interior de la estructura porosa, con helio o con mercurio. Generalmente es aproximado a la del grafito.

**Desorción:** Es lo opuesto a la adsorción. Se trata de un fenómeno donde las moléculas adsorbidas abandonan la superficie del material adsorbe

**Dureza:** Es la medida de la resistencia del carbón granulado ante la acción degradante obtenida con esferas de acero en un molino de tambor rotante. Se halla pesando la cantidad de carbón atrapada en la malla de un determinado cedazo tras haber pulverizado el carbón. Es expresado en porcentaje en masa respecto de la cantidad inicial.

**Índice de Langelier:** Es la medida del grado de saturación del carbonato de calcio en el agua, basado en el pH, alcalinidad y dureza. Tener en cuenta que, si el índice de Langelier

es positivo, el carbonato de calcio puede precipitarse de una solución y formar las incrustaciones.

**Índice de Ryznar:** Es similar al índice de Langelier, basado en los mismos parámetros. En caso el índice de Ryznar tenga un valor de 6,0 o menor, el agua tendrá una tendencia incrustante, con un índice de 7,0 la incrustación no ocurre. Cuando el valor aumenta a valores mayores de 7,5 a 8,5; se incrementa el problema de la corrosión.

## **2.3 Bases Teóricas**

### **2.3.1 Oro**

El oro es uno de los metales nobles de mejores características y uso más extendido. Esto es debido a sus propiedades singulares. Su inalterabilidad en diversos ambientes ha hecho del oro un metal muy apreciado; sirvió pronto como referencia de cambio comercial siendo el soporte económico de las distintas monedas por lo que se almacena en grandes cantidades en los diversos bancos nacionales (Antonio Ballester, 2000).

#### **2.3.1.1 Propiedades físicas**

El oro se encuentra en la naturaleza en una proporción muy baja. Es un característico metal amarillo, blando, muy dúctil y maleable, ya que se puede reducir a hojas de hasta una diezmilésima de milímetro grueso (pan de oro); en la escala de dureza de Mohs está entre 2,5 y 3 y tiene un peso específico de  $19,3 \text{ gr / cm}^3$ . (Zevallos Vizcarra, 2014).

**Tabla 1***Propiedades físicas de oro.*

Propiedad	Unidad	Valor
Numero atómico		79
Peso atómico		197.2
Densidad a 20 °C	g.cm <sup>-3</sup>	19.32
Punto de fusión	°C	1064.4
Punto de ebullición	°C	2808.0
Electronegatividad	eV	2.54

*Nota:* Recopilado y adaptado de Metalúrgia extractiva (pag.15), por Antonio Ballester, 2000

### **2.3.1.2 Propiedades químicas**

El oro se encuentra situado en el grupo IB del sistema Periódico con la configuración electrónica 4f<sup>14</sup> 5d<sup>10</sup> 6s<sup>1</sup>. Actúa con la valencia +1 y, menos, con la +3. Su potencial normal de reducción, a 25°C, es 1.50 V.

Es el menos electronegativo de todos los metales debido a la gran estabilidad del único electrón periférico de su átomo. El electrón está ligado al núcleo resultando de ello una tendencia muy marcada al estado metálico y una débil reactividad. No se encuentra en forma de compuestos iónicos; el enlace es siempre covalente. (Antonio Ballester, Luis Felipe Verdeja, José Sancho , 2000).

### **2.3.2 Hidrometalurgia**

La hidrometalurgia es una rama que estudia la metalurgia, tiene como principal campo de estudio la extracción y recuperación de metales presentes en los diferentes minerales que se disuelven en forma de iones en solución acuosa, estos se obtienen utilizando reactivos químicos en soluciones acuosas. “Por hidrometalurgia se comprende la lixiviación

selectiva (disolución) de componentes valiosos del mineral y su posterior recuperación de la solución por diferentes métodos”. (Zaldaña Bermúdez & Zavaleta Domínguez, 2016).

En las investigaciones se determina que existen tres etapas principales en procesos hidrometalúrgicos y estas son:

- Se debe diluir el componente metálico que está presente en la fase sólida.
- Se debe de concentrar y purificar la solución rica obtenida con contenido metálico.
- Se debe realizar la precipitación del contenido metálico o sus compuestos.

### 2.3.3 *Cianuración*

La cianuración es un proceso hidrometalúrgico que consiste en la extracción de oro a partir de los minerales auríferos, eso ocurre debido a que el oro presenta una de las propiedades químicas que es soluble en soluciones diluidas de cianuro. El proceso de cianuración se basa en que las soluciones de KCN o NaCN tienen una disolución preferencial por las partículas de oro y plata. (Cari Sirena, 2018).

La disolución de oro en soluciones aireadas de cianuro y el papel del oxígeno en el mecanismo de la reacción fue investigado por Elsner.



Para que esta lixiviación se produzca, la solución lixivante debe contener tres componentes químicos esenciales, estos son:

1. El ion cianuro (CN<sup>-</sup>).
2. El oxígeno disuelto en la solución (O<sub>2</sub>).
3. El ion Hidroxilo (OH<sup>-</sup>).

Los dos primeros reactantes químicos que disuelven a los metales preciosos y el último es un componente esencial que le da un carácter alcalino a la solución, permitiendo el

accionar químico del ión cianuro en forma más eficiente, menos riesgosa y una operación económica.

### **2.3.4 Fundamentos fisicoquímicos de la cianuración del oro**

#### **2.3.4.1 Química de la cianuración**

El proceso de cianuración para extraer oro y plata a partir de sus menas, fue desarrollado por J. S. MacArthur, R.V. Forrest y W. Forrest.



Esta ecuación fue primeramente propuesta por Elsner.

La otra reacción sugerida es por Janin.



Termodinámicamente no es aceptable esta reacción, durante la cianuración no hay producción de  $H_2$  lo que confirma la validez de la ecuación propuesta por Elsner, donde el  $O_2$  juega un rol importante.

#### **2.3.4.2 Cinética de la cianuración del oro**

El proceso de dilución de oro y plata en soluciones cianuradas abarca reacciones heterogéneas en la interfase sólido – líquido. La velocidad de dilución del oro, es inspeccionada por la difusión del oxígeno disuelto hacía la partícula de oro. Por lo tanto, las condiciones que consciente acelerar o catalizar la reacción de disminución del oxígeno disuelto sobre el oro, estos son: agitación, temperatura, pH, etc., son bastante convenientes para la disolución del oro presente en el mineral. Si las reacciones que ocurren en la cianuración, la difusión es muy lenta, entonces se debe aumentar la agitación para acelerar dicha reacción y si la agitación no logra acelerar, entonces se debe aumentar la temperatura.

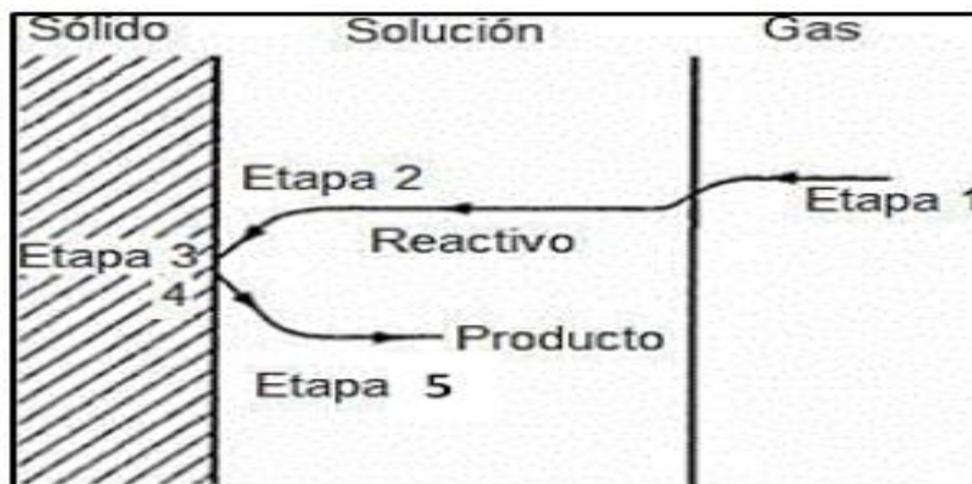
Una reacción física - química en la cual se hayan involucradas una fase sólida y otra líquida ocurre de las siguientes etapas.

- ✓ Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólido - líquido.
- ✓ Absorción de los reactantes en la superficie del sólido.
- ✓ Reacción en la superficie.
- ✓ La desorción de los productos de una reacción de la superficie del sólido.
- ✓ Difusión de estos productos de la interfase sólido - líquido a la solución.

Reacciones heterogéneas son observadas por la cinética inerte de la reacción química o por la velocidad de transporte de masa de la especie reactiva individual. Un modelo de reacción simple se puede observar en la siguiente figura 1. La reacción fisicoquímica donde interactúan la fase gaseosa, líquida y sólida, se puede describir en 5 etapas. Etapa 1 la fase gaseosa ingresa a la solución, etapa 2 el reactivo se difunde a través de la solución con dirección a la interfase sólida, etapa 3 el reactivo llega a la interfase sólida e interactúa, etapa 4 el producto formado a partir de la reacción en la superficie sólida se difunde nuevamente a la interfase líquida.

**Figura 1**

*Representación esquemática de las etapas en una reacción química.*



**Nota:** Recopilada de Estudio del uso de nitrato de plomo para optimizar la recuperación de oro en el proceso de cianuración, de Bustinza Rivera, 2019.

La cianuración está dirigida por la ley de FICK:

$$\frac{D(O_2)}{dt} = D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} ([O_2] - [O_2]_s) \dots \dots \dots (Ec. 4)$$

$$\frac{D(CN^-)}{dt} = D_{CN} \frac{A_2}{\delta} ([CN^-] - [CN^-]_s) \dots \dots \dots (Ec. 5)$$

Donde:

$\frac{D(O_2)}{dt}$  y  $\frac{D(CN^-)}{dt}$ : Son velocidades de difusión de  $O_2$  y  $CN^-$  en mol/s

$D_{O_2}$  y  $D_{CN}$ : Son coeficientes de difusión en  $cm^2/s$

$A_1$  y  $A_2$ : Superficies de ánodo y cátodo

$\delta$ : Ancho de la capa límite de Nerts, en cm

$[O_2]$  y  $[CN^-]$ : Concentraciones de oxígeno y cianuro en solución.

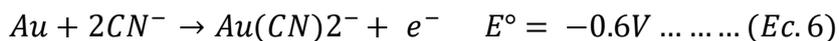
$[O_2]_s$  y  $[CN^-]_s$ : Concentración sobre la superficie de la reacción.

### **2.3.4.3 Termodinámica de la cianuración del oro**

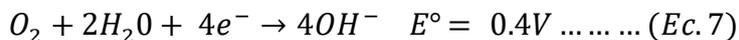
En los procesos hidrometalúrgicos del agua es importante conocer el comportamiento termodinámico, para su interpretación en diagrama de Pourbaix o Eh-pH, estos diagramas describen los equilibrios que se presentan en un sistema de corrosión metálico.

En la cianuración resultan dos reacciones electroquímicas que se producen al mismo tiempo como podemos apreciar en la Figura 2.

Las reacciones de oxidación de oro en la solución con cianuro y estos se producen en un sitio anódico con polaridad negativa.

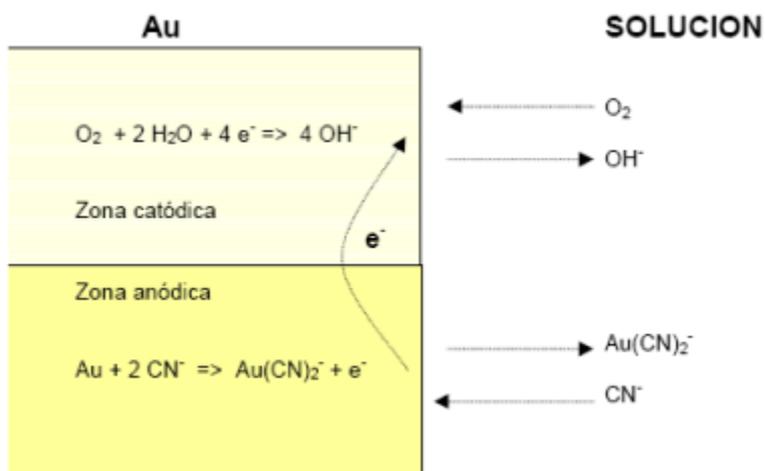


Las reacciones de reducción de oxígeno disueltos en la solución y se producen en un sitio catódico con polaridad positiva.



## Figura 2

*Reacciones Electroquímicas de oxidación en la cianuración.*



**Nota:** Recopilada de Determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados, por Chavez Florez, 2014.

De la Figura 2, podemos deducir que las mejores condiciones termodinámicas para disolver el oro son:

- Presión parcial de oxígeno elevada.
- Concentración de cianuro elevada.
- Concentración de iones  $\text{OH}^-$  baja (pH moderadamente alcalino).

La termodinámica en la hidrometalurgia es bastante importante generalmente en los sistemas de soluciones acuosas. Es por ello que el análisis del comportamiento se hace mediante el uso del diagrama de Pourbaix (Eh-pH).

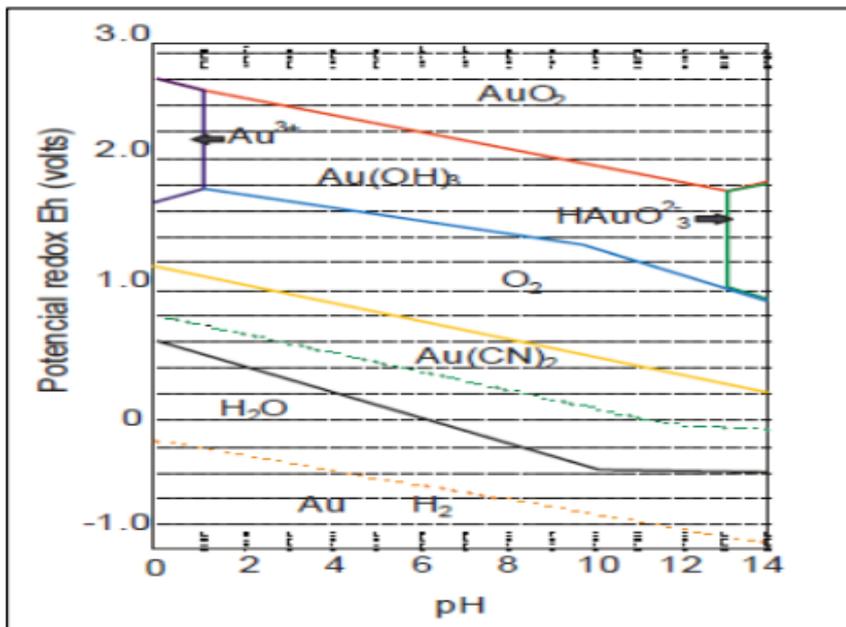
El diagrama de Pourbaix, es una representación gráfica del potencial (ordenada) en función del pH (abscisa) para un metal dado bajo condiciones termodinámicas estándar generalmente a 25°C. El diagrama tiene en cuenta los equilibrios químicos y electroquímicos y define el dominio de estabilidad para el electrólito (normalmente agua), el metal y los compuestos relacionados, dentro de ello podemos mencionar algunas, por ejemplo, óxidos, hidróxidos e hidruros.

En el diagrama  $Au - H_2O - CN^-$ , la reacción:  $Au(CN)_2^- + e^- = Au + 2CN^-$ , se da en la zona de la estabilidad del agua. Además, la zona donde se va ubicar el complejo aurocianuro tiene una delimitación por una recta que con una cierta pendiente (pH menor a 9), luego con una recta casi horizontal (pH mayor a 9) en la zona básica (Misari Chuquipoma, 2010).

Con respecto a la figura 3 el diagrama de Pourbaix presenta la estabilidad del oro, se entiende de la siguiente manera.  $O_2$  oxidación del agua en oxígeno establece altos potenciales,  $Au(CN)_2^-$  es la zona de lixiviación óptima en el proceso de cianuración complejo soluble que contiene oro en solución,  $H_2O$  reducción del agua se descompone en oxígeno e hidrógeno, se concluye del diagrama de estabilidad se confirma que la cianuración del oro es efectiva en medios alcalinos y un control adecuado del potencial electroquímico.

**Figura 3**

Diagrama de estabilidad potencial pH para el sistema  $Au-H_2O-CN^-$ .



*Nota:* Recopilada de Metalúrgia del Oro, de Misari Chuquipoma, 2010.

### 2.3.5 Lixiviación por agitación

La lixiviación por agitación se trabaja en los minerales de leyes más altas, cuando los minerales generan un alto contenido de finos en la etapa de molienda, o cuando el mineral deseado está bien diseminado que es necesario desintegrar para liberar sus valores y exponerlos a la solución lixivante.

La lixiviación por agitación mediante burbujeo o bien a la agitación mecánica para mantener la pulpa en suspensión hasta lograr una disolución completa.

Ventajas comparativas con otros métodos de lixiviación son:

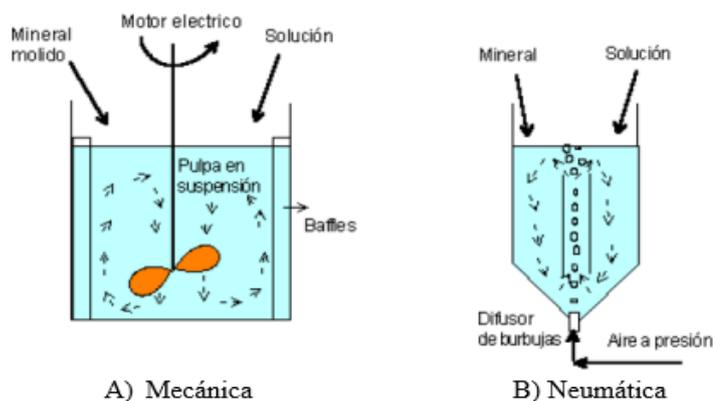
- Alta extracción del elemento a recuperar.
- Tiempos cortos de procesamiento (horas).
- Proceso continuo que permite una gran automatización.
- Facilidad para tratar menas alteradas o generadoras de finos.

Desventajas son:

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

**Figura 4**

*Lixiviación por agitación.*



**Nota:** Recopilada de Electro lixiviación de oro utilizando tiosulfato de sodio como lixivante, por Karla Dayanna Torres Araujo (pág. 6-7), 2018.

### 2.3.6 Variables de la lixiviación por agitación

#### 2.3.6.1 Granulometría

El tamaño de partícula es una de las variables muy importantes porque nos va a permitir a conocer el rango óptimo del mineral al que se va someter al proceso. Generalmente cuando el oro es libre y grueso se aplican los métodos gravimétricos para su recuperación, y si en el caso estas partículas gruesas se someten a procesos de cianuración demoraría mucho en disolverse y peor aún si es acompañado con contenidos de plata.

Si los minerales de oro se encuentran en estado libre y grueso, el método más práctico y usual es aplicar la concentración gravimétrica para recuperarlo, previo a la cianuración ya que estos no se disuelven completamente en el tiempo disponible para llevar a cabo el

proceso de disolución. El oro en su mayor parte es acompañado con plata, entonces con el mismo espesor mencionado anteriormente demorara el doble del tiempo en disolverse (TECSUP, 2009).

**Tabla 2**

*La granulometría respecto al porcentaje de extracción de oro.*

Tiempo de cianuración	Temperatura (°C)	Granulometría (en un 80% pasante Malla N°)	Porcentaje de extracción de Au (%)
2 días	85	200	96.00
2 días	60	200	84.00
2 días	50	200	69.66
2 días	70	200	70.62

**Nota:** Recopilado de Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina ( $\text{Na}_2\text{S}$  y  $\text{NaOH}$ ) de un mineral refractario con contenido de arsénico procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración, por Zaldaña Bermúdez & Zavaleta Domínguez (pág.17), 2016.

### **2.3.6.2 Concentración de oxígeno**

El oxígeno es otra de las variables que juega un papel muy importante en el proceso de cianuración, es muy necesario para la disolución del oro y la plata. A mayor concentración de oxígeno mayor es la velocidad de disolución. La principal fuente para su obtención es el aire atmosférico. Con respecto a las bases teóricas la concentración de oxígeno en la solución lixivante oscila entre 4 a 10 ppm de  $\text{O}_2$ .

En todo proceso de cianuración la velocidad de transferencia de masa del oxígeno va disminuyendo a medida que se incrementa la densidad de la pulpa, en esta circunstancia no se logra disolver el oro del mineral, y será de mucha importancia controlar la densidad de pulpa.

El oxígeno es difícil de controlar debido a su escasa solubilidad en agua bajo condiciones atmosféricas, a nivel del mar y 298,15 °K (25 ° C) (Ramírez Moreno & Sánchez Bustamante, 2016).

#### ***2.3.6.3 Densidad de pulpa***

La pulpa es la mezcla constituida por sólidos de una granulometría casi uniforme y otra constituida por un líquido, generalmente el agua. Tiene características propias tales como gravedad específica, peso y volumen (Ramírez Moreno & Sánchez Bustamante, 2016).

El porcentaje de sólidos por lo general deben estar comprendidos entre 30 y 60 %. A bajos porcentajes de sólidos existe mayor cantidad de soluciones en contacto con la partícula mineral y se obtiene una disolución mayor, sin embargo, aumenta el consumo de cianuro (Flores Rada, 1992).

#### ***2.3.6.4 Concentración de cianuro***

La velocidad de disolución de oro aumenta linealmente con el aumento de cianuro hasta un cierto límite más allá del cual un aumento adicional cianuro tiene un efecto más bien retardante en la disolución de oro (Ramírez Moreno & Sánchez Bustamante, 2016).

La disminución de oro a concentraciones altas de cianuro se debe al aumento de pH de la solución producida por la hidrólisis del cianuro, la concentración de cianuro apropiada para disolver porcentajes elevados de oro, depende de la naturaleza mineralógica del material a ser tratado (Flores Rada, 1992).

En las operaciones de minería del oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0,01% y 0,05 % de cianuro (100 a 500 partes por millón) (Logsdon, Hagelstein, & Mudder, 2001).

### **2.3.6.5 Tiempo de lixiviación**

El tiempo influye mucho y depende de diferentes factores como la composición mineralógica, tamaño de las partículas de oro y plata, grado de liberación, fuerza de cianuro en la solución y la temperatura del ambiente. (Armijos Toledo, 2011).

Se debe tener en cuenta que mientras más largo sea el tiempo de lixiviación requerido para alcanzar una recuperación deseada de una mena de oro, mayor será la capacidad requerida de los tanques de lixiviación, y, por tanto, mayor el costo de capital de la planta. En la práctica, se encuentra que el tiempo de residencia en plantas de oro, varía en un amplio rango (10 a 72 horas) (Ramírez Moreno & Sánchez Bustamante, 2016).

### **2.3.6.6 Alcalinidad**

Se opera en un medio alcalino para evitar la hidrólisis del cianuro, evitar pérdidas de cianuro por contacto con el CO<sub>2</sub> de la atmosfera, neutralizar los compuestos ácidos de las sales ferrosas y férricas, neutralizar así mismo la acción acida de cualquier sal que se forme por descomposición de los minerales, para ayudar al asentamiento de las partículas y mejorar la extracción de teluros, plata, rubí, y otros componentes difíciles de disolver de los metales preciosos (Santacruz Márquez, 2019).

El pH varía entre 10 a 12 como rango óptimo para disoluciones de minerales auríferos. (Armijos Toledo, 2011)

### **2.3.7 Proceso CIL (carbón en lixiviación)**

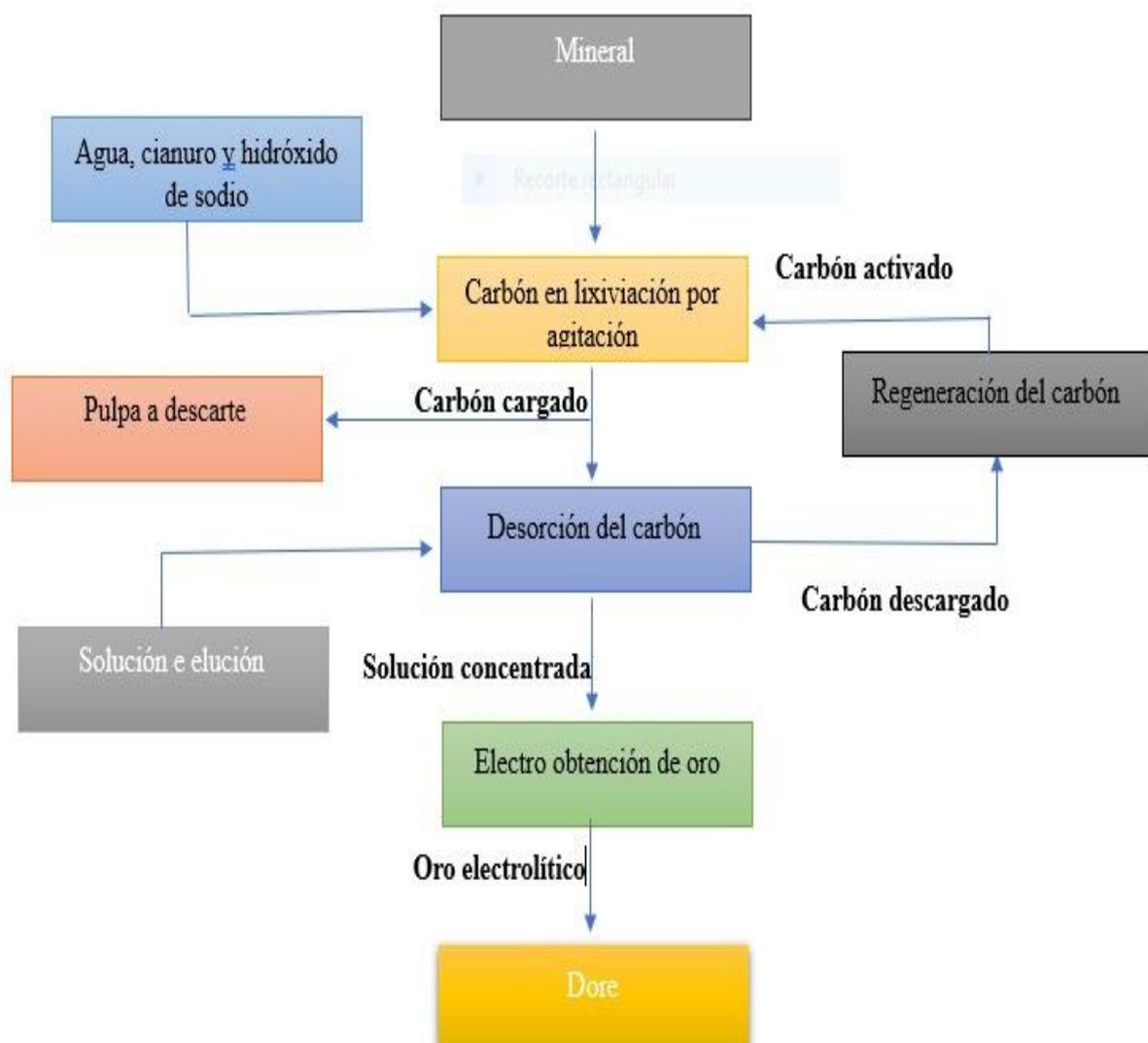
Según (Espí, 2001) “Es una modificación del proceso CIP. En este caso, el carbón se agrega conjuntamente con el cianuro a los tanques agitados donde se realiza la cianuración, de esta forma a medida que el oro se disuelve y pasa a la solución, es capturado por el carbón. Este método es altamente ventajoso y aconsejable, para los casos en que existe la presencia de minerales carbonáceos o arcillosos, que compiten con el carbón activo por el oro disuelto”.

Las fases típicas involucradas en un proceso CIL se pueden definir de la siguiente manera:

- ✓ Adición de carbón activado juntamente con la pulpa de lixiviación, cianuración y adsorción de oro por 24 horas.
- ✓ Separación de carbón cargado por tamizado.
- ✓ Carbón cargado para el proceso de elusión.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo del proceso CIL*



**Nota:** Elaboración propia

### 2.3.8 *Carbón activado*

El carbón activado es un tipo de carbón poroso que tiende a atrapar compuestos, principalmente orgánicos, que se encuentran presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con gran efectividad y es considerado como un purificante más utilizado por el ser humano.

Las partículas de carbón poseen demasiada capacidad de adsorber. Es por eso que muchas personas colocan carbón de leña en el refrigerador para eliminar los malos olores. Algo similar ocurre cuando se coloca carbón en un recipiente con agua, ya que elimina el color, sabor y olor. También es utilizado en el campo, donde las personas queman tortilla y la ingieren para aliviarse de diferentes problemas digestivos.

La activación de un carbón consiste en hacerle poroso para poder ampliar su capacidad de adsorción. Tener en cuenta que un gramo de carbón de leña, llega a tener un área superficial de alrededor de 50 m<sup>2</sup>. Con la activación, ésta llega a 600 u 15000 m<sup>2</sup>. Es decir, aumenta entre 12 y 30 veces.

Las materias primas con mayor uso para fabricar carbón activado son las maderas poco duras (por ejemplo: la de pino), también los carbones minerales (como por ejemplo los ligníticos, bituminosos y de antracita) y las cáscaras o huesos de los vegetales (como por ejemplo la concha de coco, el hueso de aceituna o de durazno y la cáscara de nuez).

En la actualidad el carbón activado es usado a menudo en la industria minera para la recuperación de oro de las soluciones de lixiviación con cianuro. También es utilizado para recuperar oro de otros tipos de soluciones, como la recuperación de oro refractario. Por ser un material poroso adsorbe iones metálicos y ácido. Cuando es expuesto a contaminantes, los atrae como si fuera un imán, haciendo que aumente su concentración dentro de los poros y eliminándolos de manera eficaz de la solución (este proceso es conocido como “adsorción”).

### **2.3.8.1 Adsorción**

Es un proceso donde los átomos que se encuentran en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción se conocen como las "Fuerzas de Van Der Waals". Es por eso que al ser un fenómeno que ocurre en la superficie, cuando mayor sea el área superficial disponible de un sólido, mucho mejor adsorbente será.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso, donde todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal tienen la capacidad de atraer moléculas de compuestos que causen color, olor o sabor no deseables. La diferencia que existe con un carbón activado está en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. Por lo tanto, la activación de cualquier carbón se basa en "multiplicar" el área superficial creando así una estructura porosa.

### **2.3.9 Antiincrustante**

Los antiincrustantes son compuestos químicos que cuentan con una superficie activa que interfiere a los cationes y hacen que las sales disueltas en el agua se cristalicen, evitando así que se depositen en las superficies. Están constituidas de polímeros, y son empleadas en la industria para prevenir incrustaciones generadas principalmente por  $\text{CaCO}_3$ .

#### **2.3.9.1 KURITA T-2420**

##### **Aplicaciones**

Es un producto inhibidor de incrustaciones específico para sales de calcio. Está compuesto por un dispersante específico para aguas alcalinas y/o aguas con alta dureza cálcica, pudiendo operar incluso con valores elevados del Índice de Langelier.

Es un producto a base de polímeros sintéticos de alto rendimiento que se puede utilizar junto con productos inhibidores de corrosión para las más diversas metalurgias.

Se puede utilizar junto con biocidas oxidantes y/o no oxidantes para controlar el potencial microbiológico.

### **Descripción general**

KURITA T-2420 es un producto líquido a base de polímero de ácido maleico.

### **Propiedades típicas**

- Apariencia: líquido ámbar claro
- pH (sol. 1%): 7,6 +/- 0,5
- Densidad: 1,09 +/- 0,05 g/cm<sup>3</sup>

### **Mecanismos de acción**

El rendimiento del producto KURITA T-2420 se basa en la dispersión del calcio y la distorsión de los cristales ya formados, evitando así la formación de depósitos en las superficies de intercambio térmico.

De esta forma es posible reducir la frecuencia de limpieza, maximizar el rendimiento de los intercambiadores de calor y prevenir la aparición de corrosión bajo depósito.

### **Dosis**

La dosificación a aplicar depende de una serie de factores, principalmente la calidad fisicoquímica del agua a tratar (pH, alcalinidad, salinidad, dureza), temperatura máxima de operación, tiempo de operación continuo esperado, entre otros. De esta forma, la dosificación de KURITA T-2420 debe ser definida con el soporte técnico del KURITA responsable del tratamiento.

Generalmente, la dosificación de este producto puede variar de 4 a 20 ppm.

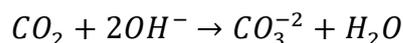
### **Uso**

Debe ser preferentemente aplicado puro, en un punto que garantice una rápida homogenización del mismo en el agua.

### **2.3.10 Factores que afectan a la formación de incrustaciones**

#### **2.3.10.1 pH**

Debido a los altos valores de pH, ayuda al incremento de los niveles de dióxido de carbono, disminuya la solubilidad del carbonato de calcio, y fuerzan el equilibrio hacia la formación de los iones carbonato. La disolución de CO<sub>2</sub> en aguas de alto pH esta dado por la siguiente reacción química:



#### **2.3.10.2 Temperatura**

Las altas temperaturas originan la precipitación del carbonato de calcio y por consiguiente la formación de incrustaciones. Esto debido a la relación inversa que hay entre la temperatura y solubilidad.

#### **2.3.10.3 Turbulencia**

Áreas de alta turbulencia causan nucleación, crecimiento acelerado de cristales y posterior formación de incrustaciones. En lo que concierne a la planta de carbón el flujo de la solución cianurada es laminar. Raras veces veremos un flujo turbulento consecuencia de la inestabilidad del régimen laminar debido a perturbaciones de causas externas al movimiento del fluido como efectos térmicos con variaciones de densidad.

#### **2.3.10.4 Caídas de presión**

En una rápida caída de presión se desestabiliza el sistema acuoso, ocasionando un proceso de nucleación, crecimiento de cristales y luego incrustación.

#### **2.3.10.5 Aireación**

La aireación de sistemas acuosos hace que aumente el potencial de la formación de incrustaciones, esto debido al incremento del dióxido de carbono y posteriormente la formación de carbonato.

### **2.3.10.6 Mezcla de Aguas**

Las mezclas de aguas pueden proporcionar un adicional de calcio o carbonato en el medio u otras especies, cuyo resultado puede condicionar la inestabilidad en agua y por consiguiente la formación de incrustaciones.

## **2.3.11 Consecuencias de las incrustaciones**

### **2.3.11.1 Baja en la producción**

Reducción de flujos debido al incrustamiento de bombas, líneas, intercambiadores de calor.

### **2.3.11.2 Costos por parada de proceso**

Las líneas que han sido bloqueadas o parcialmente bloqueadas deben ser objeto de paradas no previstas, que estará supeditada al tiempo que demande limpiar o reemplazar líneas.

### **2.3.11.3 Reducción en la recuperación del oro**

El ensuciamiento del carbón activado afecta la eficiencia de adsorción del oro.

### **2.3.11.4 Daño de equipos**

En una planta de carbón básicamente pueden dañar las partes de una bomba y los intercambiadores de calor.

### **2.3.11.5 Altos costos de mantenimiento**

- Reemplazo, reparación y limpieza de líneas, bombas, etc.
- Más regeneración del carbón.

## **2.3.12 Índice de Langelier**

El índice de Langelier o índice de saturación de Langelier (ISL) se establece para una temperatura determinada y mide el estado de equilibrio del agua en relación con su carácter incrustante o corrosivo. Se define teóricamente como:

$$ISL = pH - pH_s$$

En donde pH es el valor que tiene dicha agua y  $pH_s$  es el valor del pH al que tendría en la saturación.

El Índice de saturación de Langelier cuando es cero, corresponde a un agua equilibrada. Un valor positivo corresponde a un agua incrustante (provocando las incrustaciones de minerales insolubles) y uno negativo corresponde a un agua corrosiva. Se debe tener en cuenta que mientras el valor se aleja más de cero, mayor es la tendencia.

Es casi imposible tener un agua con un Índice de Langelier de cero. Puede considerarse que el agua es equilibrada cuando su valor está entre -0.3 y +0.3.

**Tabla 3**

*Valores del índice de saturación de Langelier.*

Valor del índice de saturación de Langelier	Tendencia del agua
+0.3 a +2.0	Incrustación alta.
0.0 a +0.3	Incrustación ligera con corrosión.
0.0	Equilibrada. Puede ocurrir corrosión ligera.
0.0 a -0.3	Corrosión ligera. No se forman incrustaciones.
-0.3 a -2.0	Corrosión alta.

**Nota:** Recopilado de la tendencia incrustante, corrosiva o equilibrada de un agua, y el índice de saturación de Langelier, por Centro de aprendizaje-química del agua, 2023.

Para poder calcular el valor de LSI se calcula de manera experimental en el laboratorio, pero se puede realizar una aproximación aplicando la siguiente fórmula:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \dots \dots \dots (Ec. 9)$$

Donde:

$$A = \frac{1}{10} (\log[TDS] - 1) \quad ; \quad TDS = \text{mg/l de sólidos disueltos.}$$

$$B = -13.12 \cdot \log(T(^{\circ}C) - 273) + 34.55 \quad ; \quad T = \text{La temperatura en } ^{\circ}C$$

$$C = \log[TH] - 0.4 \quad ; \quad TH = \text{La dureza expresada en mg/l de CaCO}_3$$

$$D = \log[TAC] \quad ; \quad TAC = \text{La alcalinidad en mg/l de CaCO}_3$$

### 2.3.13 Índice de Ryznar (RSI)

También llamado como el índice de estabilidad de Ryznar, es una herramienta que se utiliza para predecir la probabilidad de que se formen incrustaciones de carbonato de calcio en una muestra de agua dada. John Ryznar fue quien lo creó en el año 1940, esto con el fin de proporcionar a la comunidad científica un predictor más preciso de la incrustación de carbonato de calcio.

Cabe mencionar que el índice de Ryznar se basa libremente en el índice de saturación de Langelier que se creó en la década de 1930.

El índice de Ryznar es logarítmico, similar a otros índices que se utilizan para calcular la formación de carbonato de calcio. La zona "neutra" del índice de Ryznar está aproximadamente alrededor del valor numérico 6. Por lo general, cualquier valor por sea más de 6 indica que es probable que el agua forme incrustaciones de carbonato de calcio. Un valor menor que el número 6 indica que el agua disolverá las formaciones de carbonato de calcio y se puede calcular de la siguiente manera:

$$RSI = 2 \times pH_s - pH \quad \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

Dónde:

$pH_s$  = el pH de saturación

## CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 *Hipótesis general*

Se optimizó la recuperación de oro utilizando el antiincrustante por el proceso CIL para el tratamiento del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C-Arequipa.

#### 3.1.2 *Hipótesis Específicas*

HE1: Con una concentración adecuada de cianuro se logró optimizar la recuperación de oro.

HE2: Una cantidad óptima de concentración del antiincrustante influyó significativamente la recuperación de oro.

HE3: Se definió la capacidad máxima de adsorción de carbón activado en la recuperación de oro.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 *Identificación de variables:*

##### 3.2.1.1 *Variable dependiente*

- Recuperación de oro (%)

##### 3.2.1.2 *Variable independiente*

- Concentración de Cianuro (ppm)
- Concentración de Antiincrustante (ppm)
- Capacidad de adsorción del carbón activado (gr/mL)

### ***3.2.1.3 Variables intervinientes***

- Granulometría (-200M)
- Tiempo (Hr)
- Velocidad de agitación (rpm)
- pH (numérica)

### 3.2.2 Operacionalización de variables

<b>Variable dependiente</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
Optimización de la recuperación de oro	Consiste en un conjunto de acciones, con la finalidad de mejorar el rendimiento de un proceso para obtener oro, sin alterar condiciones técnicas.	Mejorar el rendimiento de operación manipulando variables a nivel de laboratorio para demostrar la recuperación de entre 87 a 90% respecto a la base que es de 80%.	Contenido de oro recuperado	Porcentaje de recuperación de oro	%	Balanza de precisión respecto al balance de materia.
<b>Variables Independientes</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
- Concentración de cianuro	Es la fuerza de concentración de cianuro que ayuda a la reacción química para recuperar oro.	Mediante análisis volumétrico se halla los gramos por litro necesarios de cianuro.	Cantidad en porcentaje del peso de cianuro	En partes por millón	ppm	Balanza de precisión y análisis volumétrico
- Concentración del antiincrustante	Es la cantidad de reactivo en gramos por unidad de volumen de antiincrustante cuya finalidad es ayudar a atrapar el oro.	Mediante análisis volumétrico se halla los mililitros de antiincrustante necesarios para recuperar oro.	Cantidad en porcentaje del peso del antiincrustante	En partes por millón	ppm	Balanza de precisión y análisis volumétrico
- Capacidad de adsorción de carbón activado	Es la adhesión que se da de un finísimo estrato de moléculas líquidas rico en oro y plata al carbón activado.	Determinar el peso o masa de oro en una balanza de precisión por gramo de carbón activado.	Cantidad de oro recuperado	En gramos por mililitros	gr/mL	Balanza de precisión y Análisis por absorción atómica.
<b>Variables intervinientes</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
- Granulometría	Tamaño de mineral liberado del conglomerado.	Determinar el tamaño de grano con un juego de tamices.	Número de partículas por unidad de área	micrones	µm	Tamices Tyler
- Velocidad de agitación	Es el número de revoluciones por minuto de lixiviación.	Determinar la velocidad de giro del agitador.	Número de revoluciones por minuto	rpm	rpm	Cronómetro y número de giros
- pH	Fluido compuesto por una suspensión de hidróxido de calcio en agua.	Con ayuda del peachimetro medir el grado de alcalinidad de la solución.	El pH como la inversa de concentración de iones oxidrilo	Grado de alcalinidad	11 a 12	peachimetro
-Tiempo de agitación	Es la cantidad de tiempo utilizado para la disolución de los reactivos en el mineral.	Con un cronómetro determinar el tiempo de disolución de los reactivos en el mineral.	Tiempo de agitación	En horas	Hr	Cronómetro

*Nota:* Elaboración propia

## CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Ámbito del estudio: localización política, geográfica

La investigación se realizó en la empresa CIA MINERA JERUSALEN S.A.C. reconocida y creada el 22 de setiembre del 2009, Empresa Peruana – Arequipeña, dedicada a la recuperación de oro y plata por el proceso CIL. Es en esta empresa donde se lleva a cabo la extracción de oro de minerales de la Compañía Minera AYSAMIC S.A.C.

Ubicada la margen izquierda de la quebrada seca a una distancia de 11.5 Km al Norte del pueblo de Chala y a 4.5 Km al Oeste de Chala Viejo. Políticamente la zona se encuentra ubicada en una zona desértica de propiedad del estado, en el Distrito de Chala, Provincia de Caravelí, Departamento de Arequipa.

#### **Figura 6**

*Empresa Minera Cia Minera Jerusalén S.A.C.*



*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 4**

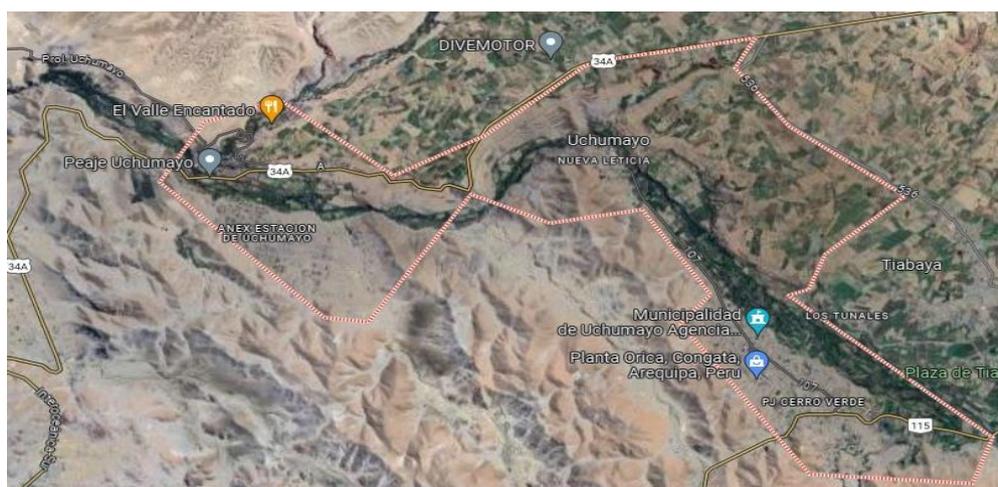
*Datos generales de la empresa CIA Minera Jerusalén S.A.C.*

Razón social	CIA MINERA JERUSALEN S.A.C
Condición	Activa
Tipo de empresa	Sociedad Anónima Cerrada
Fecha de inicio de actividad	22 de setiembre del 2009
Dirección legal	Carretera panamericana SUR NRO. 615
Distrito	Chala
Provincia	Caraveli
Departamento	Arequipa
RUC	20494800838
Representante legal	Maldonado Cáceres Manuel Rodolfo

**Nota:** Recopilada del área administrativa de CIA Minera Jerusalén S.A.C.

**Figura 7**

*Vista geográfica de compañía minera AYSAMIC S.A.C.*



**Nota:** Recopilada de googlemaps.

**Nombre de la empresa:** Compañía Minera AYSAMIC S.A.C

**RUC:** 20434911568

Compañía Minera AYSAMIC S.A.C., empezó sus actividades el 26 de julio del año 2017 hasta la actualidad, cuya ubicación es en Distrito de Uchumayu, Provincia de Arequipa del Departamento de Arequipa Latitud: 16°24'55"S, Longitud: 71°39'49"O, es una empresa que extrae minerales oxidados a tajo abierto, la determinación de leyes auríferas se realiza en CIA MINERA JERUSALEN S.A.C, que presta servicios de planta, desorción hasta la obtención de lingotes de oro y plata.

#### 4.2 Diseño de investigación

En este proyecto de investigación tecnológica, el diseño experimental facilitará la planificación de la cantidad de pruebas experimentales y la significancia de las variables en estudio dentro del laboratorio. El diseño de investigación es experimental puro: causa-efecto, en el cual las pruebas experimentales tienen como finalidad cuantificar e identificar una información objetiva y veraz en base a las pruebas, para dar una explicación al problema planteado en el presente trabajo. (Montgomery, 2004)

La investigación a desarrollarse tendrá un diseño factorial completa  $2^3$ .

$$\text{Número de pruebas} = 2^3$$

El diseño factorial implica que se tiene 3 variables independientes y una variable respuesta que representa a la variable dependiente del cuadro de operacionalización de variables.

**Tabla 5**

*Niveles de las variables.*

<b>Variables</b>	<b>Nivel mínimo</b>	<b>Nivel máximo</b>
Concentración de cianuro (ppm)	-	+
Concentración de Antiincrustante(ppm)	-	+
Carbón activado (gr/mL)	-	+

*Nota: Elaboración propia.*

**Tabla 6***Tabla de diseño aleatorizado 2<sup>3</sup>*

N° de corrida	Concentración de	Concentración de	Carbón (gr/mL)
	cianuro(ppm)	antiincrustante(ppm)	
	A	B	C
1	-	-	+
2	+	-	+
3	-	+	+
4	-	+	-
5	-	-	-
6	+	+	+
7	+	+	-
8	+	-	-

*Nota: Elaboración propia.*

La tabla 6 se muestra el diseño factorial 2<sup>3</sup>, que representa las 8 pruebas experimentales a realizar.

#### **4.2.1 Método**

El presente trabajo de investigación es de carácter experimental y tecnológico, para lo cual se aplica el método deductivo porque permite manipular las variables. Con la finalidad de realizar un control adecuado en el proceso de lixiviación, ya que permitió el avance en la mejora de la recuperación de oro (Hernández Sampieri, 2014)

#### **4.2.2 Tipo**

La metodología que se empleará es del tipo tecnológico aplicada; con enfoque cuantitativo, debido a que se buscará alcanzar los resultados planteados a través de la manipulación de variables mediante pruebas experimentales. También se aplicará los conocimientos teóricos y prácticos de los estudios realizados para poder alcanzar una mejor recuperación de Au.

### **4.2.3 Alcance**

Según Hernández Sampieri (2014) el alcance de la investigación es “Explicativo, porque se enfoca en explicar el por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones y porque relaciona dos o más variables” (p.98).

## **4.3 Población de estudio**

### **4.3.1 Población**

Los minerales auríferos destinados para las pruebas experimentales serán provenientes del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C., que son tratados en la planta concentradora CIA Minera JERUSALEN S.A.C.-Arequipa.

### **4.3.2 Muestra**

Se tomará una muestra aleatoria como una muestra representativa de un total de 20 Kg de mineral aurífero. Las cuáles serán evaluadas en el laboratorio de procesamiento de minerales de la planta de lixiviación CIA Minera JERUSALEN S.A.C. para su respectiva preparación mecánica (chancado y pulverizado). Posteriormente se realizan las pruebas experimentales del proceso de lixiviación por agitación utilizando los reactivos químicos en laboratorio.

### **4.3.3 Muestreo**

El muestreo se realizará mediante el método de muestreo por puntos en cuadrículas, la obtención de pequeñas muestras de mineral mediante el método de cono y cuarteo que representen las cualidades y propiedades físicas y químicas del mineral original a ser tratado.

### **4.3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### ***Técnicas:***

- ✓ Revisión bibliográfica.
- ✓ Reportes de análisis químicos.
- ✓ Pruebas a nivel de Laboratorio.
- ✓ Aparatos de precisión.

#### 4.4 Validez y confiabilidad de instrumentos

Para la medición y obtención de datos, los instrumentos y equipos que se ajusten acorde al trabajo de investigación se presentan en la tabla 7:

**Tabla 7**

*Equipos, Materiales y Reactivos*

EQUIPOS Y MATERIALES	CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES
Agitadores a nivel de laboratorio	8 agitadores (motor de 1HP)
Chancadora de quijadas 14" x 7"	Permitirá triturar la muestra de mineral hasta un tamaño de 1/4" M Tyler.
Pulverizador mecánico de anillos	Pulverizador mecánica eléctrica con temporizador, capacidad de la olla de pulverizadora 550 gr. Aprox.
Mufla	Horno eléctrico, manteniendo a una temperatura de 250 grados Celsius a nivel de costa, para el secado del mineral.
Cruceta	Cuarteador de 30 x 30 cm de largo, 10 cm de altura, 1.5 cm de ancho
Manta de geomembrana 60x60 cm	Se utilizará para realizar el cuarteo y homogenizado de las muestras de mineral.
Balanza Analítica de 3 dígitos	Para pesado del mineral seco y relave
Balanza Electrónica	Ayudará a realizar el pesaje del reactivo que se dosificará, cantidad de mineral de cabeza y concentrado.
Pipeta de 10 ml,20ml	Para realizar la titulación y calcular el consumo de cianuro.
Gotero de Vidrio	Para almacenamiento del KI
Matraz 1L	Para la preparación de los diferentes reactivos a utilizar
Papel PANPHEA	Para controlar el pH de las diferentes pruebas a realizar.
Agitador de Jarras	Para poder simular el proceso de agregado de antiincrustante y carbón
Deshumecedor	Equipo para reducir la humedad del carbón activado.
Absorción Atómica	Equipo para analizar las muestras de carbón y soluciones.
Microscopio Electrónico	Equipo para observar las incrustaciones en la superficie y poros del carbón

*Nota:* Elaboración propia.

Otros instrumentos y herramientas a utilizar son:

Laptop, Bandejas metálicas, plumón indeleble, cuchara metálica, espátula, badilejo, brocha, bolsas de polietileno, pisetas de 1L, Tamiz de la serie Tyler -200, Malla U.S. N°12, vasos precipitados 20ml y 1L, jarras de plástico de 5L, tubos de ensayo de 20ml con tapa, soporte universal, bombilla universal de tres salidas, baguetas, etc.

La capacidad y eficiencia de estos equipos y materiales contribuirán en la cuantificación de forma adecuada y significativa de las mediciones que se desarrollarán, ya que serán las fuentes de validez y confiabilidad del trabajo de investigación.

Los reactivos e insumos a usar son:

- Cianuro de sodio( $NaCN^-$ )
- Hidróxido de sodio( $NaOH$ )
- Nitrato de plata( $AgNO_3$ )
- Yoduro de potasio( $KI$ )
- Agua desionizada
- Carbones Activados
- Solución Amortiguadora ( $NH_4OH + NaCl$ )
- Indicador solución amortiguadora (Negro irocromo T + Clorhidrato de hidroxilamina en 100ml de Alcohol etílico)
- Solución titulante EDTA (0.04M)
- Solución Valorada de  $CaCO_3$
- Ácido Clorhídrico (HCl)

#### 4.5 Plan de análisis de datos

- **Procesamiento de resultados:** Con los datos que se obtendrán en las pruebas de laboratorio, se realizará una evaluación estadística, para tal fin se usará el software

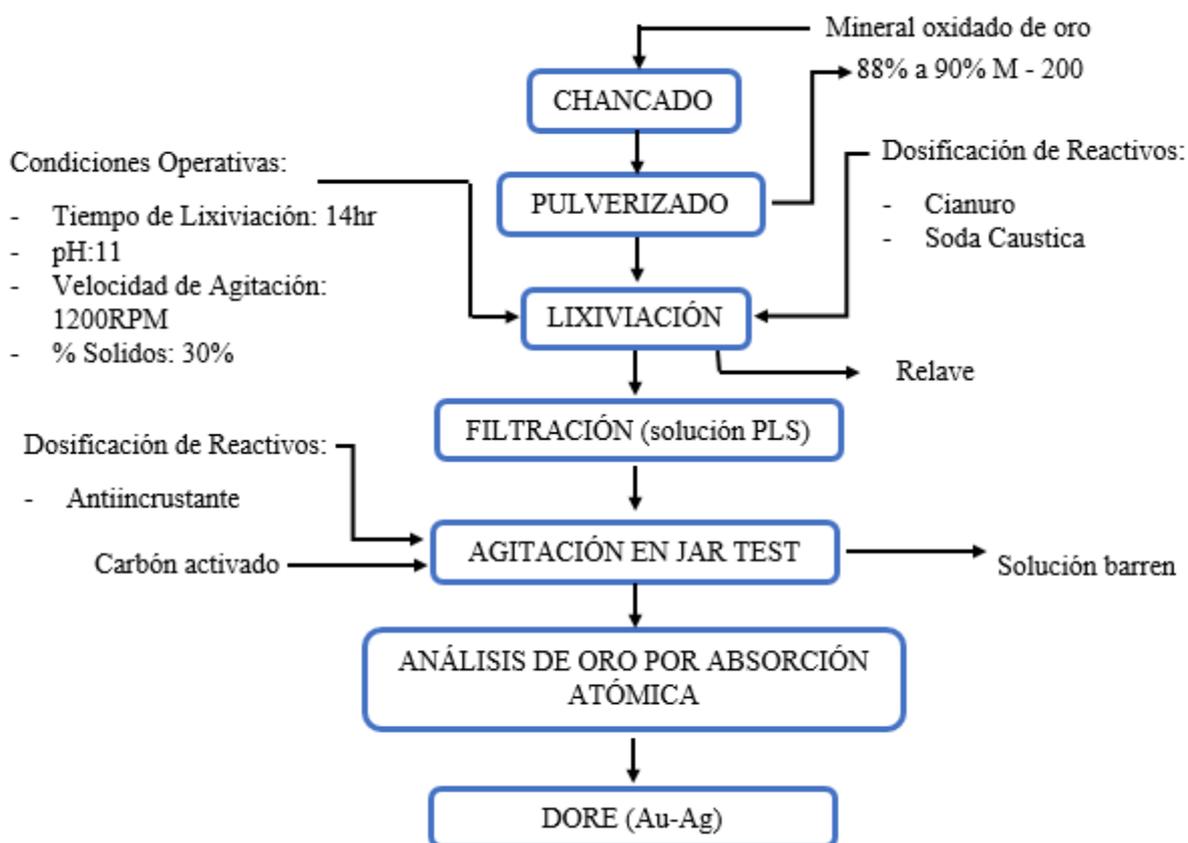
Minitab y Microsoft Excel, así mismo, los resultados se presentarán en cuadros y gráficos con su respectiva interpretación.

- **Análisis de resultados:** Los resultados serán mediante el análisis ANOVA; para determinar las variables que tienen mayor influencia en el trabajo de investigación que se desarrollará, a su vez las hipótesis planteadas serán analizadas para poder validarlas o desmentirlas.

#### 4.6 Diagrama de bloques

**Figura 8**

*Diagrama de bloque*



*Nota:* Elaboración propia.

## CAPITULO V: PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 5.1 Pruebas experimentales de agitación a nivel de laboratorio

Se desarrollo con un diseño factorial completo de  $2^3$ , 8 pruebas de agitación a nivel de laboratorio mediante el siguiente procedimiento:

#### Prueba N° 1

- Realizar el muestreo de la cancha de minerales AYSAMIC S.A.C- ya chancado a un tamaño de  $3/8''$ , tomando un total de 20 Kg de muestra, mediante el método de muestreo por puntos en cuadrículas.
- Realizar el cuarteo en la manta de geomembrana, y el pesado con la cuchara de 250 g de mineral en tres bandejas diferentes.
- Hacer el secado de las bandejas con mineral en la mufla a  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante un promedio de 8 a 12 minutos aproximadamente.
- Retirar las bandejas con mineral de la mufla para su enfriamiento durante 10 minutos aproximadamente.
- Verter el mineral seco a la olla para el pulverizado y asegurar correctamente el equipo de pulverizador.
- Pulverizar las bandejas con mineral, cada bandeja durante 1 minuto (las dos primeras bandejas es para prueba metalúrgica y la tercera bandeja es para determinar la ley de cabeza).
- Determinar el porcentaje de malla con 5 a 7 gr de muestra de cada bandeja pulverizada. Teniendo como un rango de 88 a 90 % de malla -200.

#### Cálculo de la determinación granulométrica del mineral (malla -200)

- Peso de la muestra seca de mineral pulverizado = 6.45 gr
- Peso del mineral pasante de la malla (-200) = 5.79 gr

- Peso del mineral retenido en la malla (-200) = 6.45 gr – 5.79 gr = 0.66 gr
- % malla (- 200) = (5.79 gr /6.45 gr) x 100%

$$\% \text{malla } (-200) = 89.77\%$$

- Realizar la prueba metalúrgica en un balde de 12L con:
  - $W_{\text{muestra}} = 350$  gr de mineral
  - $V \text{ H}_2\text{O} = 5.5$  L
  - $W \text{ NaCN} = 19.25$  gr
  - $W \text{ NaOH} = 4.2$  gr

### **Cálculo de la cantidad de cianuro de sodio**

Para una fuerza de 3500 ppm se necesita:

$$\text{Fuerza de cianuro (ppm)} = (X \text{ (kg de NaCN)} / 5.5) \times 10^6$$

$$3500 = (X \text{ (kg de NaCN)} / 5.5) \times 10^6$$

$$(3500 \times 5.5) / 10^6 = X \text{ (kg de NaCN)}$$

$$0.01925 \text{ kg} = \text{NaCN}$$

$$19.25 \text{ gr} = \text{NaCN}$$

### **Cálculo de la soda caustica**

Añadir 0.5 gr de NaOH y luego seguir aumentando hasta regular el pH de la prueba metalúrgica a 11.

- Iniciar la prueba metalúrgica en el agitador a 1200 RPM durante 14 horas, realizando el control de consumo de cianuro en 2 horas, 5 horas, 8 horas, 11 horas y 14 horas.  
Tener en cuenta, si la fuerza del cianuro es menor a 2700 ppm se aumenta el cianuro de sodio para mantener la fuerza inicial.

### Cálculo del consumo de cianuro sodio

Sabiendo que la fuerza inicial es igual a 3500 ppm.

- ✓ Fuerza de NaCN a las 2 horas de iniciada la prueba metalúrgica con una muestra de 5 ml será:

- Gasto de AgNO<sub>3</sub> = 5.7 ml
- Fuerza de NaCN = gasto (ml) x 500 (factor)
- Fuerza de NaCN = 5.7ml x 500

$$\text{Fuerza de NaCN} = 2850 \text{ ppm}$$

Para determinar el cianuro que queda en la prueba metalúrgica, se aplica la siguiente fórmula:

- NaCN restante = (Fuerza de NaCN) x 5.5(factor)/1000

$$\text{NaCN restante} = 2850 \times 5.5(\text{factor})/1000$$

$$\text{NaCN restante} = 15.675 \text{ gr}$$

Entonces:

- Consumo de NaCN = (19.25 – 15.675) gr

$$\text{Consumo de NaCN} = 3.575 \text{ gr}$$

- ✓ Fuerza de NaCN a las 5 horas de iniciada la prueba metalúrgica con una muestra de 5 ml:

- Gasto de AgNO<sub>3</sub> = 5.6 ml
- Fuerza de NaCN = gasto (ml) x 500 ppm

$$\text{Fuerza de NaCN} = 5.6\text{ml} \times 500 \text{ ppm}$$

$$\text{Fuerza de NaCN} = 2800 \text{ ppm}$$

Para determinar el cianuro que queda en la prueba metalúrgica, se aplica la siguiente fórmula:

$$\circ \text{ NaCN restante} = 2800 \times 5.5(\text{factor})/1000$$

$$\text{NaCN restante} = 15.4 \text{ gr}$$

Entonces:

$$\circ \text{ Consumo de NaCN} = (19.25 - 15.4) \text{ gr}$$

$$\circ \text{ Consumo de NaCN} = 3.85 \text{ gr}$$

✓ Fuerza de NaCN a las 8 horas de iniciada la prueba metalúrgica con una muestra de 5 ml:

$$\circ \text{ Gasto de AgNO}_3 = 5.5 \text{ ml}$$

$$\circ \text{ Fuerza de NaCN} = \text{gasto (ml)} \times 500 \text{ ppm}$$

$$\text{Fuerza de NaCN} = 5.5 \text{ ml} \times 500 \text{ ppm}$$

$$\text{Fuerza de NaCN} = 2750 \text{ ppm}$$

Para determinar el cianuro que queda en la prueba metalúrgica, se aplica la siguiente fórmula:

$$\circ \text{ NaCN restante} = 2750 \times 5.5(\text{factor})/1000$$

$$\text{NaCN restante} = 15.125 \text{ gr}$$

Entonces:

$$\circ \text{ Consumo de NaCN} = (19.25 - 15.125) \text{ gr}$$

$$\text{Consumo de NaCN} = 4.125 \text{ gr}$$

- ✓ Fuerza de NaCN a las 11 horas de iniciada la prueba metalúrgica con una muestra de 5ml:

- Gasto de AgNO<sub>3</sub> = 5.4 ml
- Fuerza de NaCN = 5.4 ml x 500 ppm

$$\text{Fuerza de NaCN} = 5.4 \text{ ml} \times 500 \text{ ppm}$$

$$\text{Fuerza de NaCN} = 2700 \text{ ppm}$$

Para determinar el cianuro que queda en la prueba metalúrgica, se aplica la siguiente fórmula:

- NaCN restante =  $2700 \times 5.5(\text{factor})/1000$

$$\text{NaCN restante} = 14.85 \text{ gr}$$

Entonces:

- Consumo de NaCN =  $(19.25 - 14.85) \text{ gr}$

$$\text{Consumo de NaCN} = 4.4 \text{ gr}$$

- ✓ Fuerza de NaCN a las 14 horas de iniciada la prueba metalúrgica con una muestra de 10 ml:

- Gasto de AgNO<sub>3</sub> = 10.6 ml
- Fuerza de NaCN = 10.6 ml x 250 ppm

$$\text{Fuerza de NaCN} = 10.6 \text{ ml} \times 250 \text{ ppm}$$

$$\text{Fuerza de NaCN} = 2650 \text{ ppm}$$

Para determinar el cianuro que queda en la prueba metalúrgica, se aplica la siguiente fórmula:

$$\circ \text{ NaCN restante} = 2650 \times 5.5(\text{factor})/1000$$

$$\text{NaCN restante} = 14.575 \text{ gr}$$

Entonces:

$$\circ \text{ Consumo de NaCN} = (19.25 - 14.575) \text{ gr}$$

$$\text{Consumo de NaCN} = 4.675 \text{ gr}$$

### Tabla 8

*Consumo de cianuro por cada titulación de la prueba N°1*

Tiempo (Hr)	Consumo de NaCN (gr)
2	3.575
5	3.850
8	4.125
11	4.4
14	4.675

*Nota:* Elaboración propia

### Figura 9

*Consumo de NaCN v/s tiempo de agitación.*



*Nota:* Elaboración propia

- Finalizada la prueba metalúrgica en 14 horas, decantamos la parte sólida (ripio) durante 20 minutos y proceder retirar 100 ml de la solución lixiviada para el análisis de laboratorio químico.
- Retirada toda la solución lixiviada, se realiza el lavado de la parte sólida añadiendo floculante. Luego verter el ripio a una bandeja y se lleva a la mufla para su secado durante 20 minutos.
- Teniendo el ripio secado se envía a laboratorio químico para su análisis respectivo.

## **5.2 Pruebas experimentales del antiincrustante con mayor eficiencia**

Para estas pruebas experimentales tomamos la solución lixiviada con la mayor ley de las pruebas metalúrgicas y sometemos a realizar 8 pruebas experimentales. Mediante el uso del equipo jar test.

### **Preparación de Reactivos:**

- Solución amortiguadora: Medir 57 mL de  $\text{NH}_4\text{OH}$  + 6.75 gr de  $\text{NH}_4\text{Cl}$
- Indicador en solución inhibidora: Pesar 5 gr de negro eriocromo T + 4.5 gr de Clorhidrato de Hidroxilamina en 100 mL de alcohol etílico.
- Solución EDTA 0.04 M: Pesar 16.485 gr de sal + 5 ml de  $\text{MgCl}_2$  0.01 M y diluir a 1000 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada.
- Solución Valorada de  $\text{CaCO}_3$ : Pesar 1 gr de  $\text{CaCO}_3$  y transferir a una fiola de 1000 mL para diluirlo con HCl (gotas) y aforado.

### **Procedimiento:**

- Se toma 500 mL de solución pregnant o lixivante en un vaso precipitado y determinar la dureza total expresado como  $\text{CaCO}_3$  de la solución de cabeza.
- Pesar 20 gr de carbón activado para cada vaso de prueba.
- Iniciar la agitación con el equipo jar test y setearlo a 200 RPM.

- Adicionar la dosis de antiincrustante a cada vaso y darle un tiempo de acondicionamiento respectivo de 5 minutos, luego adicionar 20 g. de carbón activado nuevo a cada vaso para iniciar la prueba.
- Controlar un tiempo de 30 minutos de agitación y después sacar 25 ml de solución de cada vaso para determinar la dureza total (ppm) remanente.
- Determinar la eficiencia de cada antiincrustante mediante un balance de carbonatos.

$$Ef = 100 - (\Delta DT * 100) / DT_{cabeza}$$

Donde:

$\Delta DT$ : (DT\_Cabeza) - (DT\_out) (ppm)

DT\_Cabeza: Dureza total de la solución cabeza (ppm).

**Tabla 9**

*Parámetros operativos del antiincrustante y carbón activado*

N° de prueba	Antiincrustante (ppm)	Carbón activado (gr)
1	2	20
2	5	20
3	8	20
4	10	20
5	13	20
6	15	20
7	17	20
8	20	20

**Nota:** Elaboración propia

En la tabla N° 9 se muestra las 8 pruebas experimentales con parámetros operativos de carbón y antiincrustante.

### 5.3 Pruebas experimentales de adsorción del carbón activado

#### Procedimiento:

- Se hizo el lavado de 100 gr de muestra de carbón, en la malla U.S. N°12, para luego hacer el secado en una estufa a 105°C por 30 minutos.
- Se enfría la muestra en el deshumecedor.
- Pesar una muestra de 5 g. de carbón, ser lo más exacto posible.
- Llenar 500 mL de muestra de solución pregnant en el vaso de 1 L y adicionar el carbón activado.
- Se pone a agitar en el equipo de jarras y se saca alícuotas de 10 mL en diferentes tiempos (25, 50, 75, 100, 125,150,175 y 200 minutos).

Tener en cuenta en este procedimiento experimental, una vez determinado la dosificación optima del antiincrustante se realizarán dos pruebas experimentales para ver el impacto de su uso en la mejora de la recuperación del oro.

- Para el análisis usamos la Isotherma de Frundlich

$$\frac{X}{M} = K \cdot C^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

M: masa de carbón (g).

X:(Ci – Cf) \* V

Ci: Concentración inicial de la solución rica (mg/L).

Cf: Concentración residual de oro (mg/L)

V: Volumen de la solución.

**K:** Constante expresada como la capacidad de carga cuando  $C = (\text{Au g/C kg})$

$1/n$ : Constante típica para carbón activado.

- Linealización de la ecuación de Freundlich

$$\log\left(\frac{X}{M}\right) = \log K + \frac{1}{n} * \log C$$

## CAPITULO VI: DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### 6.1 Variables operacionales en la recuperación de oro por el proceso CIL.

En la tabla N° 10 se muestra los parámetros operativos de las 8 pruebas experimentales de las pruebas metalúrgicas por agitación a diferentes concentraciones de cianuro.

**Tabla 10**

*Variables operacionales de las pruebas metalúrgicas.*

N° de prueba	pH	AGITACION EN (RPM)	TIEMPO DE AGITACION (Hr)	GRANULOMETRIA DEL MINERAL M - 200 (%)	FUERZA DE NaCN (ppm)	EXTRACCION (%)
1	11	1200	14	89.77	3000	89.10
2	11	1200	14	89.01	3200	90.87
3	11	1200	14	89.59	3150	90.54
4	11	1200	14	89.74	3250	87.98
5	11	1200	14	89.42	3100	89.58
6	11	1200	14	89.85	3500	91.99
7	11	1200	14	89.39	2900	88.30
8	11	1200	14	89.71	3300	90.22

*Nota:* Elaboración propia

De las 8 pruebas experimentales realizadas a diferentes concentraciones de NaCN, se observa en la prueba N°6 una mayor extracción de oro. Concluyendo que a una concentración de 3500 ppm de cianuro de sodio existe mayor extracción de oro.

#### 6.1.1 Balance metalúrgico de las pruebas metalúrgicas por agitación

Observando la tabla 10, se toma la solución PLS con mayor porcentaje de extracción para el análisis de adsorción del carbón con antiincrustante mediante el jar test.

**Tabla 11***Balance metalúrgico de las pruebas experimentales.*

N° de prueba	pH	Fuerza de NaCN (PPM)	Tiempo de agitación (Hr)	NaCN (gr)	NaOH (gr)	Ley de mineral (Oz/TC)	Ley de solución (gr/m <sup>3</sup> )	Ley de ripio (OZ/TC)	Recuperación (%)	Extracción (%)
1	11	3000	14	19.25	4.2	0.624	1.160	0.068	88.67	89.10
2	11	3200	14	17.60	4.2	0.624	1.140	0.057	90.16	90.87
3	11	3150	14	17.33	4.2	0.624	1.150	0.059	89.93	90.54
4	11	3250	14	17.88	4.2	0.624	1.170	0.075	87.73	87.98
5	11	3100	14	17.05	4.2	0.624	1.120	0.065	88.76	89.58
6	11	3500	14	16.50	4.2	0.624	1.200	0.050	91.67	91.99
7	11	2900	14	15.95	4.2	0.624	1.100	0.073	87.35	88.30
8	11	3300	14	18.15	4.2	0.624	1.180	0.061	89.86	90.22

*Nota:* Elaboración propia**6.1.2 Cálculos de extracción y recuperación para el balance metalúrgico****PRUEBA N° 1**

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.068 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.160gr/m<sup>3</sup>
- V = 5.5 L
- W<sub>muestra</sub> = 350gr

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34.285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34.285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.068\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{Oz/Tc}) - (2.331380\text{Oz/Tc})}{(21.393840\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 89.10\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - \left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{\left( 0.0680\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.160\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - \left( 0.0680\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( 0.0680\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.160\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 88.66\%$$

## PRUEBA N° 2

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.057 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.140gr/m<sup>3</sup>
- V = 5.5 L
- W muestra = 350gr

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34,285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34,285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.057\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{Oz/Tc}) - (1.954245\text{Oz/Tc})}{(21.393840\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 90.87\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - \left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{\left( 0.057\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.140\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - \left( 0.057\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( 0.057\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.140\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 90.16\%$$

**PRUEBA N° 3**

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.059 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.150gr/m<sup>3</sup>
- V = 5.5 L
- W<sub>muestra</sub> = 350gr

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34.285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34.285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.059\text{z/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.39384\text{Oz/Tc}) - (2.022815\text{Oz/Tc})}{(21.39384\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 90.54\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - (\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{(0.059\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.150\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - (0.059\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(0.059\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.150\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 89.93\%$$

**PRUEBA N° 4**

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.075 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.170gr/m<sup>3</sup>

- $V = 5.5 \text{ L}$
- $W_{\text{muestra}} = 350\text{gr}$

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34.285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34.285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.0750\text{z/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{z/Tc}) - (2.5713750\text{z/Tc})}{(21.393840\text{z/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 87.98\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - (\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{(0.0750\text{z/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.170\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - (0.0750\text{z/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(0.0750\text{z/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.170\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 87.73\%$$

## PRUEBA N° 5

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.065 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.120gr/m<sup>3</sup>
- $V = 5.5 \text{ L}$
- $W_{\text{muestra}} = 350\text{gr}$

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34.285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34.285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.0650\text{z/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{Oz/Tc}) - (2.2285250\text{Oz/Tc})}{(21.393840\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 89.58\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - \left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{\left( 0.0650\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.120\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - \left( 0.0650\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( 0.0650\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.120\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 88.76\%$$

## PRUEBA N° 6

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.050 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.200gr/m<sup>3</sup>
- V = 5.5 L
- W<sub>muestra</sub> = 350gr

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34,285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34,285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.050\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{Oz/Tc}) - (1.714250\text{Oz/Tc})}{(21.393840\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 91.99\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - \left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( \text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{\left( 0.050\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.200\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - \left( 0.050\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right)}{\left( 0.050\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}} \right) + (1.200\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 91.67\%$$

**PRUEBA N° 7**

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.073 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.100gr/m<sup>3</sup>
- V = 5.5 L
- W<sub>muestra</sub> = 350gr

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34.285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34.285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.624\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc}) - (0.073\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})}{(0.624\text{Oz/Tc} * 34.285\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.39384\text{Oz/Tc}) - (2.502805\text{Oz/Tc})}{(21.39384\text{Oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 88.30\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - (\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{(0.073\text{Oz/Tc} * 34,285\text{Oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.100\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - (0.073\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(0.073\text{Oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.100\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 87.35\%$$

**PRUEBA N° 8**

Determinar la extracción y recuperación:

Datos:

- Ley de cabeza = 0.624 Oz/Tc
- Ley de ripio = 0.061 Oz/Tc
- Factor (34.285Oz/Tc)
- Ley de líquido = 1.180gr/m<sup>3</sup>

- $V = 5.5 \text{ L}$
- $W_{\text{muestra}} = 350\text{gr}$

Solución:

$$\text{Extraccion} = \frac{(\text{Ley de cabeza} * 34,285) - (\text{Ley de ripio} * 34,285)}{(\text{Ley de cabeza} * 34,285)} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(0.6240\text{oz/Tc} * 34,2850\text{oz/Tc}) - (0.0610\text{oz/Tc} * 34,2850\text{oz/Tc})}{(0.6240\text{oz/Tc} * 34,2850\text{oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = \frac{(21.393840\text{oz/Tc}) - (2.0913850\text{oz/Tc})}{(21.393840\text{oz/Tc})} * 100\%$$

$$\text{Extraccion} = 90.22\%$$

$$\text{Recuperacion} = \frac{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L}) - (\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(\text{Ley de solido} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (\text{Ley de liquido} * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$R = \frac{(0.0610\text{oz/Tc} * 34,2850\text{oz/Tc} * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.180\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L}) - (0.0610\text{oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}})}{(0.0610\text{oz/Tc} * 34,285 * \frac{350\text{g}}{1000\text{L}}) + (1.180\text{gr/m}^3 * 5.5\text{L})} * 100\%$$

$$\text{Recuperacion} = 89.86\%$$

## 6.2 Evaluación de la eficiencia del antiincrustante

Se realizó 8 pruebas experimentales añadiendo antiincrustante, a la solución PLS extraída de la prueba N°6 de las pruebas metalúrgicas.

**Tabla 12***Caracterización de la muestra de solución PLS de la prueba N° 6.*

Parámetro	PLS
pH	11
Conductividad (ms/cm)	76.68
Temperatura (°C)	24.8
Dureza total – FEED	20564
CaCO <sub>3</sub> (ppm)	1450
Alcalinidad P	3790
Alcalinidad M	0
Alcalinidad OH-(ppm)	2900
Alcalinidad CO <sub>3</sub> -(ppm)	2340
Alcalinidad HCO <sub>3</sub> -(ppm)	

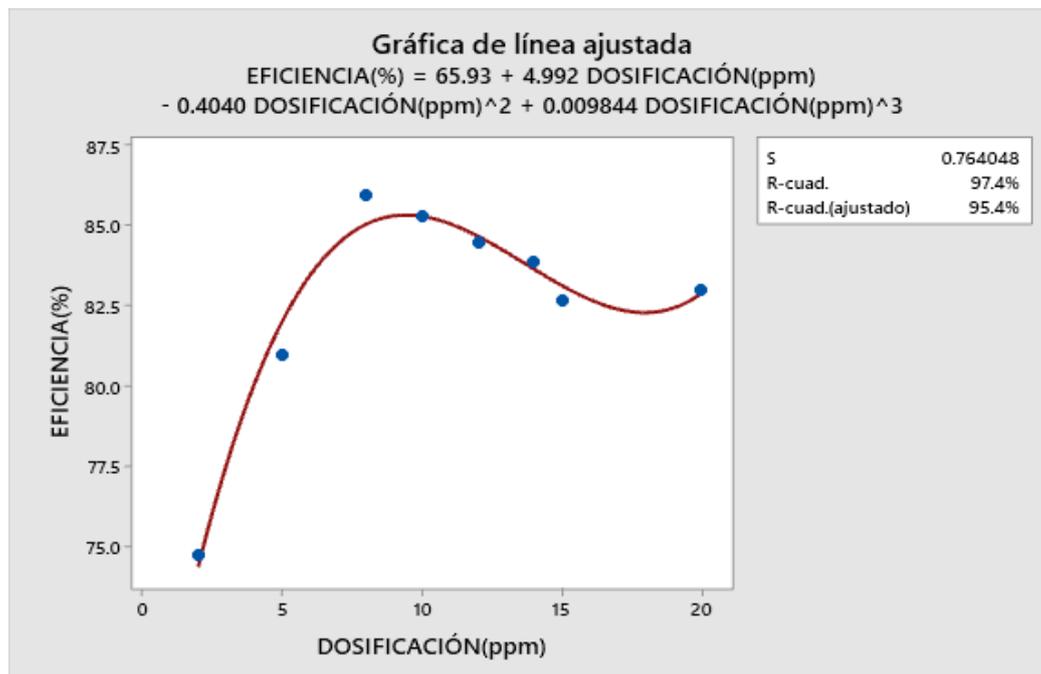
*Nota:* Elaboración propia**Tabla 13***Resultados de las pruebas experimentales con antiincrustante.*

ETAPAS	Antiincrustante	Carbón (gr)	Solución PLS (mL)	Dosificación (ppm)	Dosificación (uL)	Dureza (ppm)	Eficiencia (%)
	A1	20.00	500.00	2.00	0.91	251	74.7
	A2	20.00	500.00	5.00	2.27	272	81.0
	<b>A3</b>	<b>20.00</b>	<b>500.00</b>	<b>8.00</b>	<b>3.62</b>	<b>289</b>	<b>86.0</b>
Eficiencia de Antiincrustante	A4	20.00	500.00	10.00	3.92	283	85.3
	A5	20.00	500.00	12.00	4.85	281	84.5
	A6	20.00	500.00	14.00	5.96	280	83.9
	A7	20.00	500.00	15.00	6.80	278	82.7
	A8	20.00	500.00	20.00	9.06	279	83.0

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 10**

Gráfico de la eficiencia v/s dosis del antiincrustante.



*Nota:* Elaboración propia

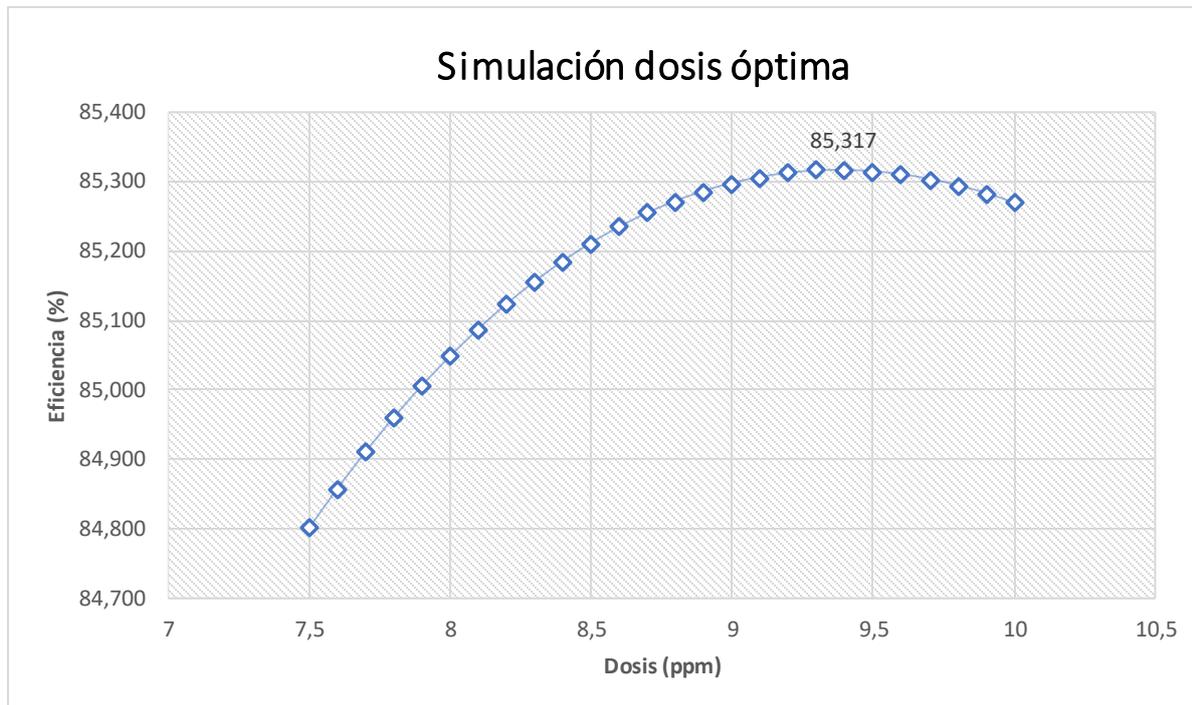
De la tabla 13 se observa que el antiincrustante con mejor performance de eficiencia es a 8 ppm el cual será evaluado en base al modelo de regresión para encontrar la dosis óptima mediante una simulación.

La ecuación de regresión es:

$$\text{Eficiencia \%} = 65.93 + 4.992 \text{ Dosis (ppm)} - 0.4040 \text{ Dosis (ppm)}^2 + 0.00984 \text{ Dosis (ppm)}^3$$

**Figura 11**

*Simulación del antiincrustante para su dosis óptima.*



**Nota:** Elaboración propia

En base a las pruebas experimentales se pudo obtener la eficiencia del antiincrustante, obteniendo a 8 ppm una eficiencia de 86 %, posterior a ello mediante una ecuación de regresión se realizó una simulación para encontrar la máxima eficiencia dependiendo de la variable de dosificación. Encontrándose que a 9.4 ppm llegaría a 85.3% de eficiencia (considerando la eficiencia ajustada).

### **6.3 Evaluación de la adsorción con carbón activado**

Las muestras de carbón fueron testeadas por densidad aparente, finos, actividad de butano (CTC), atricción, distribución de tamaño de partícula, análisis químico carga de oro (R- valor).

### Pruebas Estándar de Carbón Activado granulado:

- ✓ AARL Platelet Method.
- ✓ AARL Rolling Bottle Attrition.
- ✓ ASTM D2854 Apparent Density.
- ✓ ASTM D2862 Granular Particle Size Distribution.
- ✓ ASTM D2867 Moisture.
- ✓ ASTM D3802 Ball Pan Hardness.
- ✓ ASTM D5742 Butane Activity.
- ✓ ASTM D5832 Volatile Matter Content.

#### 6.3.1 Adsorción del carbón activado sin antiincrustante

La prueba consistió en la aplicación del proceso de adsorción de una solución rica con muestra de carbón granulado 6x12 sin la aplicación de antiincrustante.

**Tabla 14**

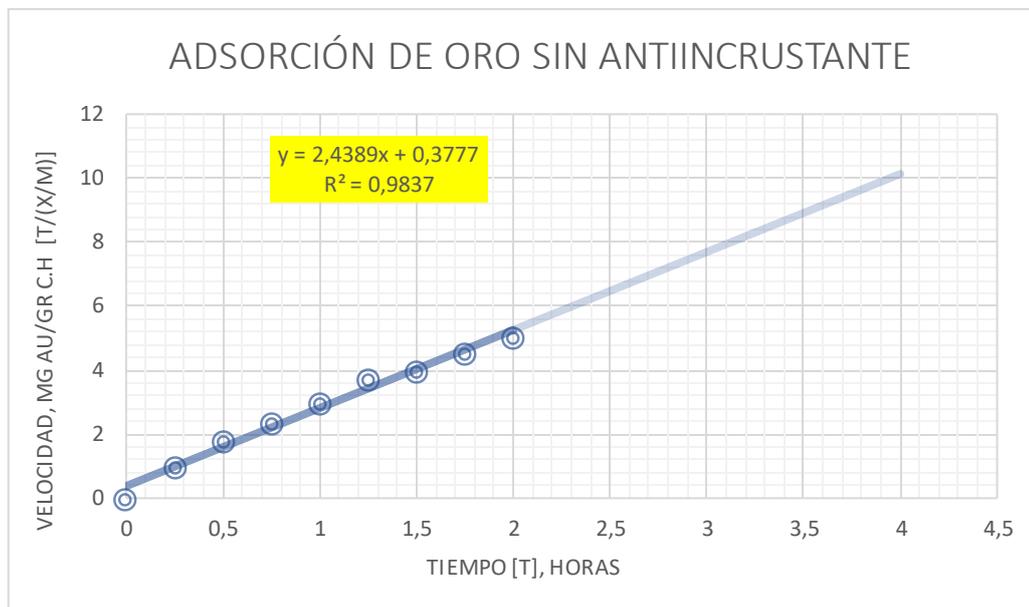
*Resultados de la adsorción de oro sin antiincrustante.*

Tiempo (Hr)	Carbón (gr)	Solución PLS (mL)	Peso de la Solución (gr)	Oro en la solución(ppm)		Oro recuperado (%)	Oro en el carbón (ppm)	X/M	T/(X/M)	R (mg Au/grC*-H)
				Pregnant	Barren					
0.0	0	500	1000	1.20	1.200	0.0	0.0	0.0		
0.25	5	500	980	1.20	0.680	43.3	0.5	0.260	0.962	0.350
0.50	5	500	960	1.20	0.650	45.8	0.6	0.275	1.818	0.691
0.75	5	500	940	1.20	0.554	53.8	0.6	0.323	2.322	0.995
1.00	5	500	920	1.20	0.530	55.8	0.7	0.335	2.985	1.315
1.25	10	500	900	1.20	0.523	56.4	0.7	0.339	3.693	1.640
1.50	10	500	880	1.20	0.450	62.5	0.8	0.375	4.000	1.918
1.75	10	500	860	1.20	0.400	67.3	0.9	0.385	4.545	2.020
2.00	10	500	840	1.20	0.365	71.7	0.9	0.398	5.025	2.158

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 12**

*Adsorción de oro de la velocidad v/s tiempo sin antiincrustante.*



**Nota:** Elaboración propia

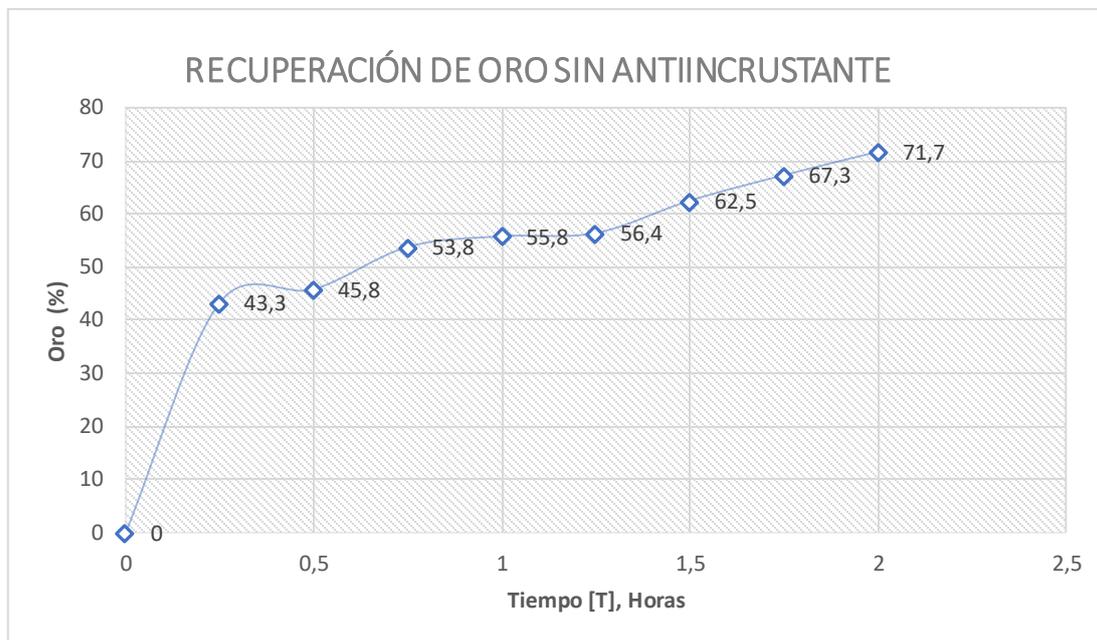
En la figura 12 se observa que el eje Y (Velocidad, mg Au/gr C·h): Representa la velocidad de adsorción del oro, medida en miligramos de oro por gramo de carbón activado por cada hora. Eje X (Tiempo, horas).

Ecuación Ajustada:  $Y = 2.4389X + 0.3777$ : Esta es la ecuación de ajuste para la velocidad de adsorción en función del tiempo. La ecuación sugiere que la velocidad de adsorción sigue una relación de potencia con el tiempo.

Coefficiente de Determinación ( $R^2 = 0.9837$ ): Un valor de  $R^2$  cercano a 1 indica que el modelo ajusta muy bien los datos experimentales, lo que sugiere que la relación de potencia es una representación precisa del comportamiento de la velocidad de adsorción de oro.

**Figura 13**

*Gráfico del porcentaje de recuperación v/s tiempo sin antiincrustante.*



*Nota:* Elaboración propia

De la figura 13 existe una tendencia observada: 0 a 0.5 horas la adsorción de oro aumenta rápidamente, alcanzando aproximadamente el 45.8% en la primera media hora. 0.5 a 1 hora: La tasa de adsorción comienza a desacelerarse, alcanzando alrededor del 55.8% a la hora. 1 a 1.5 horas: La adsorción continúa aumentando de manera más lenta, alcanzando aproximadamente el 62.5% a la hora y media. 1.5 a 2 horas, la adsorción llega al 71.7% a las dos horas, indicando una estabilización o saturación cercana.

La eficiencia de adsorción en un período de dos horas, el carbón activado es capaz de adsorber hasta el 71.7% del oro presente en la solución, lo que indica una eficiencia moderada del material adsorbente. La curva de adsorción muestra que la mayor parte del oro se adsorbe en la primera hora, después de lo cual la tasa de adsorción disminuye, sugiriendo que se acerca a la capacidad máxima de adsorción.

### 6.3.2 Adsorción del carbón activado con antiincrustante

La prueba consistió en realizar el proceso de adsorción de una solución rica con muestra de carbón granulado 6x12 con la aplicación de antiincrustante 8 mg/L.

**Tabla 15**

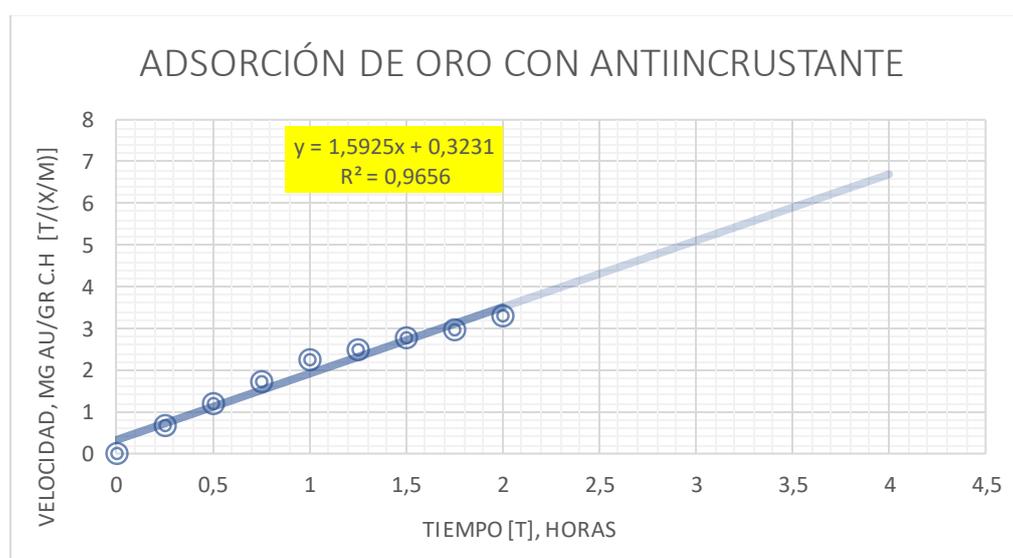
*Resultados de la adsorción de oro con antiincrustante.*

Tiempo (Hr)	W carbón (gr)	Solución PLS (mL)	W de solución (gr)	Solución de Au (ppm)		R de Au (%)	Au en carbón (ppm)	X/M	T/(X/M)	R(mg Au/gr c* -H)
				Pregnant	Barren					
0.00	0	500	1,000	1.2	1.20	0.00	0.00	0.00		
0.25	5	500	980	1.2	0.46	61.70	0.70	0.37	0.676	0.321
0.50	5	500	960	1.2	0.35	70.80	0.90	0.43	1.176	0.620
0.75	5	500	940	1.2	0.32	73.30	0.90	0.44	1.705	0.921
1.00	5	500	920	1.2	0.30	75.00	0.90	0.45	2.222	1.221
1.25	10	500	900	1.2	0.19	84.20	1.00	0.51	2.475	1.483
1.50	10	500	880	1.2	0.10	91.70	1.10	0.55	2.742	1.752
1.75	10	500	860	1.2	0.08	92.10	1.12	0.59	2.966	1.895
2.00	10	500	840	1.2	0.007	93.70	1.13	0.61	3.279	1.954

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 14**

*Adsorción de oro de la velocidad v/s tiempo con antiincrustante.*



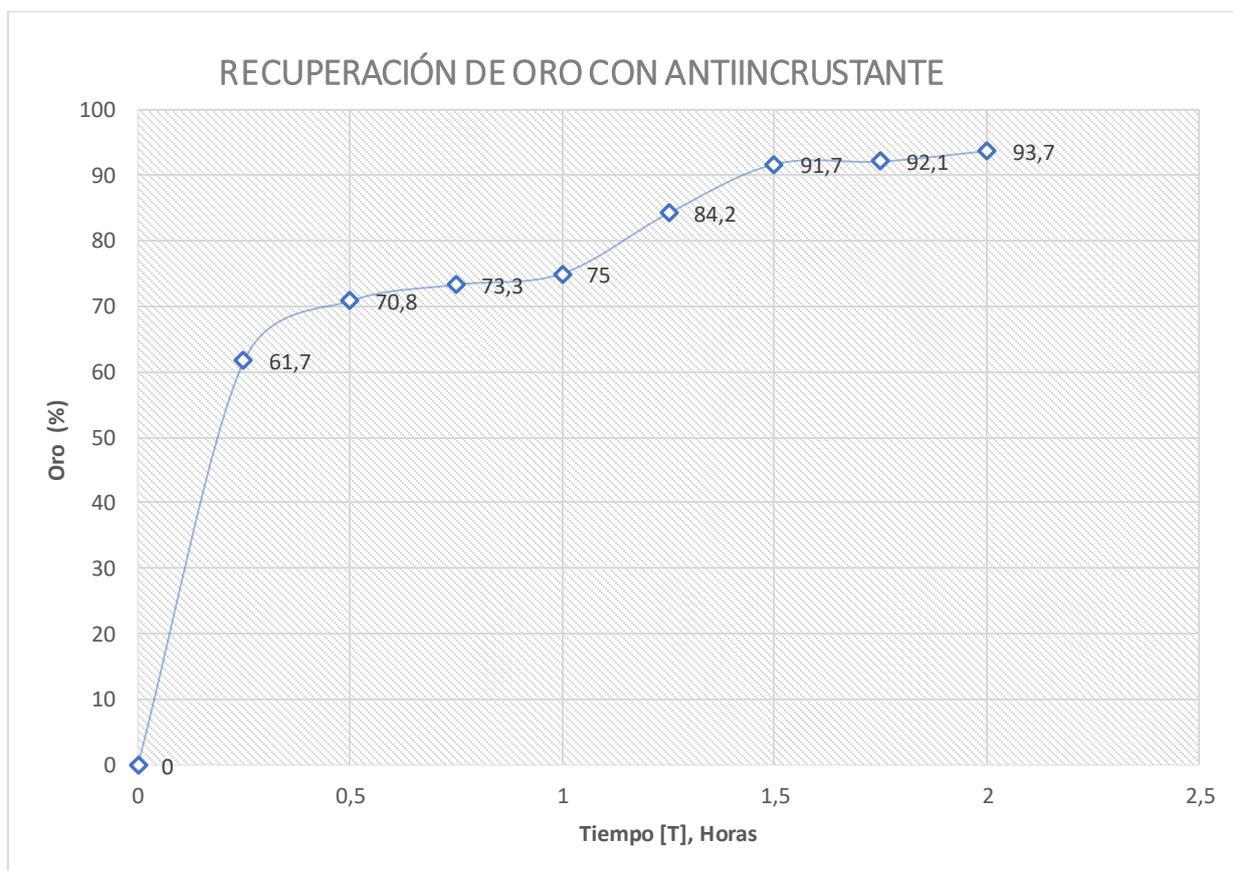
*Nota:* Elaboración propia

En la figura 14 se observa que el eje Y (Velocidad, mg Au/gr C·h): Representa la velocidad de adsorción del oro, medida en miligramos de oro por gramo de carbón activado por hora. Eje X (Tiempo, horas): Representa el tiempo en horas.

Ecuación Ajustada:  $Y = 1.5925X + 0.3231$ : Esta es la ecuación de ajuste para la velocidad de adsorción en función del tiempo. La ecuación sugiere que la velocidad de adsorción sigue una relación de potencia con el tiempo. Coeficiente de Determinación ( $R^2 = 0.9656$ ): Un valor de  $R^2$  cercano a 1 indica que el modelo ajusta muy bien los datos experimentales, lo que sugiere que la relación de potencia es una representación precisa del comportamiento de la velocidad de adsorción de oro.

### Figura 15

*Gráfico del porcentaje de recuperación v/s tiempo con antiincrustante.*



**Nota:** Elaboración propia

De la figura 15 existe una tendencia observada: 0 a 0.5 hora la adsorción de oro aumenta rápidamente, alcanzando aproximadamente el 70.8% en la primera media hora. 0.5 a 1 hora: La tasa de adsorción comienza a desacelerarse, alcanzando alrededor del 75.0% a la hora. 1 a 1.5 horas: La adsorción continúa aumentando de manera más lenta, alcanzando aproximadamente el 91.7% a la hora y media. 1.5 a 2 horas: Finalmente, la adsorción llega al 93.70% a las dos horas, indicando una estabilización o saturación cercana.

La eficiencia de adsorción en un período de dos horas, el carbón activado es capaz de adsorber hasta el 93.70% del oro presente en la solución, lo que indica una alta eficiencia del material adsorbente. La curva de adsorción muestra que la mayor parte del oro se adsorbe en la primera hora, después de lo cual la tasa de adsorción disminuye, sugiriendo que se acerca a la capacidad máxima de adsorción.

### 6.3.3 Características fisicoquímicas del carbón

**Tabla 16**

*Características fisicoquímicas del carbón fresco y cargado.*

Análisis Físico - químico	Carbón fresco	Carbón cargado
Densidad aparente g/cc	0.610	0.638
H <sub>2</sub> O %	2.65	5.86
Adsorción %	17.77	15.89
Contenido de ceniza %	3.2	3.4
Dureza %	98.53	98.44
Atricción por agitación %	2.99	2.9
Actividad CTC	49.9	14.8

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 17***Análisis de tamaño de partícula de los carbones.*

	Carbón fresco	Carbón cargado
%Retenido en malla 6 > 3.35 mm	0.37	0.16
%Retenido en malla 8 > 2.36 mm	32.87	20.30
%Retenido en malla 10 > 2.0 mm	30.12	28.22
%Retenido en malla 12 > 1.7 mm	13.01	18.60
%Retenido en malla 14 > 1.4 mm	12.13	14.69
%Retenido en malla 16 > 1.18 mm	6.07	8.00
%Retenido en malla 20 > 0.85 mm	5.08	9.60
%Retenido en ciego	0.36	0.43
%Diámetro de partícula media (mm)	2.09	2.02

*Nota:* Elaboración propia

De la tabla 16 y 17 se observa que la actividad del carbón medida por adsorción, es de 49.9 para el carbón nuevo y en la etapa luego de adsorción es de 14.8 %, el cual esto puede mejorar la etapa de lavado con ácido y con el uso de hornos para reactivación. Se observa un ligero desgaste en el diámetro de partícula antes y después de la adsorción del carbón.

**Tabla 18***Comparativo de la adsorción del carbón con y sin antiincrustante.*

Análisis Químico	Carbón cargado sin antiincrustante	Carbón cargado con antiincrustante
Oro (ppm)	0.562	0.789
Calcio (ppm)	15556	1250
Cinética de Adsorción (%)	46.8	65.8
Cobre (ppm)	28.1	24.3

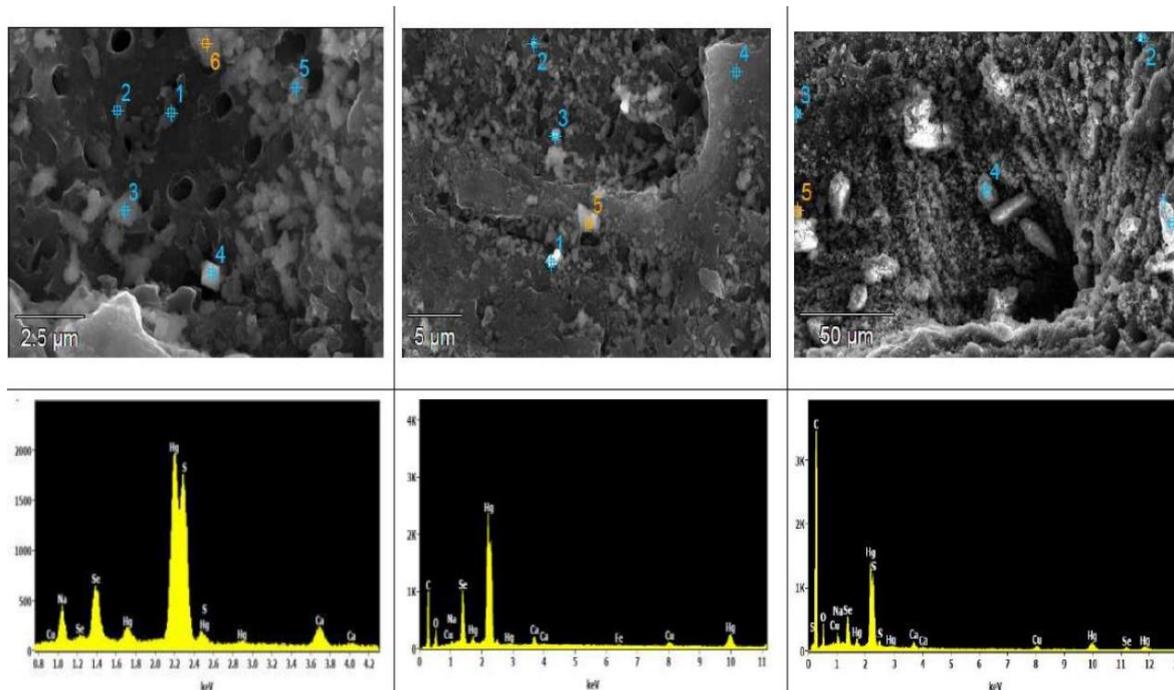
*Nota:* Elaboración propia

#### **6.3.4 Análisis del carbón activado con microscopía electrónica**

Para el análisis de la muestra de carbón mediante la microscopía electrónica se observó compuestos incrustados en la superficie y bordes de los poros del carbón.

**Figura 16**

*Visualización de poros del carbón activado.*



*Nota:* Elaboración propia

La figura 16 es un análisis de microscopio electrónico de barrido (SEM) junto con un análisis de espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (EDS o EDX).

#### **Imágenes SEM (en la fila superior)**

- Imagen 1 (izquierda):
  - Ampliación: Barra de escala 2.5 μm.
  - Características: Puntos marcados de 1 a 6 que indican áreas de específicas para el análisis EDS.
  - Descripción: se muestra la microestructura de la muestra, destacando la porosidad y las fases del material.
- Imagen 2 (medio).
  - Ampliación: barra de escala de 5 μm.

- Características: puntos de 1 a 5 marcados para análisis EDS.
- Descripción: Muestra una región deferente con características distintas, grietas e inclusiones.
- Imagen 3 (derecha).
  - Ampliación: barra de escala de 50 um.
  - Características: puntos 1 a 5 marcados para análisis EDS.
  - Descripción: Vista con características estructurales como poros grandes o fracturas.

### **Imágenes espectros EDS (Fila Inferior)**

- Espectro 1 (izquierda).

Corresponde a puntos de la primera imagen SEM. Elementos principales Hg (Mercurio), S (Azufre), C (Carbono), Ca (Calcio). Elementos menores; Sc (Scandio), O (Oxígeno).

- Espectro 2 (medio)

Corresponde a puntos de la segunda imagen SEM. Elementos principales: Hg (Mercurio), Ca (Calcio), S (Azufre), C (Carbono). Elementos menores: Fe (Hierro), O (Oxígeno).

- Espectro 3 (derecha)

Corresponde a puntos de la tercera imagen SEM. Elementos principales: Hg (Mercurio), Ca (Calcio), S (Azufre), C (Carbono). Elementos menores: Na (Sodio), Se (Selenio), O (Oxígeno), Fe (Hierro).

La composición del carbón tiene presencia de elementos como Hg (mercurio), S (azufre), C (carbono) y Ca (calcio) sugiere que la muestra es un compuesto complejo, potencialmente un material con propiedades funcionales específicas.

Las imágenes SEM muestran varias características, desde microestructuras finas hasta huecos o grietas más grandes, lo que indica heterogeneidad en el material.

Los espectros EDS proporcionan información sobre la composición elemental en puntos específicos, indicando variaciones localizadas en la composición del material.

#### 6.4 Modelo matemático

Para la determinación del modelo matemático del presente proyecto de investigación se consideró lo siguiente:

**Tabla 19**

*Niveles de las variables.*

	Variables	Nivel mínimo	Nivel máximo
A	Concentración de cianuro(ppm)	2900	3500
B	Concentración de antiincrustante(ppm)	0	8
C	Carbón (gr/mL)	5	10

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 19 se muestra los niveles máximos y mínimos de cada variable que se realizó en las pruebas experimentales.

**Tabla 20***Diseño factorial aleatorizado (3 factores, 2 niveles).*

N° de corrida	Concentración de cianuro(ppm)	Concentración de antiincrustante(ppm)	Carbón (gr)
1	3500	0	10
2	2900	0	10
3	2900	8	10
4	2900	8	5
5	2900	0	5
6	3500	8	10
7	3500	8	5
8	3500	0	5

*Nota:* Elaboración propia

La tabla 20 nos muestra las variables predictoras de cada prueba que se realizó con sus valores mínimos y máximos de manera aleatoria.

**Tabla 21***Balace de las pruebas experimentales.*

N° de prueba	Fuerza de NaCN (ppm)	Concentración de Antiincrustante (ppm)	Carbón (gr)	Ley de solución (gr/m <sup>3</sup> )	Ley de ripio (oz/tc)	Recuperación (%)
	A	B	C			
1	2900	0	10	0.893	0.161	71.70
2	3500	0	10	1.025	0.121	79.58
3	2900	8	5	1.15	0.065	89.02
4	3500	8	5	1.17	0.036	93.70
5	3500	0	5	1.008	0.135	77.36
6	2900	0	5	0.982	0.174	72.05
7	3500	8	10	1.21	0.041	93.13
8	2900	8	10	1.19	0.068	88.97

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 21 se muestra el balance de las 8 pruebas experimentales, con las variables operativas, ley de solución, ley de rípió y su porcentaje de recuperación.

**Tabla 22**

*Efecto estimado de las pruebas experimentales.*

Término	Efecto	Coef	Valor T	Valor P	FIV
Constante		83.19	0.00	0.00	
Concentración de Cianuro	5.503	2.751	0.00	0.00	1.00
Concentración de Antiincrustante	16.034	8.017	0.00	0.00	1.00
Carbón	0.3119	0.1560	0.00	0.00	1.00
Concentración de Cianuro*Concentración de Antiincrustante	-1.0874	-0.5437	0.00	0.00	1.00
Concentración de Cianuro*Carbón	0.5126	0.2563	0.00	0.00	1.00
Concentración de Antiincrustante*Carbón	-0.6214	-0.3107	0.00	0.00	1.00
Concentración de Cianuro*Concentración de Antiincrustante*Carbón	-0.7751	-0.3875	0.00	0.00	1.00

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 23***Análisis de varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.
Modelo	7	579.797	82.828
Lineal	3	574.933	191.644
Concentración de Cianuro	1	60.564	60.564
Concentración de Antiincrustante	1	514.174	514.174
Carbón	1	0.195	0.195
Interacciones de 2 términos	3	3.663	1.221
Concentración de Cianuro*Concentración de Antiincrustante	1	2.365	2.365
Concentración de Cianuro*Carbón	1	0.525	0.525
Concentración de Antiincrustante*Carbón	1	0.772	0.772
Interacciones de 3 términos	1	1.201	1.201
Concentración de Cianuro*Concentración de Antiincrustante*Carbón	1	1.201	1.201
Error	0		
Total	7	579.797	

*Nota:* Elaboración propia

La tabla 22 y 23 muestran los efectos que tienen cada variable; el análisis de varianza obtenido, son con los datos de la tabla 21, indica que no se requiere ajuste porque el valor P y el valor T no son significantes. Haciendo que el modelo sea idóneo para las pruebas experimentales.

Considerando la interacción entre las variables, y observando quienes son las más significativas, se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$\% \text{ Recuperación} = 59.23 + 0.004546 \text{ Concentración de Cianuro} + 0.5869$$

$$\text{Concentración de antiincrustante} + 2.560 \text{ Carbón} - 0.000516$$

$$\text{Concentración de Cianuro} * \text{Concentración de antiincrustante} -$$

$$0.000858 \text{ Concentración de Cianuro} * \text{Carbón} + 0.3823$$

$$\text{Concentración de antiincrustante} * \text{Carbón} - 0.000129$$

$$\text{Concentración de Cianuro} * \text{Concentración de}$$

$$\text{antiincrustante} * \text{Carbón}.$$

$$\% \text{ Recuperación} = 59.23 + 0.004546 A + 0.5869 B - 2.560 C + 0.000516 A * B +$$

$$0.000858 A * C + 0.3823 B * C - 0.000129 A * B * C.$$

Donde: A = Concentración de Cianuro

B = Concentración de antiincrustante

C = Carbón

De acuerdo al modelo matemático podemos observar el valor máximo y mínimo del porcentaje de recuperación con sus respectivos parámetros operativos en la siguiente tabla:

**Tabla 24**

*Parámetro óptimo para llegar a una recuperación de 93.70%.*

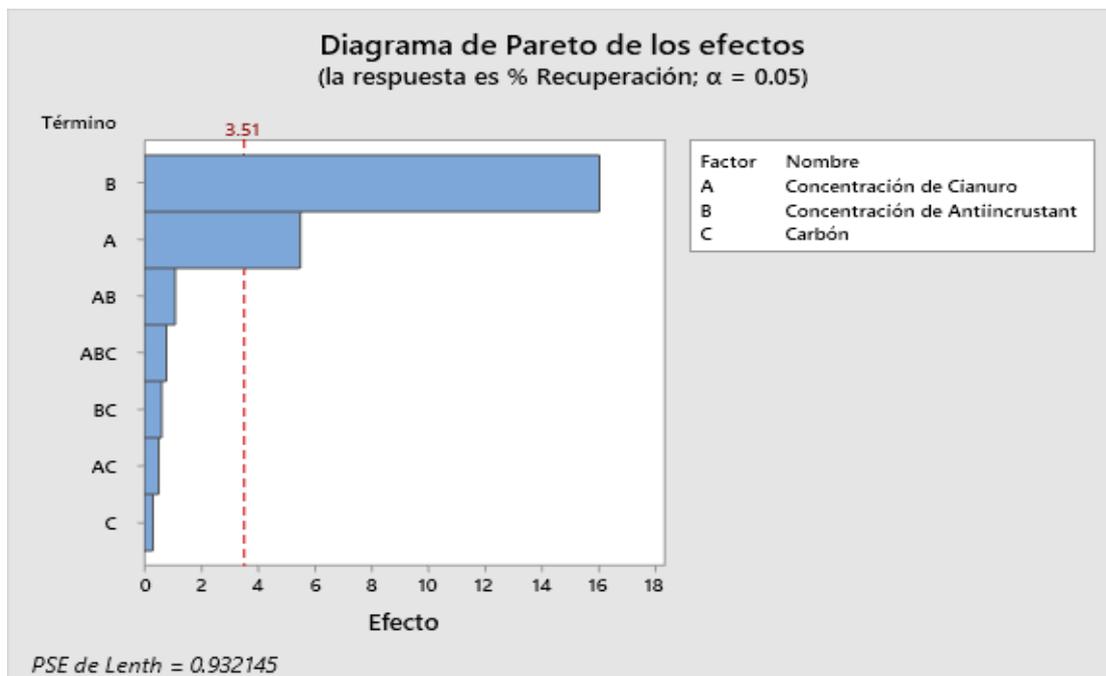
Variables		Nivel mínimo	Nivel máximo
		% Recuperación	% Recuperación
A	Concentración de cianuro(ppm)	2900	3500
B	Concentración de antiincrustante(ppm)	0	8
C	Carbón (gr/mL)	10	5
		71.70%	93.70%

*Nota:* Elaboración propia

En la tabla 24 se muestra una diferencia importante en la variable de concentración de antiincrustante, ya que sin antiincrustante la recuperación llega hasta 71.70%. Mientras que con una concentración de 8ppm de antiincrustante la recuperación alcanza un 93.70%.

**Figura 17**

*Diagrama de Pareto de los efectos de cada variable.*

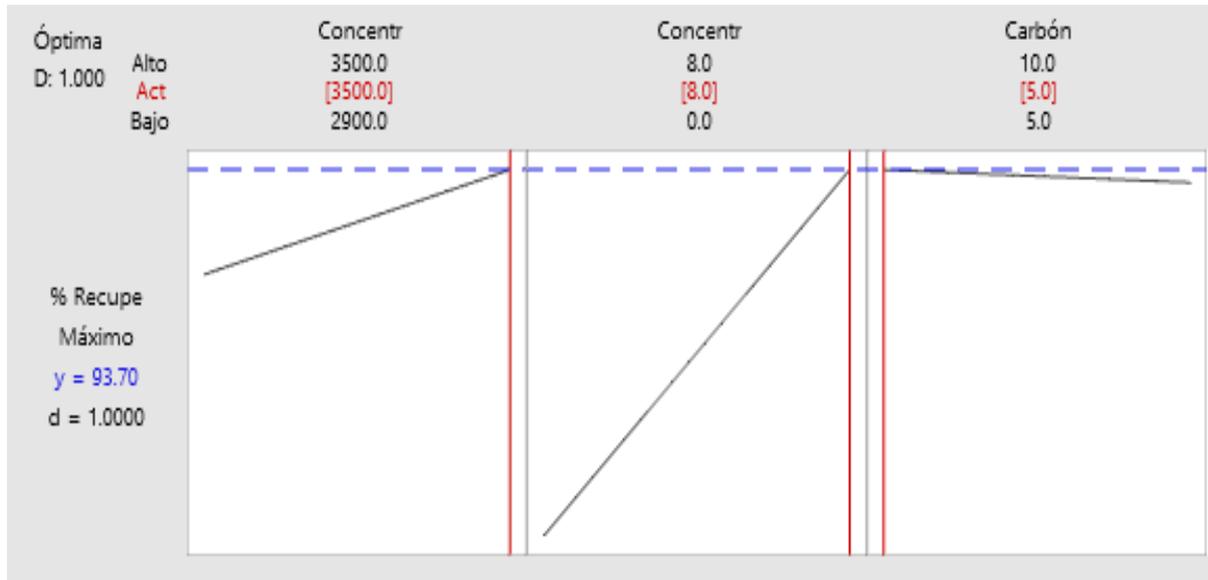


*Nota:* Elaboración propia

En la figura 17 se observa el nivel de incidencia de cada uno de los factores, donde la concentración de antiincrustante y concentración de cianuro son las variables más significantes.

**Figura 18**

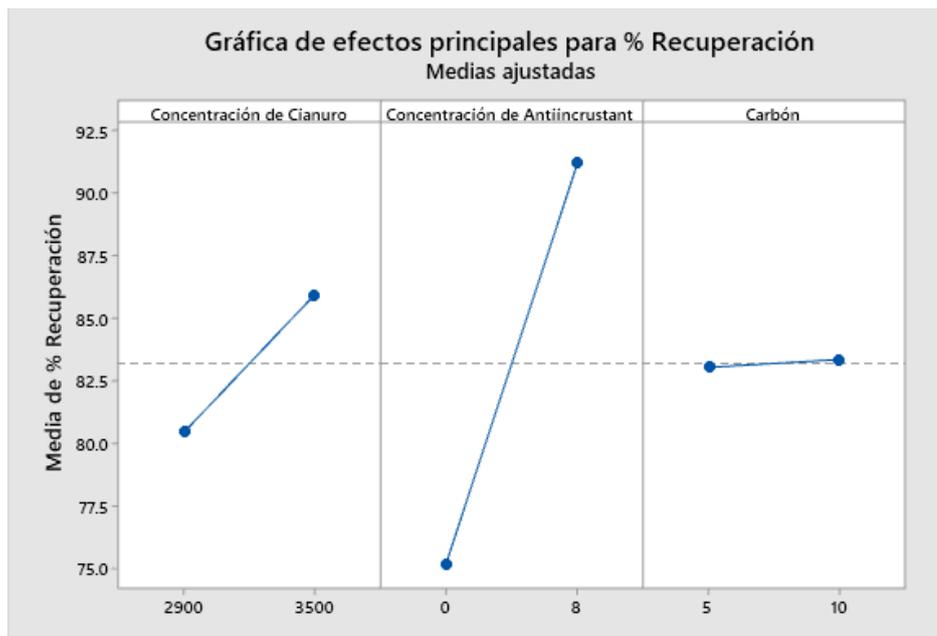
*Optimización del % de recuperación.*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 19**

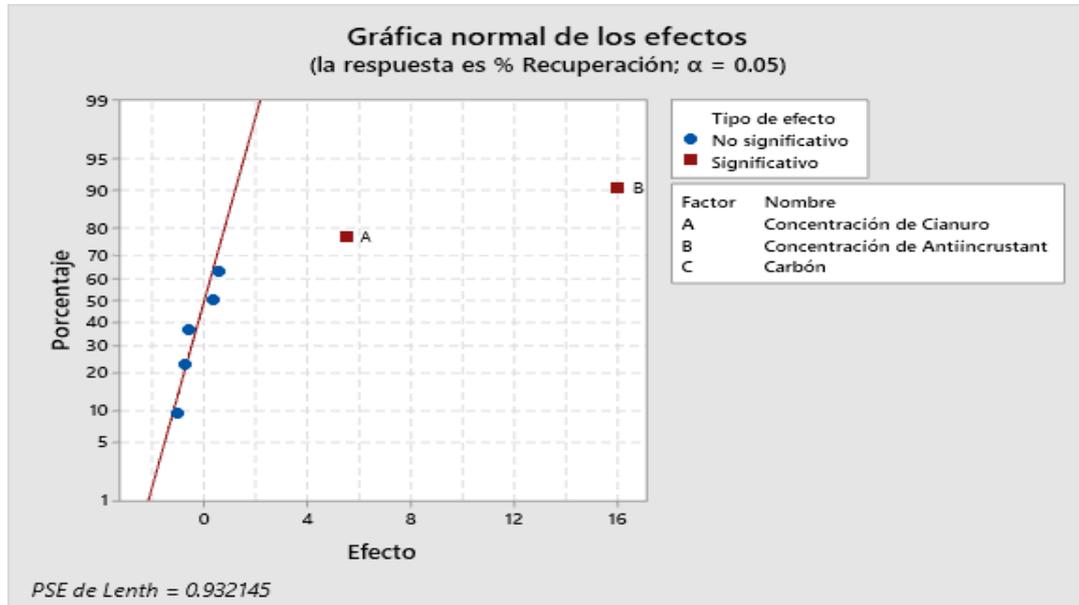
*Gráfico de los efectos principales para % de recuperación.*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 20**

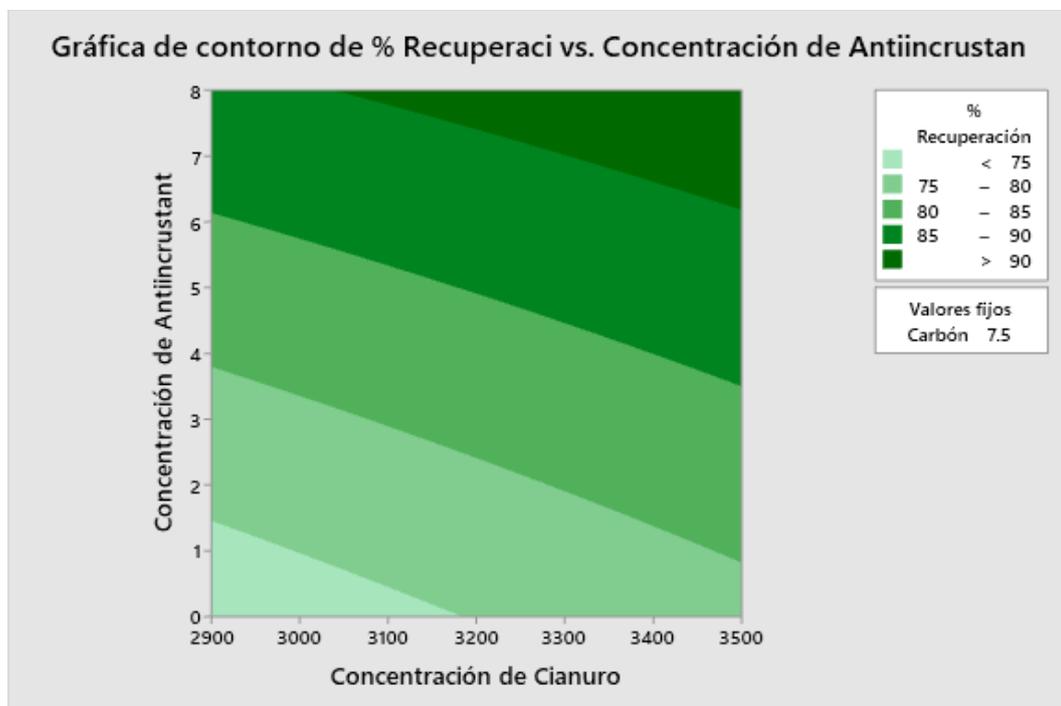
Gráfico de efectos estandarizados para % recuperación.



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 21**

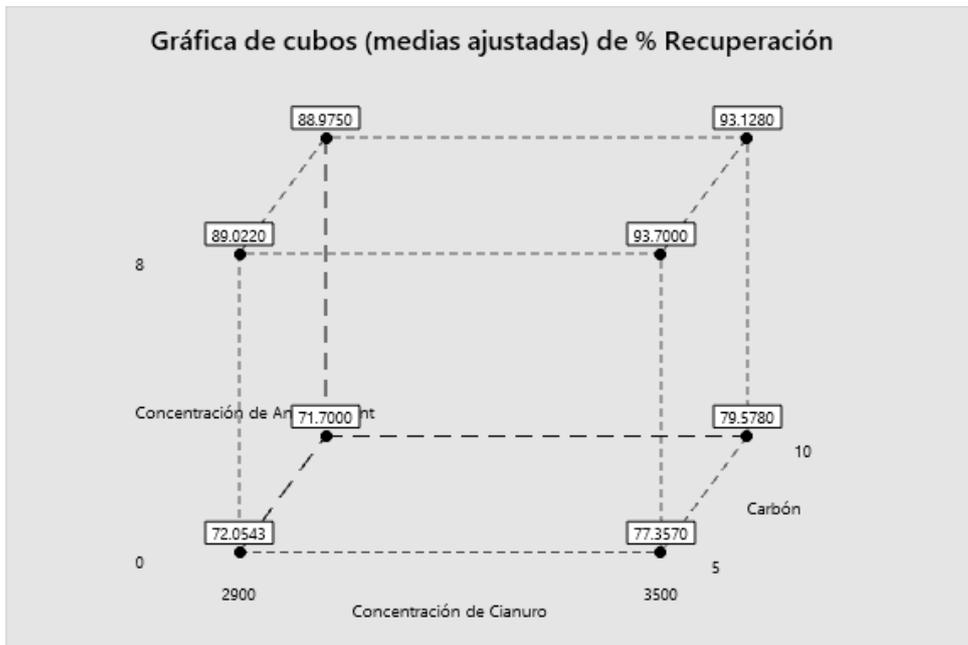
Gráfica de contornos Recuperación v/s concentración de antiincrustante.



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 22**

*Gráfica de cubos de medidas ajustadas del %Recuperación.*



*Nota:* Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se logró optimizar la recuperación de oro mediante el proceso CIL hasta un 93.7% con el uso de antiincrustante.
- Con respecto a las pruebas metalúrgicas de lixiviación por agitación la concentración de cianuro más eficiente fue de 3500 ppm, bajo ciertas condiciones operativas de: tiempo (14 horas), granulometría (89.85 % a malla -200), pH (11), velocidad de agitación (1200 RPM) y porcentaje de sólidos (30%). Obteniendo la mayor recuperación de oro con 91.67%.
- Se determinó la concentración óptima de antiincrustante KURITA T-2420, la dosis óptima fue de 8 ppm. El uso de antiincrustante mejora significativamente la eficiencia de adsorción del carbón activado, alcanzando una eficiencia del 86% en condiciones experimentales.
- Se definió la capacidad de adsorción de carbón activado en la recuperación de oro. En ausencia de antiincrustante la recuperación de oro fue del 71.7% después de 2 horas, mientras que la recuperación de oro mejoró significativamente al 93.7% cuando se usó el antiincrustante. Esto sugiere que el uso de antiincrustante mejora considerablemente la capacidad de adsorción de oro del carbón activado.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda al gerente de CIA MINERA JERUSALEN S.A.C- la instalación de una campana extractora en el área de pruebas metalúrgicas y preparación mecánica para mitigar el polvo y el gas cianhídrico. Y de esta forma no exponer al trabajador en las enfermedades ocupacionales como agentes físicos y químicos.
- Se recomienda futuras investigaciones, realizar otras pruebas experimentales para comparar el antiincrustante Kurita T-2420 con otros tipos de antiincrustante (Kurita GP-4000, Kurita GP-4025, etc.) y de esta forma mejorar el proceso de lixiviación en la recuperación de oro.
- Se recomienda a futuros investigadores hacer las pruebas experimentales con carbón nuevo y con carbón reactivado, y de esta forma poder determinar la mayor existencia de incrustaciones de carbonatos, sulfatos y silicatos en el carbón.
- Se recomienda realizar las pruebas experimentales utilizando el modelo matemático y añadir el tiempo como variable independiente para optimizar los parámetros operativos del proceso CIL.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título: “OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE ORO POR EL PROCESO CIL UTILIZANDO ANTIINCRUSTANTE PARA MINERALES DEL YACIMIENTO MINERO AYSAMIC S.A.C.- AREQUIPA 2024”**

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
¿Se podrá optimizar la recuperación de oro por el proceso CIL utilizando antiincrustante para el tratamiento del mineral del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C.- Arequipa?	Optimizar la recuperación de oro mediante el proceso CIL utilizando antiincrustante para el tratamiento del mineral del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C.-Arequipa.	Se optimizo la recuperación de oro utilizando el antiincrustante por el proceso CIL para el tratamiento del yacimiento Minero AYSAMIC S.A.C.-Arequipa.	<b>Variable dependiente:</b> Recuperación de oro (En porcentaje)	<b>Método de la investigación:</b> Deductivo. <b>Tipo de investigación:</b> Investigación tecnológica aplicada. <b>Nivel de investigación:</b> Explicativo - Descriptivo <b>Diseño de investigación:</b> Experimental puro: Causa – efecto.
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>Población:</b> Los minerales de oro procedentes del yacimiento minero AYSAMIC S.A.C.-Arequipa <b>Muestra:</b> Representativa de 20kg. <b>Técnicas de recolección de datos:</b> Revisión bibliográfica, reporte de análisis químico, pruebas a nivel de laboratorio. <b>Equipos, instrumentos</b> Reportes de laboratorio, tablas de doble entrada y sus gráficas, instrumentos de precisión, computadora, cronómetro, balanzas electrónicas, y software Minitab.
¿Qué concentración de cianuro se necesitará para optimizar la recuperación de oro?	Estimar la concentración de cianuro para optimizar la recuperación de oro.	Con una concentración adecuada de cianuro se logró optimizar la recuperación de oro.	- Concentración de cianuro. (ppm)	
¿Cuál será la concentración de antiincrustante que se requiere para optimizar la recuperación de oro?	Determinar la concentración del antiincrustante para optimizar la recuperación de oro.	Una cantidad óptima de concentración del antiincrustante influyo significativamente la recuperación de oro.	- Concentración de antiincrustante KURITA T-2420. (ppm)	
¿Cuánto será la capacidad de adsorción del carbón activado en la recuperación de oro?	Definir la capacidad de adsorción de carbón activado en la recuperación de oro.	Se definió la capacidad máxima de adsorción de carbón activado en la recuperación de oro.	- Capacidad de adsorción del carbón activado. (gr)  <b>Variables intervinientes:</b> - Granulometría (En micrones) - Tiempo (hr) - Velocidad de agitación (en rpm) - pH (Numérica)	

*Nota:* Elaboración propia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armijos Toledo, I. C. (2011). *Comportamiento del mineral de skam aurífero del yacimiento Fortuna y ensayos de lixiviación con cianuro, de la Compañía Minera Fortuna Gold Mining Corporation*. Loja: Repositorio Institucional de la UTPL. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/645>
- Ballester, A., Verdeja, L. F., & Sancho, J. (2000). *Metalurgia Extractiva - Proceso de obtencion*. SINTESIS.
- Borja Castillo, M. N. (2013). *Estudio de minimización de la precipitación de carbonatos en el proceso de desorción de oro del carbón activado (Tesis - Título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería)*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/1573>
- Bustanza Rivera, V. V. (2019). *Estudio del uso de nitrato de plomo para optimizar la recuperacion de oro en el proceso de cianuracion*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.
- Carhuamaca Rojas, W. R., & Cristobal Cardenas, B. M. (2013). *Recuperacion del oro mediante la pre-aireacion en concentrados de oro piritico en la Empresa "Analitica Mineral Services S.A.C." - Chala - Arequipa*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Ingeniería Química.
- Ccahuana Zavala, V. J. (2005). *Remocion de carbonatos y control de incrustaciones en una planta de carbon activado para la recuperacion de oro(Tesis- Ingeniero Metalurgista de la Universidad Nacional de Ingeniería)*. Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/11579>
- Ccari Sirena, N. N. (2018). *Lixiviacion de minerales de oro con reactivos sandios en la Empresa Minera Colibri S.A.C*. PUNO: Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Química.

- Chavez Flores, P. O. (2014). Determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados. Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/78c1882b-1b52-4d2c-bdd0-ed95e7632e37>
- Cruz Arreola, J. F. (2018). *Control de carbón activado en proceso ADR ( Tesis- Ingeniero Metalúrgico de la Universida de Sonora)*. CRIS-UNISON Sistema de Gestión de la Investigación de la Universidad de Sonora, Remosillo, México. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12984/1466>
- Cubas Villegas, C. (2019). Diseño de planta de agitacion para el tratamiento de relaves auríferos en la provincia de Sandia - Region de Puno . *Diseño de planta de agitacion para el tratamiento de relaves auríferos en la provincia de Sandia - Region de Puno*, 104.
- Espí, J. A. (2001). *El libro de la minería de oro en Iberoamérica*. Madrid: Graficas Monterreina.
- Flores Rada, J. A. (1992). *Metodología teórico-práctica para la obtención de metales preciosos por medio de la cianuración*. Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill Interamericana Editores.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista , L. (2014). *Metodología de la Investigación 6ta edición*. México: McGraw Hill Interamericana Editores.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. I. (2001). *El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro*. Ottawa: Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.

- Marden, J., & House, L. (1992). *The Chemistry of Gold Extractivo, Ellis Horwood Series in Metals and Associated Materials*.
- Misari Chuquipoma, F. S. (2010). *Metalúrgia del Oro*. Lima: San Marcos.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Limusa S.A., Grupo Noriega Editores.
- Ramírez Moreno, C. A., & Sánchez Bustamante, Y. d. (2016). *Influencia del tiempo de lixiviación y concentración de NaCN sobre el porcentaje de recuperación de Au mediante agitación en pulpa de un mineral aurífero procedente de Minera Danzing - Ancash*. Trujillo: Universidad Naciones de Trujillo.
- Rendón Rodríguez, K., Castillo Campos, L., & Azocar Barreto, E. (Enero-Marzo de 2020). Pectina deshidratada de *Passiflora edulis* como inhibidor de incrustaciones minerales. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XXI(1).  
doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n1.010>
- Santacruz Márquez, R. (10 de Octubre de 2019). *Linkedin*. Obtenido de Lixiviación de Oro y Plata: <https://es.linkedin.com/pulse/lixiviaci%C3%B3n-de-plata-y-oro-parte-1-ram%C3%B3n-santacruz-m%C3%A1rquez>
- TECSUP. (2009). *Procesamiento de Minerales II*. Lima.
- Zaldaña Bermúdez, E. M., & Zavaleta Domínguez, G. D. (2016). *Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina (Na<sub>2</sub>S y NaOH) de un mineral refractario con contenido de arsénico procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración*. Trujillo: Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Zevallos Vizcarra, G. G. (2014). Optimizacion de la recuperacion de oro con el uso de peroxido de hidrogeno a nivel de laboratorio de la mina Arasi S.A.C. *Mina Arasi S.A.C.*, 113.

## ANEXOS

### ANEXO 1

*Vista exterior de la planta de beneficio CIA MINERA JERUSALEN S.A.C*



*Nota:* Elaboración propia.

### ANEXO 2

*Área de cuarteo y pesado de muestra de mineral oxidado.*



*Nota:* Elaboración propia.

### ANEXO 3

*Mufla, para secado de muestra de mineral y carbón.*



*Nota:* Elaboración propia.

### ANEXO 4

*Pulverizador mecánico y determinación de malla (-200)*



*Nota:* Elaboración propia.



## ANEXO 5

*Pruebas metalúrgicas y medición de pH.*



*Nota:* Elaboración propia.

## ANEXO 6

*Análisis ICP de la muestra de la solución rica*

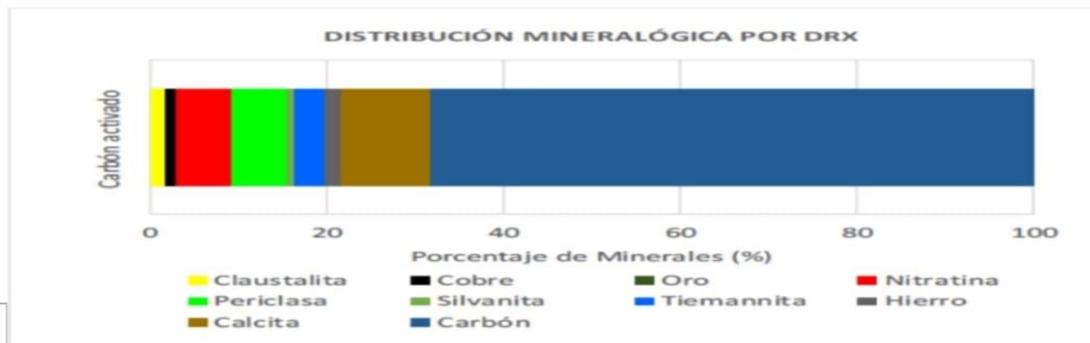
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO
aluminio total	mg/L	0.9056	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
antimonio total	mg/L	0.39192	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
arsénico total	mg/L	82.23	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
bario total	mg/L	0.06814	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
berilio total	mg/L	<0.00005	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
boro total	mg/L	0.04276	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
cadmio total	mg/L	0.00202	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030
calcio total	mg/L	505.8	SMEWW-APHA-AWWAWEF-3030

*Nota:* Elaboración propia.

## ANEXO 7

Porcentaje de minerales DRX (%) en el carbón activado

Minerales	Fórmulas	Porcentaje de Minerales (%)
		Carbón activado
Carbón	C	68.184
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	10.246
Nitratina	Na(NO <sub>3</sub> )	6.343
Periclasa	MgO	6.141
Tiemannita	HgSe	3.512
Hierro	Fe	1.864
Claustalita	PbSe	1.603
Cobre	Cu	1.285
Silvanita	Au <sub>0.75</sub> Ag <sub>0.25</sub> Te <sub>2</sub>	0.718
Oro	Au	0.104
		100.000



Nota: Elaboración propia

## ANEXO 8

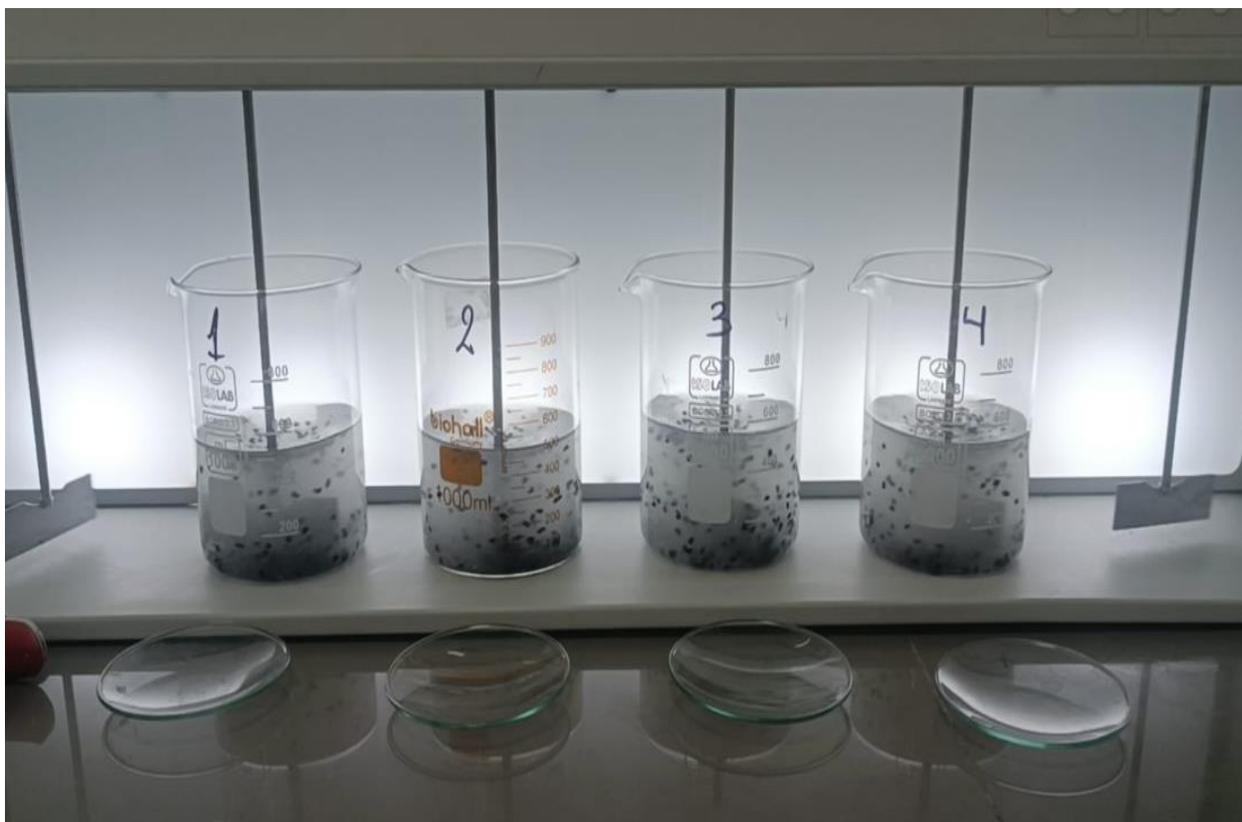
Carbón activado



Nota: Elaboración propia.

**ANEXO 9**

*Pruebas de cinética de adsorción de carbón en JAR TEST.*



*Nota:* Elaboración propia.