

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA, GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON CIANURO
DE SODIO DE LOS MINERALES AURÍFEROS DE MATRIZ
OXIDADA DE LA EMPRESA MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. –
CHALA – AREQUIPA (INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)**

PRESENTADO POR:

Br. JOSEPH ABEL AYMA CUTI

Br. OMAR DOMINIC OCHOCHOQUE CHAMPI

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

ASESOR:

Ing. EDUARDO MARCELO QUISPE NINA

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ING- EDUARDO MARCELO ; QUISPE NINA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON
CIANURO DE SODIO DE LOS MINERALES AURÍFEROS DE MATRIZ OXIDADA DE LA
EMPRESA MINERA ESPAÑOLTA DEL SUR S.A. - CHALA- AREQUIPA (INVESTI -
GACIÓN TECNOLÓGICA)

Presentado por: AYMA CUTI, JOSEPH ABEL DNI N° 78970486 ;
presentado por: OCHOCHOQUE CHAMPI, OMAR DOMINIC DNI N°: 75065656
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO
METALÚRGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 11 de Agosto de 2026


Firma

Post firma EDUARDO MARCELO QUISPE NINA

Nro. de DNI 23957149

ORCID del Asesor 0000-0002-4473-1580

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:613749708

OCHOCHOQUE CHAMPI OMAR DOMINIC AYMA CU... OPTIMIZACION DEL PROCESO DE LIXIVIACION CON CIANURO DE SODIO DE LOS MINERALES AURIFEROS DE MA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:613749708

144 páginas

Fecha de entrega

11 ago 2026, 2:23 p.m. GMT-5

21.006 palabras

Fecha de descarga

11 ago 2026, 2:38 p.m. GMT-5

108.416 caracteres

Nombre del archivo

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE LIXIVIACION CON CIANURO DE SODIO DE LOS MINERALES AU....docx

Tamaño del archivo

22.7 MB



7% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.



8

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco:

Miembros del Jurado Calificador:

En estricta obediencia de las disposiciones instituidas en el Estatuto de Grados y Títulos de la Facultad de ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, se somete a inspección la tesis titulada:

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON CIANURO DE SODIO DE LOS MINERALES AURÍFEROS DE MATRIZ OXIDADA DE LA EMPRESA MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. – CHALA – AREQUIPA” – Investigación tecnológica.

Este trabajo de tesis es de carácter experimental, del proceso de cianuración por agitación de minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A., con el objetivo de mejorar su extracción de Au.

Atentamente:

OCHOCHOQUE CHAMPI, Omar Dominic

AYMA CUTI, Joseph Abel

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por haberme dado la fuerza y la vida para poder culminar y sobrellevar varios obstáculos de mi vida

A mis padres Rubén y Vicentina, por haberme apoyado desde el inicio de mi carrera. Agradezco su esfuerzo y apoyo incondicional que me dieron

A mis hermanas Jennifer y Virginia, que siempre me han acompañado y dado un cálido ambiente de familia y apoyo emocional para seguir adelante

A mis amigos Anthony Tomashini, Omar Castillo, Angelo Holguín, amigos de trabajo y docentes de la universidad que me dieron el impulso a ser lo que soy ahora profesionalmente

OCHOCHOQUE CHAMPI, Omar Dominic

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, quien me otorgó la fortaleza, la claridad y la constancia necesarias para superar cada desafío y alcanzar esta meta profesional.

A mi madre Martina Cuti, por su apoyo permanente, su amor incondicional y por inculcarme, con su ejemplo, los valores del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia que guiaron mi camino a lo largo de mi formación académica.

A mis hermanas Gladis, Rosmery y Liset, por su acompañamiento, comprensión y palabras de aliento, las cuales fueron fundamentales para mantener la motivación y continuar avanzando incluso en los momentos más difíciles.

A mis docentes y amigos, quienes con su orientación, apoyo y motivación constante contribuyeron de manera significativa al desarrollo y culminación de este trabajo

AYMA CUTI, Joseph Abel

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema General	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Justificación	3
1.3.1 Económica	3
1.3.2 Social	3
1.3.3 Tecnológica.....	3
1.3.4 Ambiental.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 General.....	4
1.4.2 Específicos	4
CAPITULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	5

2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2	Antecedentes Nacionales	6
2.2	Bases Teóricas.....	8
2.2.1	Hidrometalurgia del Oro	8
2.2.2	Métodos de Cianuración	8
2.2.2.1	Cianuración Tipo Heap Leaching.....	8
2.2.2.2	Cianuración Vat leaching	9
2.2.2.3	Cianuración por Agitación	10
2.2.3	Mecanismo de Extracción Aurífera Mediante Cianuración.....	11
2.2.3.1	Cianuración de Oro	12
2.2.4	Efecto del Cianuro de Sodio en la Cianuración	13
2.2.5	Factores que Influyen en la Cianuración del Oro	14
2.2.5.1	Concentración de NaCN.....	14
2.2.5.2	Rango de Temperatura.....	16
2.2.5.3	Dimensión de Partícula	16
2.2.5.4	Influencia del Oxígeno y pH en la Cianuración.....	17
2.2.6	Interacción de la Cianuración en Campos de la Ciencia.....	18
2.2.6.1	Análisis Termodinámico del Sistema Cianuro-oro	18
2.2.6.2	ΔG° en la Lixiviación del Oro.....	19
2.2.6.3	Cinética de la Cianuración	20
2.2.6.4	Secuencia Electroquímica de la Cianuración	21
2.2.7	Diseño Experimental DOE	22
2.2.7.1	Diseño Factorial 2^k	22
2.2.7.2	Modelo Matemático	24
2.2.7.3	Cálculo de Efectos.....	25
CAPITULO III.....		26
HIPOTESIS Y VARIABLES		26
3.1	Hipótesis	26
3.1.1	Hipótesis General.....	26
3.1.2	Hipótesis Específicas	26
3.2	Variables	26
3.2.1	Identificación de Variables.....	26
3.2.1.1	Variables Dependientes	26
3.2.1.2	Variables Independientes.....	26

3.3	Operacionalización de Variables.....	27
CAPITULO IV.....		28
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		28
4.1	Ámbito de Estudio	28
4.1.1	Localización Geográfica	28
4.1.2	Unidad de Estudio.....	29
4.2	Diseño de Investigación.....	29
4.2.1	Enfoque de la Investigación.....	29
4.2.2	Tipo de Investigación.....	30
4.2.3	Nivel de la Investigación	30
4.2.4	Diseño Metodológico.....	30
4.3	Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	30
4.3.1	Alcances.....	30
4.3.2	Limitaciones.....	31
4.4	Población y Muestra	31
4.4.1	Población	31
4.4.2	Muestra	31
4.5	Métodos de Recolección de Datos.....	32
4.5.1	Técnica de Muestreo.....	32
4.5.2	Instrumento de Muestreo	32
4.6	Instrumentación y Materiales Utilizados en Laboratorio	32
4.6.1	Materiales y Equipos.....	32
4.6.2	Reactivos.....	33
4.7	Análisis de Datos	33
4.8	Diagrama de Flujo de Pruebas Experimentales	34
CAPITULO V.....		35
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....		35
5.1	Introducción.....	35
5.2	Preparación y Obtención Muestras.....	35
5.3	Pruebas Experimentales de Cianuración	36
5.3.1	Procedimiento Para las Pruebas Metalúrgicas	36
5.3.1.1	Cálculos.....	36
5.3.1.2	Preparación de las Pruebas de Cianuración en Botella	40

5.3.1.3 Controles Reactivos de las Pruebas Metalúrgicas	40
5.3.2 Condiciones de pruebas experimentales	42
5.3.3 Pruebas de Molienda y Análisis Granulométrico.....	43
5.3.4 Tiempo de Molienda	50
5.3.5 Pruebas de Cianuración.....	52
5.3.5.1 Resumen de las Pruebas Experimentales	62
CAPÍTULO VI.....	63
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
6.1 Procedimiento de Análisis de Datos	63
6.1.1 Determinación de Número de Experimentos.....	63
6.2 Análisis de Data Estadístico	65
6.3 Comprobación de las Hipótesis	65
6.4 Diseño 2^3	65
6.4.1 Construcción de la Matriz del Diseño Experimental	66
6.5 Representación Geométrica de las Combinaciones del Diseño.....	68
6.6 Pruebas Experimentales.....	70
6.7 Análisis y Determinación de Efectos de las Variables de Proceso	70
6.8 Cuadrados Medios y Grados de Libertad de los Efectos	73
6.9 Verificación Normal de Efectos Estandarizados del Diseño Experimental	81
6.10 Representación Gráfica de Pareto de los Efectos del Diseño Experimental.....	82
6.11 Análisis de Grafica de Superficie y de Contorno del Diseño Experimental.....	83
6.12 Ecuación de Regresión no Codificada del Diseño Experimental	85
6.13 Coeficiente de Determinación del Diseño Experimental	86
6.14 Optimización de Respuesta del % Extracción del Oro	87
6.15 Discusión de las hipótesis de la investigación	89
6.16 Discusión de resultados de la investigación	89
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contenido de ácido cianhídrico (HCN) en función del pH.....	15
Tabla 2 Representación de la matriz codificada para un diseño factorial 2^3 con 2 puntos centrales.	23
Tabla 3 Operacionalización de Variables	27
Tabla 4 Representación de los resultados al hallar la G.E.	37
Tabla 5 Representación en cuadro del balance de pulpa.....	39
Tabla 6 Condición de las pruebas experimentales	42
Tabla 7 Matriz codificada del diseño experimental para el Minitab 19.....	42
Tabla 8 Prueba N. 01 de molienda	43
Tabla 9 Prueba N. 02 de molienda	44
Tabla 10 Prueba N. 03 de molienda	45
Tabla 11 Prueba N. 04 de molienda	46
Tabla 12 Prueba N. 05 de molienda	47
Tabla 13 Prueba N. 06 de molienda	48
Tabla 14 Prueba N. 07 de molienda	49
Tabla 15 Tiempos de molienda y %-200M	50
Tabla 16 Prueba N. 1 resultados experimentales	52
Tabla 17 Prueba N. 2 resultados experimentales	53
Tabla 18 Prueba N. 3 resultados experimentales	54
Tabla 19 Prueba N. 4 resultados experimentales	55
Tabla 20 Prueba N. 5 resultados experimentales	56
Tabla 21 Prueba N. 6 resultados experimentales	57
Tabla 22 Prueba N. 7 resultados experimentales	58
Tabla 23 Prueba N. 8 resultados experimentales	59

Tabla 24 Prueba N. 9 resultados experimentales	60
Tabla 25 Prueba N. 10 resultados experimentales	61
Tabla 26 Resumen de las pruebas experimentales	62
Tabla 27 Variables y rangos de las variables.....	64
Tabla 28 La matriz codificada para el diseño factorial	64
Tabla 29 Factores y niveles de las variables independientes del diseño	66
Tabla 30 Pruebas y notación de Yates de cada una de las variables independientes.....	67
Tabla 31 Planificación del diseño factorial con el uso de la notación de Yates	68
Tabla 32 Rango de las variables del diseño experimental.....	70
Tabla 33 Función Yates con respecto a los factores de las pruebas experimentales	71
Tabla 34 Contribución de los efectos calculados	73
Tabla 35 Grados de libertad	77
Tabla 36 Análisis de varianza	79
Tabla 37 Datos de solución del diseño experimental Minitab 19	87
Tabla 38 Valores óptimos para la optimización del proceso	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la cianuración Heap Leaching.....	9
Figura 2 Estructura de la Cianuración Vat leaching.....	10
Figura 3 Cianuración por Agitación.....	11
Figura 4 Ratio en función de concentración NaCN.....	14
Figura 5 Generación de HCN y CN^-	15
Figura 6 Efecto térmico en la disolución del Au	16
Figura 7 Especies estables del oro según pH y potencial redox	19
Figura 8 Representación cinética del proceso de cianuración del oro	20
Figura 9 Esquema de la disolución del oro.....	22
Figura 10 Niveles para un diseño factorial 2^3	23
Figura 11 Ubicación geográfica de la planta Españolita del Sur S.A.	28
Figura 12 Vista aérea de la planta Españolita del Sur S.A	29
Figura 13 Diagrama de flujo de pruebas experimentales	34
Figura 14 Curva de molienda N. 01.....	43
Figura 15 Curva de molienda N. 02.....	44
Figura 16 Curva de molienda N. 03.....	45
Figura 17 Curva de molienda N. 04.....	46
Figura 18 Curva de molienda N. 05.....	47
Figura 19 Curva de molienda N. 06.....	48
Figura 20 Curva de molienda N. 07.....	49
Figura 21 Gráfico de tiempo de molienda	50
Figura 22 Gráfico de cubo de los factores A, B y C experimental para la extracción de oro.....	69
Figura 23 Modelo de flujo del diseño con entrada y salida	69
Figura 24 Representación de los efectos principales	76

Figura 25	Representación de los efectos de interacción para % Extracción de oro	76
Figura 26	Representación gráfica de residuos del diseño experimental	80
Figura 27	Representación gráfica de efectos estandarizados del diseño experimental	81
Figura 28	Representación gráfica de Pareto con umbral de significancia de $\alpha = 0.05$	83
Figura 29	Representación de gráfico de superficie del diseño experimental	84
Figura 30	Representación gráfica de contornos del diseño experimental	85
Figura 31	Representación gráfica de la optimización de respuesta del % EO	88

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TMS	: Toneladas métricas secas
TMH	: Tonelada métricas húmedas
TMD	: Toneladas métricas por día
Tc	: Tonelada corta
S.A.	: Sociedad Anónima
ppm	: Partes por millón
pH	: Escala de medición para acidez o basicidad de una solución.
Onz	: Onzas
NaOH	: Hidróxido de sodio
NaCN	: Cianuro de sodio
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
mL	: Mililitros
Kg	: Kilogramos
G.E	: Gravedad específica
g	: Gramos
DOE	: Design of Experiments
CIP	: Carbón en pulpa.
CIL	: Carbón en lixiviación.
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ANOVA	: Análisis de varianza.
°C	: Grados centígrados
<	: Menor que
%	: Porcentaje

RESUMEN

La investigación se desarrolló en 2025 en los laboratorios de Hidrometalurgia y Procesamiento de Minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC, motivada por el problema de baja extracción de oro en minerales auríferos oxidados tratados en la planta beneficio. El objetivo principal fue optimizar la extracción de Au mediante cianuración por agitación, determinando las condiciones operativas más favorables de tamaño de partícula, concentración de NaCN y tiempo de lixiviación.

La metodología consistió en realizar pruebas experimentales en reactores tipo botella, aplicando un diseño factorial de experimentos (DOE) que permitió evaluar de manera sistemática los factores significativos: tamaño de partícula, concentración de NaCN y tiempo de lixiviación. A partir de la combinación de niveles mínimos y máximos de cada variable se construyó la matriz experimental, y los datos obtenidos fueron analizados para establecer un modelo matemático representativo del proceso optimizado.

Los resultados demostraron que la extracción máxima de oro alcanzó el 94,50 % bajo condiciones óptimas: 90 % pasante malla -200, concentración de NaCN de 0,14 % y tiempo de lixiviación de 72 hr. Se concluye que el control riguroso de estas variables es determinante para mejorar la extracción, y que el modelo matemático desarrollado constituye una herramienta predictiva útil.

Palabras clave:

Cianuración, Optimización, Modelo matemático, Extracción de oro.

ABSTRACT

This research was conducted in 2025 at the Hydrometallurgy and Mineral Processing laboratories of the Professional School of Metallurgical Engineering at UNSAAC, addressing the problem of low gold recovery from oxidized ores treated in the beneficiation plant. The main objective was to optimize gold extraction through agitation cyanidation, determining the most favorable operating conditions for leaching time, sodium cyanide concentration, and particle size.

The methodology involved experimental tests in bottle-type reactors, applying a factorial design of experiments (DOE) to systematically evaluate the significant factors: particle size, NaCN concentration, and total leaching time. By combining minimum and maximum levels of each variable, an experimental matrix was constructed, and the data were analyzed to establish a representative mathematical model of the optimized process.

The results showed that maximum gold recovery reached 94.50% under optimal conditions: 90% passing –200 mesh, 0.14% NaCN concentration, and 72 hours of leaching. The study concludes that rigorous control of these variables is critical to improving metallurgical efficiency. Furthermore, the mathematical model developed provides a predictive tool for plant operations, supporting decision-making and demonstrating that recovery levels can be significantly enhanced under optimized conditions.

Keywords:

Cyanidation, Optimization, Mathematical model, Gold extraction.

INTRODUCCIÓN

La extracción del oro es una actividad económica minera muy sustancial en la nación, así como en otros países. El proceso de cianuración es viable y rentable cuando se establece buenos parámetros de operación, por el cual la mayoría de las empresas hace uso de este proceso.

En este trabajo de investigación se hace el uso del proceso de cianuración por agitación, donde se da importancia a sus parámetros operativos que influyen de manera directa en la disolución del oro. Por lo tanto, esta investigación está basado en el estudio experimental de sus parámetros para el ajuste eficiente del proceso de cianuración de los minerales auríferos oxidados de la planta beneficio.

Esta investigación se hace con el propósito de mejorar la extracción del oro de la empresa, para aumentar su rentabilidad y beneficiar salarialmente a los trabajadores, pues en la actualidad se ven impactados por este problema.

Los resultados de esta investigación se pueden llevar a nivel de planta industrial en corto plazo para incrementar la producción, por el cual la investigación está centrada en mejorarla eficientemente.

La tesis esta desarrollado en varios capítulos esenciales para comprender el desarrollo del trabajo. CAPÍTULO 1: Se establece el contexto problemático de la investigación, con sus problemas y objetivos correspondientes, CAPITULO 2: Se incluye los antecedentes y los fundamentos teóricos, CAPITULO 3: Se muestra las hipótesis y el desglose de las variables, CAPITULO 4: Se detalla la metodología de la investigación que está vinculado con el estudio de la investigación, CAPÍTULO 5: Se hace el desarrollo experimental de la investigación y el CAPITULO 6: Se analiza y se discute los resultados experimentales de la investigación correspondiente.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

En la actualidad, la cianuración por agitación es estudiada con el objetivo de mejorar sus parámetros operativos y maximizar la extracción de oro en los minerales que lo contienen. En este caso los minerales auríferos oxidados que se procesa en la planta beneficio es el problema de estudio porque tiene una baja extracción de oro por la influencia de sus parámetros de operación y su conducta del mineral aurífero oxidado en la cianuración.

La planta beneficio es una compañía dedicada a procesar minerales auríferos provenientes por acopio según su procedencia, donde la empresa los adquiere para ser procesada posteriormente por el proceso de cianuración por agitación. Estos lotes ingresados son registrados según lugar de procedencia como son de Apurímac, Challhuanca, Torrecilla, Rinconada, Pachaconas, Caraveli, Calpa, Secocha, Colquemarca, Nazca y otros. Después de este registro se saca muestra de los lotes para análisis de ley del mineral en laboratorio para su compra. Los resultados de su ley tienen que ser mayor a 3 g/Tm de los minerales auríferos oxidados. Por lo tanto, estos minerales auríferos oxidados, puesto que, al poseer esta característica, es necesario pasarlos por un buen proceso de cianuración por agitación ya que se obtiene una extracción de oro con un buen valor comercial.

La planta beneficio procesa 150 TMD de mineral aurífero oxidado que pasa por el proceso de cianuración por agitación. Actualmente la extracción de oro del proceso de cianuración en la empresa está en un 75 %, por lo que en relave se pierde un 25 % del oro. Lo que implica una baja rentabilidad de la empresa, el cual es el problema principal.

Uno de los matices sustanciales que resaltar en planta, véase Anexos [6-12], es que no hay una buena molienda correspondiente, en la actualidad el tamaño de partícula se encuentra en una malla -200 de un rango de 65 a 70 % del overflow de los hidrociclones que amerita ser revisada, puesto que este tamaño no es la adecuada para que se obtenga una buena extracción de oro y es una variable sustancial en el proceso.

La fuerza del CN^- que se procesa en planta no es lo apropiado también porque se trabaja con 1100 ppm, entonces se necesita una mayor fuerza para obtener una buena disolución del oro y que acompañado con el tamaño de partícula más fina se obtenga una buena extracción de oro.

El pH en el proceso se maneja de 10.5 a 11, pero este va decreciendo según va lixiviándose en los tanques de forma decreciente, por lo que se requiere la adición de soda caustica en los últimos tanques para no formar ácido cianhídrico (HCN), esto sucede cuando decrece menor a pH 10. Este punto es bueno saber porque nos ayuda a que el proceso se lleve con continuidad y el proceso de la lixiviación con cianuro sea eficaz.

El tiempo de lixiviación de planta es de +/- 50 horas, analizando más este punto se necesita de un tiempo promedio o más para una completa disolución del oro junto con los otros parámetros necesarios para la extracción del oro.

Entonces, se plantea mejorar esta extracción de oro optimizando sus variables de proceso como son: Concentración de cianuro, tiempo de lixiviación y tamaño de partícula (malla # -200). Por el cual, se establece las condiciones necesarias y favorables para una buena extracción del oro y así mejorar la condición financiera de la empresa.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo optimizar la extracción de oro del proceso de cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A.?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué tamaño de partícula del mineral será óptimo para incrementar el porcentaje de extracción de oro?
- ¿Cuál será el tiempo de lixiviación necesario para optimizar el porcentaje de extracción de oro?
- ¿Cuál será la concentración de cianuro de sodio necesaria para obtener una mayor extracción de oro?

1.3 Justificación

1.3.1 Económica

Los porcentajes de extracción de oro se elevarán significativamente, generando mayores ingresos económicos para la empresa, así como sus colaboradores y el estado del Perú.

1.3.2 Social

En lo social, contribuiría en un mejor desarrollo como empresa en la localidad donde está ubicada, incluyendo más beneficios para la propia compañía como para las mejoras de condición de trabajo, remuneraciones económicas para sus trabajadores, etc.

1.3.3 Tecnológica

Mediante el uso de diseño de experimentos se desarrolla la investigación tecnológica que nos permite simular matemáticamente las variables óptimas para incrementar la extracción de oro en el proceso de lixiviación con cianuro.

1.3.4 Ambiental

La relevancia ambiental de esta investigación radica en optimizar los parámetros operacionales de lixiviación para no sobrepasar las concentraciones de cianuro de sodio mayores a 1400 ppm. Al controlar las variables como el tiempo de lixiviación, la dosificación de reactivos y el mantenimiento de una alcalinidad ($\text{pH} > 10.5$), se previene la volatilización de gas cianhídrico (HCN) hacia la atmósfera.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Optimizar la extracción de oro del proceso cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A.

1.4.2 Específicos

- Hallar el tamaño de partícula del mineral óptima para incrementar el porcentaje extracción de oro superior al 75%.
- Establecer el tiempo de lixiviación necesario para optimizar el porcentaje de extracción de oro superior al 75%.
- Determinar la concentración de cianuro de sodio necesaria para obtener una mayor extracción de oro superior al 75%.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Zapata Moreno, C. (2021) *“Determinación de las condiciones óptimas del proceso de cianuración mediante un modelo estadístico, para beneficiar el oro de una planta de Andes – Antioquia”* tesis realizada en Colombia.

Donde el objetivo fue determinar las condiciones óptimas del proceso de cianuración, mediante un modelo estadístico, para maximizar la recuperación de oro. Concluye que el modelo estadístico aplicado indica que su extracción de oro máximo es del 90.83%, usando una concentración de 1gr/L de NaCN, tiempo de lixiviación de 10hr y que con estas condiciones se hace un menor uso de reactivo. También, que el tiempo de lixiviación es la variable más importante para la extracción de oro en el proceso de lixiviación con cianuro, tal cual que puede llevarse a un nivel industrial dada a la confianza del diseño.

Ruiz, C. (2019) *“Modelamiento estadístico de la lixiviación con cianuro de un mineral del municipio de Andes”* tesis realizada en Colombia.

Donde el objetivo fue aplicar un modelo estadístico para optimizar la lixiviación con cianuro de un mineral aurífero del municipio de Andes, identificando las condiciones experimentales que maximizan la recuperación de oro y proponiendo la cianuración como alternativa más eficiente y menos contaminante frente a la amalgamación con mercurio. Concluyendo que, la fase experimental se llevó a cabo utilizando botellas giratorias, con el designio de evaluar la incidencia de distintas variables, específicamente la Conc. de NaCN (g/L) y el tiempo de cianuración (t), sobre el rescate del oro. A partir de estos experimentos, se

determinaron valores óptimos para maximizar la extracción del metal precioso. Los resultados obtenidos indican que el mineral aurífero presenta una alta capacidad de lixiviación con NaCN, alcanzando una extracción del 93.65% de oro bajo condiciones de 2.5 g/L de NaCN y un tiempo de lixiviación de 12 horas.

Melo, M., & Cruells, M. (2015) *“Modelación matemática de la cinética de lixiviación de oro en reactores de agitación”*. Tesis realizada en Chile.

Dónde el objetivo fue desarrollar y validar un modelo matemático predictivo basado en el mecanismo de núcleo sin reaccionar para describir la cinética de lixiviación del oro en reactores de agitación mecánica, cuantificando el impacto de variables como la granulometría, la concentración de reactivos y el oxígeno disuelto sobre la velocidad de disolución del metal. Concluye que la cinética de lixiviación transita de un control por difusión de masa hacia un control por reacción química superficial al optimizar la velocidad de agitación, demostrando matemáticamente que la velocidad de disolución se maximiza al mantener la relación estequiométrica óptima entre el cianuro y el oxígeno disuelto según la ley de Kudryk y Hedley

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Saravia Apaza, S. (2018) *“Optimización del proceso de cianuración en la minera Veta Dorada SAC”*.

Donde el objetivo fue determinar las condiciones óptimas del proceso de cianuración en la minera Veta Dorada S.A.C., mediante la evaluación experimental de variables críticas como la granulometría, el pH y la concentración de cianuro de sodio, con el fin de obtener un DORE de buena pureza y maximizar la extracción de oro al 95%. Que concluye que en sus pruebas experimentales de optimización desarrolladas obtienen una extracción de oro por encima del 95%, manteniendo una configuración de variables operacionales de: cantidad de cianuro al 3.33%, una granulometría del 96% de malla -200 y un pH estable de 11.5 para una

mayor extracción. Por otro lado, en su análisis de varianza, la granulometría tiene un impacto significativo en el análisis que influye en la extracción de oro.

Yana Vilca, J. (2018) *“Optimización del proceso de cianuración de oro en la planta de la Joya Mining”*.

Donde el objetivo fue optimizar el proceso de cianuración de oro en la planta de la Joya Mining, evaluando las principales variables operativas (granulometría, concentración de cianuro, pH y tiempo de lixiviación) para maximizar la extracción de oro y mejorar la eficiencia metalúrgica del proceso. Concluye que reducir la malla de corte provocó que la extracción de oro se aumente hasta un rango de 94% tomando el tiempo de agitación de 120 horas, un dispendio de NaCN de 6Kg/Tm y un pH de 12. Como buen punto de anclaje nos indica tener una estrecha coordinación entre laboratorio metalúrgico y la planta del proceso, ya que funciona como una estrategia para mejorar la producción.

Vásquez, C. (2021) *“Evaluación de las principales variables del proceso de lixiviación y su influencia en la extracción de oro”*

Donde el objetivo fue evaluar las principales variables del proceso de lixiviación con cianuro y analizar su influencia en la extracción de oro, con el fin de identificar las condiciones óptimas que maximicen la extracción del metal y mejoren la eficiencia del proceso metalúrgico. Concluye que se obtuvieron resultados óptimos donde mediante ensayos de cianuración en columna, se determinó que la tasa de riego óptima corresponde a $12.5 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$, concentración de NaCN a 200 ppm, un pH de 10.5 que garantiza una eficiente extracción de oro por encima del 80 %. También, al incluir puntos centrales replicados en un arreglo 2k, se mejora la estimación del error experimental y se valida la linealidad del modelo, asegurando que capture los efectos reales de las variables manipuladas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 *Hidrometalurgia del Oro*

En el siglo XVI se dio la utilización de la hidrometalurgia debido al alto valor económico del oro. Sin embargo, en 1887, Mac Arthur y los hermanos Forres descubrieron el proceso de cianuración de minerales auríferos y argentíferos que nos llevarían a la era de la hidrometalurgia moderna (Marsden, 2006).

Por otra parte, la hidrometalurgia del oro presenta ventajas: El proceso se da a temperaturas bajas, existe una mayor selectividad, el proceso puede tratar minerales refractarios como la arsenopirita. En resumen, podemos decir que la hidrometalurgia del oro es más versátil, de alto rendimiento y bajo impacto ambiental (Marsden, 2006).

2.2.2 *Métodos de Cianuración*

La aplicación de estos métodos de cianuración se hace con previa evaluación metalúrgica y viabilidad económica. Donde también se toma factores de operación con la mira de llegar una buena extracción de oro.

2.2.2.1 Cianuración Tipo Heap Leaching

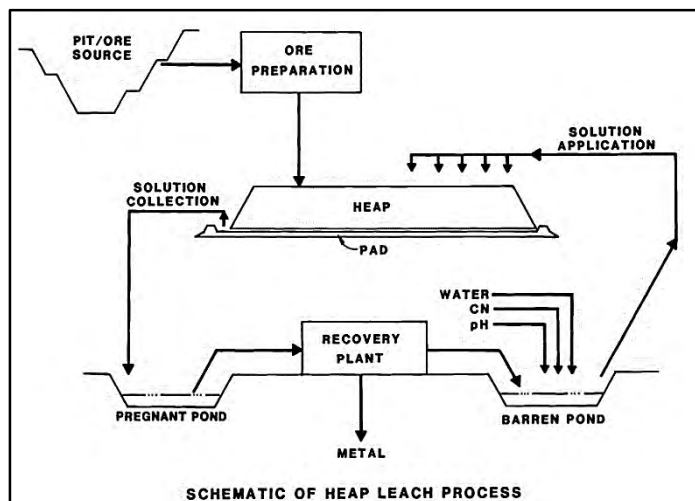
El lixiviado en pilas (Heap Leaching) es un método de bajo costo utilizado para tratar minerales de baja ley, su desarrollo de cómo funciona es de la siguiente manera (House, 2006):

1. Se acumulan grandes montones trapezoidales de mineral sobre un material que no permite el paso de líquidos.
2. Luego, se riega o vierte una solución lixivante específica (diferente para cada tipo de mineral) encima del mineral
3. El líquido atraviesa el mineral, facilitando la disolución de los metales preciosos
4. El mineral lixiviado se adhiere al fondo y se deposita en la superficie impermeable

Este proceso es especialmente útil para minerales que no puede darse a plenitud por los altos costos de operación del proceso por agitación. Ver Fig. 1

Figura 1

Estructura de la cianuración Heap Leaching



Nota. En donde se detalla el inicio y el producto final del proceso de este tipo. Tomado de Heinen (1978)

2.2.2.2 Cianuración Vat leaching

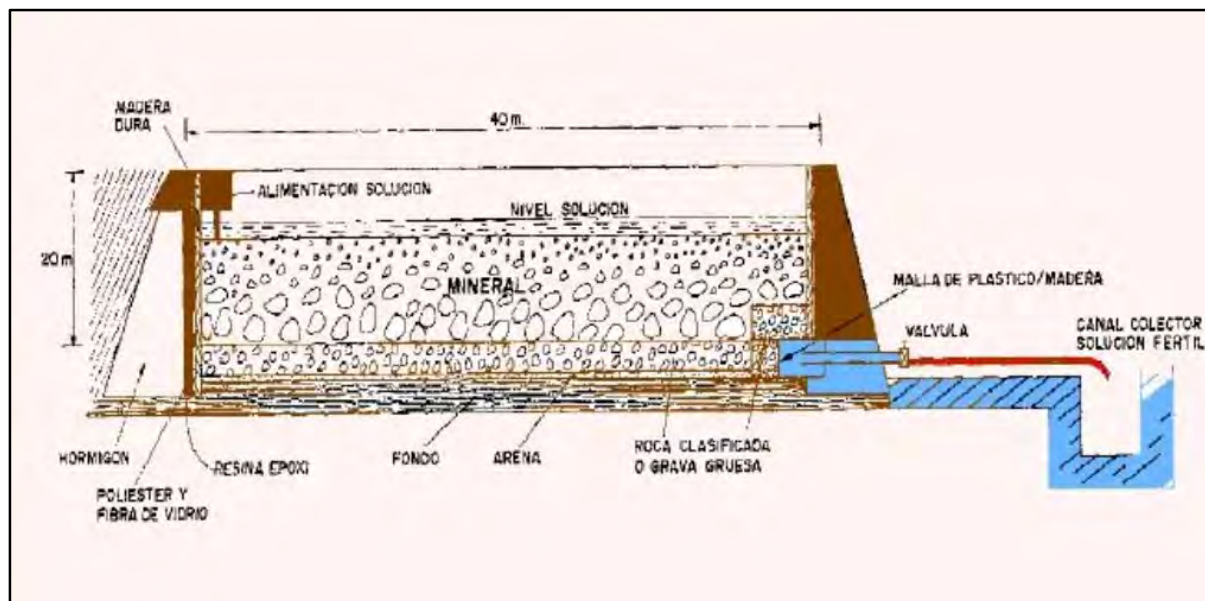
La cianuración Vat leaching es un método de procesamiento de minerales que se esgrime para liberar metales valiosos como el oro, que se desarrolla de la siguiente manera (Adams, 2005):

1. Se tritura el mineral y se coloca en grandes contenedores o tanques llamados “vat”.
2. Se agrega la solución alcalina de cianuro al mineral triturado para disolver los minerales deseados
3. La solución lixiviante se infiltra en el mineral, disolviendo los metales o minerales objetivo.
4. Finalmente, se retira la solución y se recupera el metal disuelto

Este proceso se desarrolla como se estima en la Fig. 2, es eficiente y se asemeja a la lixiviación en pilas, pero en lugar de montones de mineral al aire libre, se realiza en un entorno controlado.

Figura 2

Estructura de la Cianuración Vat leaching



Nota. En esta imagen se detalla el inicio y el producto final del proceso. Tomada de Marsden, J. O., y House, C. I. (2006)

2.2.2.3 Cianuración por Agitación

Es una estrategia eficiente para extracción de Au y Ag de minerales, que funciona de la siguiente secuencia (Adams, 2005):

1. El mineral triturado se muele en la molienda y se clasifica por medio de hidrociclones para liberar las partes finas de oro para ser expuestas a la solución lixivante.
2. Luego se lixivia en tanques agitadores con ingreso de aire durante periodos de hasta 48 horas, como el de la figura 3.

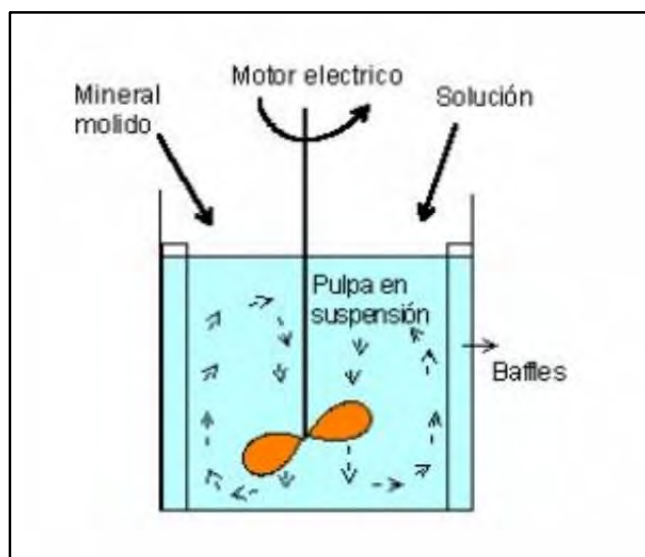
3. La fuerza de Conc. de cianuro se consume hasta llegar al mínimo por ciento en función al pH para una buena extracción.

“La agitación en la lixiviación se define como un método hidrometalúrgico en el cual se utiliza un tanque para mantener los sólidos minerales en suspensión mediante la acción de agitadores mecánicos o la inyección de aire. Estos sistemas aprovechan la dinámica del flujo en un reactor único para optimizar la cinética de la reacción y mejorar la eficacia de la cianuración” (Adams, 2005). Tal como se aprecia en la Fig. 3

Este proceso es preferido para minerales de alta ley y se clasifica en cianuración de dos tipos, CIP y CIL (Piscoya Apaza, 2018).

Figura 3

Cianuración por Agitación



Nota. En esta imagen se ve la parte interior de un tanque. Tomada de Marsden, J. O., y House, C. I. (2006)

2.2.3 Mecanismo de Extracción Aurífera Mediante Cianuración

El proceso de cianuración de oro se comprende como un proceso hidrometalúrgico donde el agua actúa como medio de disolución del NaCN, convirtiéndose en una solución acuosa lixivante para la superficie de la partícula de oro. Por otra parte, al efectuarse la

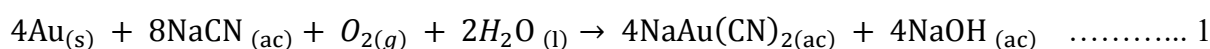
agitación la partícula de oro con la solución cianurante logra una suspensión de partículas permanente con el objetivo de lograr una disolución completa del oro (Marsden & House, 2006).

2.2.3.1 Cianuración de Oro

Se enmarca en las metodologías metalúrgicas utilizada para minerales de oro para su extracción. En este proceso, se busca transformar el oro (insolubilidad en agua) en complejos metálicos aniónicos de aurocianuro, mediante la acción de la lixiviación. Y de tal procedimiento se obtiene la disolución del oro (Aguirre, 2005).

Es representada por una ecuación química global que es representada de la siguiente manera:

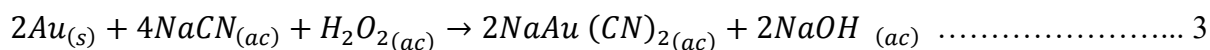
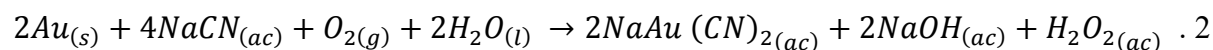
- *Ecuación de Elsner*



Esta reacción química es la representación de lo que sucede para que se obtenga una disolución de oro completa.

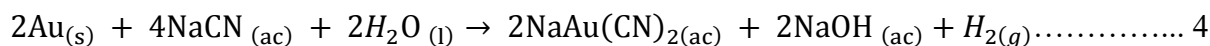
También existe postulados de otros autores que tienen similitud con la ecuación 1, que son los siguientes:

- *Ecuación de Bloedlaender*



Este enunciado la de Bloedlaender es idéntico a la ecuación 1 con la diferencia de que la reacción química esta desglosado de otra forma.

- *Ecuación de Janin*



Los postulados 1, 2 y 3 tienen correlación que se expresa en estos enunciados:

- En la ecuación 1 la reacción química se efectúa de forma total, eso quiere decir que el cianuro se consume en su totalidad o también que se da una disolución de oro completa.
- Con respecto ecuación 3, explica que el sistema no propicia la conversión completa del oro en su forma soluble.
- Para la ecuación 2, destaca que si son favorables las constantes de equilibrio. Por lo tanto, la reacción química es consistente, pero con la adición de una formación de H_2O_2 .

Entonces, el mejor postulado valido seria la ecuación 1, que para este trabajo de investigación tomamos cabida.

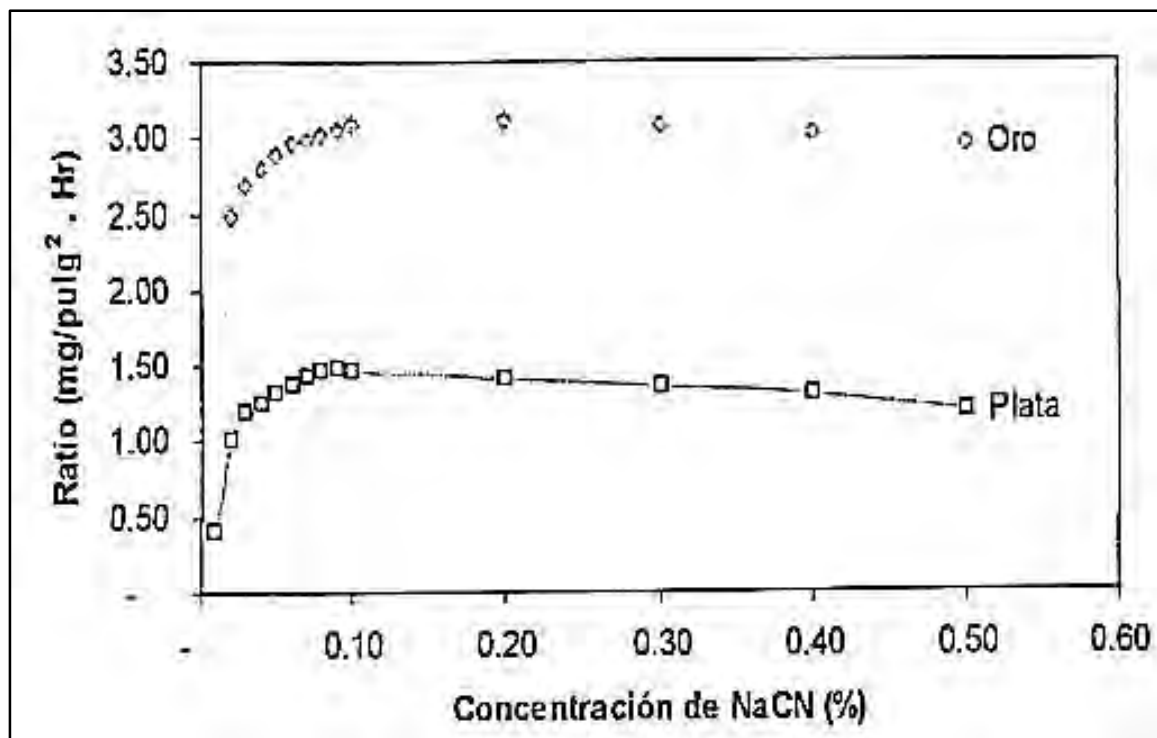
2.2.4 Efecto del Cianuro de Sodio en la Cianuración

El cianuro de sodio desempeña un papel fundamental en la lixiviación de oro porque posee aspectos relevantes en el proceso. Al tratarse por el método de agitación los iones cianuro (CN^-) disuelven al oro formando así una solución rica. Además, el cianuro de sodio está condicionado a trabajar en medios alcalinos de un rango de 9.5 – 11.5 de pH, porque el ácido cianhídrico y el ion cianuro están en equilibrio en este rango (Chuquipoma, 2010).

“La frecuencia de desprendimiento del oro en fase líquida aumenta rápidamente en un principio, exhibiendo una correspondencia prácticamente directa y proporcional al elevarse la concentración de cianuro. No obstante, llega a un máximo, y subir aún más la concentración no produce una mayor disolución proporcional tal como se indica en la Fig. 4; en su lugar, se observa un sutil efecto inhibitorio, junto de un incremento en el expendio.” (Fleming, 1987).

Figura 4

Ratio en función de concentración NaCN



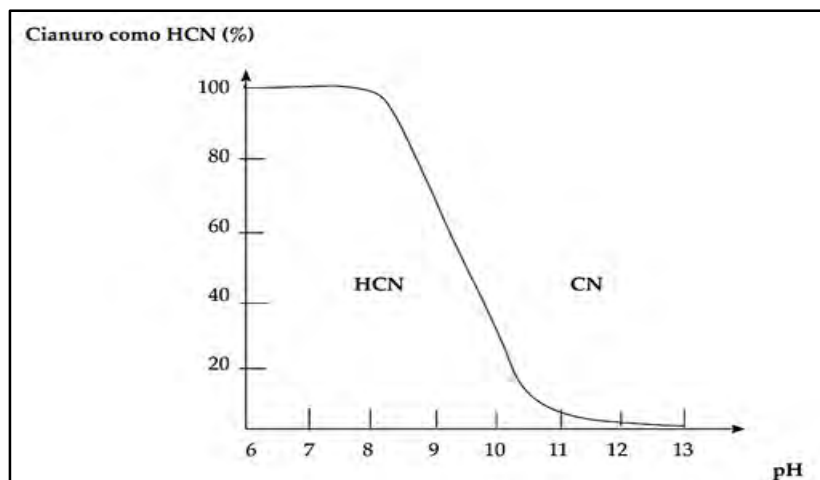
Nota. En la imagen se observa el modo de actuar de la disolución del Au y Ag en relación de la Conc. de NaCN, evidenciando que, a partir de un 0.10% de NaCN, se alcanza una tasa de disolución favorable para ambos metales. Tomada de Tibbals (1987).

2.2.5 Factores que Influyen en la Cianuración del Oro

2.2.5.1 Concentración de NaCN

Mientras se lleva a cabo la cianuración la [NaCN] es importante determinarlo para la premura de disolución de oro (Marsden, 2006). Eso es razón por la que los sectores industriales de cianuración de oro se hace aprovechamiento de esta particularidad.

En operaciones reales, es común que las plantas de cianuración usen soluciones que contienen alrededor de 0.1% de NaCN. Los valores medios de NaCN tienden a situarse entre 0.1% y 0.3% (Mahandra, 2006). Ver Fig. 5

Figura 5*Generación de HCN y CN^-* 

Nota. La imagen muestra cómo varía el porcentaje de cianuro en su forma de HCN dependiendo del pH, con una transición importante alrededor de pH 9. Tomada de Misari (2010).

La figura 5, evidencia de qué manera el pH de una solución condiciona la proporción en que el cianuro se presenta en sus dos formas de existencia: como compuesto molecular gaseoso (HCN) o como ion disuelto en solución (CN^-).

La velocidad de la hidrólisis del NaCN depende de la cuantía de sustancia alcalina libre. Cuando el importe lo alcalino es elevado, la disgregación del CN es insignificante, pero en ausencia de álcali, este puede retrasarse mediante la agregación de óxido de calcio (Habashi, 1967). Ver Tabla 1

Tabla 1*Contenido de ácido cianhídrico (HCN) en función del pH*

pH	HCN	CN^-
8.3	89.9	9.9
9.2	49.9	49.9
10.1	19.9	89.9

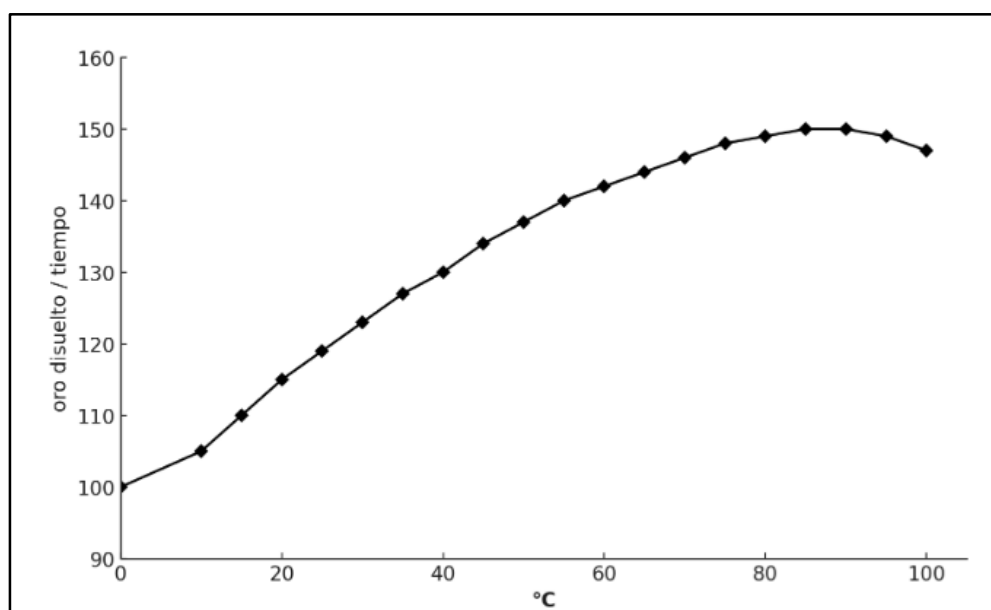
Nota: Misari (2010). Según a esta tabla, al elevarse el pH, se acrecienta la cuantía de cianuro libre mientras que el ácido cianhídrico disminuye.

2.2.5.2 Rango de Temperatura

El acrecentamiento del nivel térmico amplifica la prontitud de disolución del Au durante la lixiviación, también provoca una mayor solubilización de impurezas y acelera las reacciones secundarias responsables del consumo de cianuro. Por lo que se debe trabajar a temperaturas moderadas (Ccari, 2018). Esto es evidenciado en la Fig. 6.

Figura 6

Efecto térmico en la disolución del Au



Nota. Hidrometalurgia del oro. Desencadenación de Au disuelto según los °C. Tomada de Parga T., J. R. (2011).

2.2.5.3 Dimensión de Partícula

Cuando hay presencia de oro libre y de partícula gruesa en los minerales, se suele emplear separación por gravedad para su recuperación. Cuando hay Au en el mineral se puede liberar por conminución y se recupera por métodos de concentración por flotación. Sin embargo, cuando el mineral que contiene al oro no puede ser procesado por los métodos anteriores es recomendable, por sus ventajas tecnológicas, recurrir a procesos de cianuración. De otra parte, se pueden combinar procesos de cianuración con los procesos anteriores citados;

así, por ejemplo, antes de la cianuración, si el mineral contiene oro grueso, este puede ser separado por gravimetría y proseguir con la extracción de oro restante por cianuración (Gupta, 1990).

Una práctica recomendable antes de procesar los minerales de oro es provechosa reducir el tamaño de partícula del mineral que contiene al oro por operaciones de conminución con la finalidad de seleccionar el mejor proceso. De manera que el tamaño de partícula tiene influencia. Cuales quiera sean los métodos de tratamiento es conveniente abordar esta variable, sobre todo para los procesos de cianuración. (Corrans, 1982).

Los minerales que contienen al metal valioso, oro, para los procesos de lixiviación, particularmente por agitación, pasan por una serie de etapas de conminución, para crear mayor área del intercambio entre el mineral y la fase líquida cianurante. (Aguirre, 2005).

De lo que se debe tomar, como importante y con efectos significativos, la variable el tamaño de partícula, con la finalidad de lograr mayor eficiencia de extracción. El mineral de oro necesita un tamaño adecuado de partícula y debe de ser debidamente estudiado y caracterizado en la sección de molienda (Ramsay, 2020).

2.2.5.4 Influencia del Oxígeno y pH en la Cianuración

Oxígeno: Bajo condiciones normales de cianuración, el (O_2) es un componente clave para lograr la disolución del oro. En contraste, numerosas pruebas han demostrado que una buena aireación puede ser igual de efectiva que estos agentes químicos (Espinoza., 2018).

En los procesos de cianuración de minerales auríferos la aireación a la pulpa es necesario. “El oxígeno rescata un papel notable en la disolución del Au y la Ag durante la cianuración, siendo el aire del ambiente la fuente para la aireación de la pulpa”. (Espinoza, 2018). Por esta razón el oxígeno es primordial para el proceso de cianuración.

pH: El cianuro puede ser neutralizado mediante la aplicación de hidróxido de sodio en solución y se constituye en la alcalinidad protectora. Tiene por finalidad regular el pH en los rangos que permitan llevar a cabo la cianuración (La Brooy, 1994).

El rango óptimo de pH para la lixiviación cianurada de oro se encuentra entre aproximadamente 10.5 y 11. En ese intervalo, la celeridad de disolución aumenta de forma significativa, lo que favorece un mejor desempeño del proceso de cianuración.

Mantener un pH alcalino es esencial para lixiviación (La Brooy, 1994):

- Impedir que el cianuro se vea afectado por procesos de hidrólisis o reacción con CO_2 del aire.
- Descomponer bicarbonatos y neutralizar compuestos indeseables en el agua
- Neutralizar acidez del mineral y productos de su descomposición.

2.2.6 Interacción de la Cianuración en Campos de la Ciencia

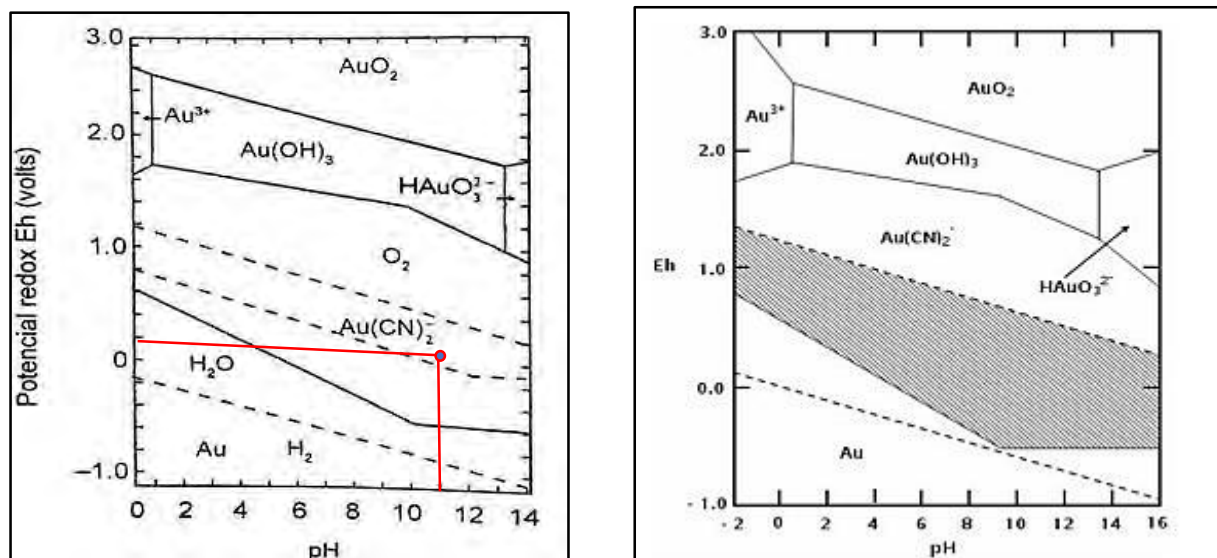
2.2.6.1 Análisis Termodinámico del Sistema Cianuro-oro

Los diagramas de Pourbaix son gráficos de equilibrios electroquímicos. Se puede construir mediante las reacciones de semiceldas (potenciales de reducción). Por otro lado, se puede identificar zonas de estabilidad y regiones donde las oxidaciones o reducciones son viables termodinámicamente con la finalidad de predecir y evaluar los procesos metalúrgicos (Taggart, 1945).

Datos termodinámicos de minerales auríferos se requiere que el oro se oxide a una especie soluble, además de ser estable a las condiciones ambientales en las que se está cianurando. El diagrama de pourbaix nos muestra las rxn de ox-red. En estos diagramas se aprecia las zonas de estabilidad de los distintos componentes del proceso de cianuración (Tache, 2022). Como se ve en la Fig. 7

Figura 7

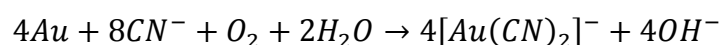
Especies estables del oro según pH y potencial redox



Nota. Estas figuras representan la estabilidad del oro en influencia del pH y el potencial de las rxn de ox-red (Eh), destacando las condiciones bajo las cuales el oro metálico (Au) puede disolverse o permanecer estable, siendo clave para comprender el comportamiento termodinámico del oro durante la cianuración. Tomada de Fleming, C. A. (1987).

2.2.6.2 ΔG° en la Lixiviación del Oro

Reacción global de cianuración del oro:



El ΔG° se calcula como:

$$\Delta G^\circ = [4\Delta G_f^\circ([Au(CN)_2]^-) + 4\Delta G_f^\circ(OH^-)] - [8\Delta G_f^\circ(CN^-)] + \Delta G_f^\circ(O_2) + 2\Delta G_f^\circ(H_2O)$$

La ΔG_f° del Au° y del O° es cero porque son elementos en su estado estándar, En condiciones normales de cianuración ($pH \approx 10-11$, oxígeno presente), la reacción del oro presenta:

$$\Delta G^\circ < 0$$

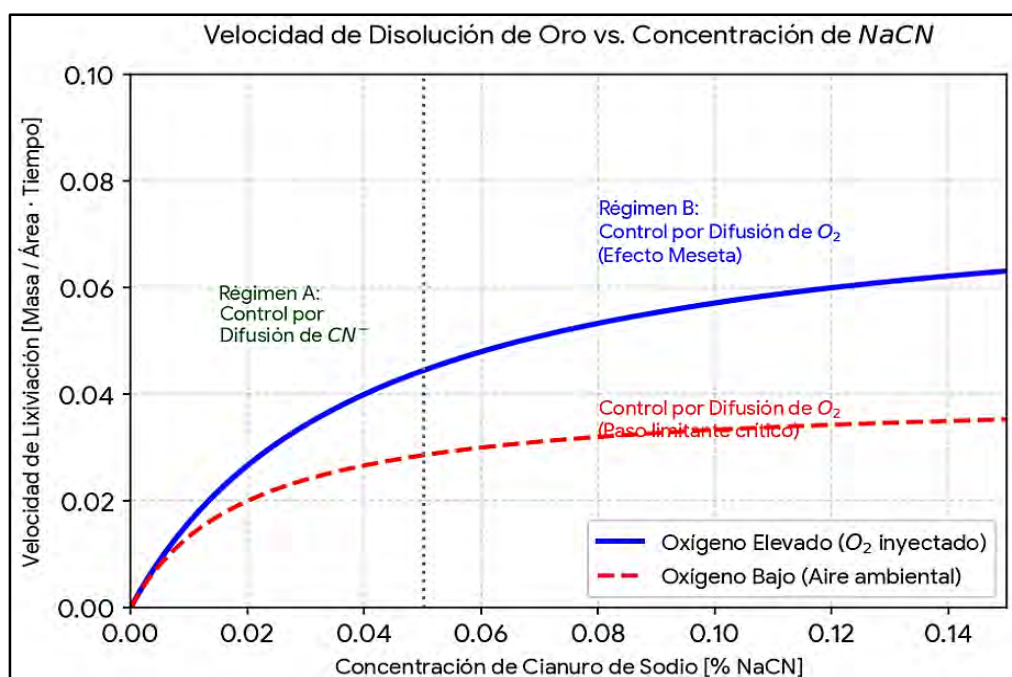
por lo tanto, la lixiviación del oro es termodinámicamente favorable.

2.2.6.3 Cinética de la Cianuración

Las características cinéticas de la disolución del cianuro en un medio de cianuro se pueden estudiar utilizando las curvas de métodos electroquímicos, fig. 8. El proceso no solo depende de la termodinámica, sino que está altamente controlado por factores cinéticos. Mejorar la eficiencia del proceso implica optimizar factores, especialmente la presencia de oxígeno, el pH y la agitación. Así, todas las condiciones que permiten que el oxígeno disuelto en el oro acelere o catalice la reacción de reducción, como el mezclado, la temperatura, el pH (Tache, 2022). Como en la Fig. 8

Figura 8

Representación cinética del proceso de cianuración del oro



Nota. Nos explica la trazabilidad de la cinética de lixiviación. Tomada de (Tache, 2022).

Una interacción sólido-líquido de naturaleza fisicoquímica se lleva a cabo en las siguientes cinco marchas (Tache, 2022):

- 1) Difusión de CN^- y O_2 a la superficie del oro
- 2) Adherencia de los reactivos en la superficie del oro sólido
- 3) Rx. química superficial
- 4) Desorción de los géneros solubles de la superficie
- 5) Liberación del complejo oro-cianuro hacia el medio líquido

Esta cinética está gobernada por la extensión controlada de O_2 y cianuro hacia la superficie del mineral, y las leyes de Fick describen matemáticamente esta transferencia de masa esencial para el proceso, y estas son las ecuaciones (Ramsay, 2020).

$$\frac{dn(O_2)}{dt} = D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} \{[O_2] - [O_2]_S\} \dots\dots\dots 5$$

Esta ecuación 5 representa la tasa a la que el oxígeno se difunde desde la solución hasta la superficie del mineral (Torres F., 2020).

$$\frac{dn(CN^-)}{dt} = D_{CN^-} \times \frac{A_2}{\delta} \{[CN^-] - [CN^-]_S\} \dots\dots\dots 6$$

Esta ecuación 6 escribe la tasa de transporte del cianuro hacia la superficie del mineral. El cianuro es el agente lixivante que forma complejos solubles con el oro. Una buena difusión del cianuro asegura que haya suficiente reactivo para mantener la reacción (Ramsay, 2020).

2.2.6.4 Secuencia Electroquímica de la Cianuración

Las secuencias electroquímicas de la corrosión regulan la disolución del oro; el esquema de la DO en medio de cianuro facilita la explicación de este fenómeno (Aguirre., 2005). Demostrado en la Fig. 9

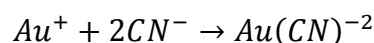
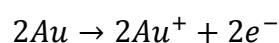
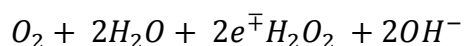
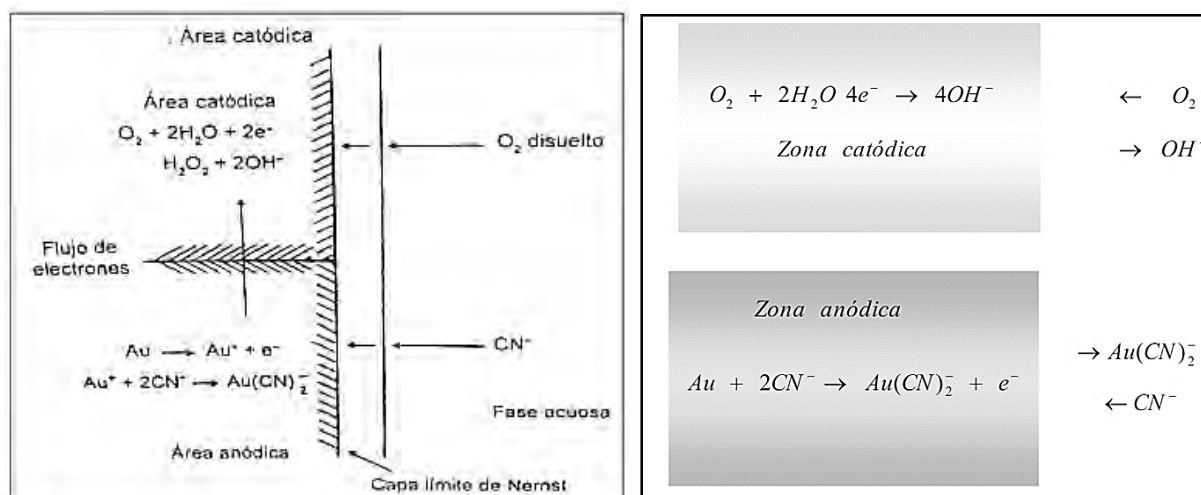


Figura 9

Esquema de la disolución del oro



Nota. La figura explica la disolución del Au en CN como un proceso electroquímico, donde: La ox. del Au es la franja anódica y la reducción del oxígeno es la franja catódica. Tomada de German C. (1993).

2.2.7 Diseño Experimental DOE

2.2.7.1 Diseño Factorial 2^k

Los experimentos denominados DOE ayudan con la investigación de los efectos sobre una variable de salida. Estos experimentos están referidos a la utilización de pruebas donde se realizan cambios en las variables del ingreso, en las corridas donde se logran almacenar los datos (Minitab, 2019).

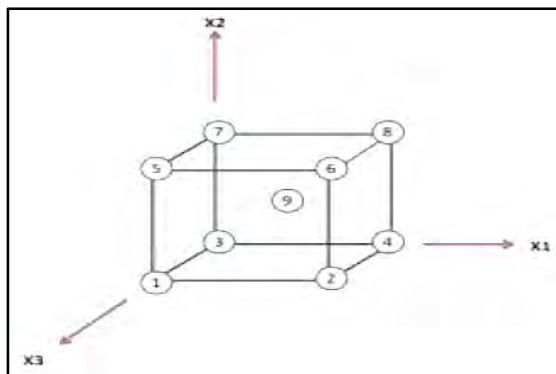
El DOE es utilizado para poder identificar cuáles son las condiciones de cada proceso y cuáles son los productos que de alguna manera tienen afectan a la calidad para que posteriormente se pueda encontrar la configuración de los factores que optimizan cada resultado Minitab 2018 (Minitab, 2019). Como se ve en la Fig. 10

Diseño Factorial con Tres Variables 2^3

Para ser más implícitos hacemos una representación de una figura de cómo funciona.

Figura 10

Niveles para un diseño factorial 2^3



Nota. En este tipo de diseño factorial presenta 3 factores (X_1 , X_2 , y X_3) con dos niveles cada uno. Adaptado de (Minitab, 2019)

Por lo tanto, la matriz codificada conteniendo toda esta información se representaría de la siguiente manera. Demostrado en la Tabla 2

Tabla 2

Representación de la matriz codificada para un diseño factorial 2^3 con 2 puntos centrales.

Nº de Prueba	Valores codificados		
	X_1	X_2	X_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0
10	0	0	0

Nota: adaptada de (Minitab, 2019). Como se puede mostrar en la tabla 2 los factores tienen cada uno sus dos niveles “+” y “-” y su punto central “0”, para cada una de las 10 corridas del diseño, esta tabla 2 también se suele llamarse matriz de diseño.

2.2.7.2 Modelo Matemático

Para estimar los efectos en el diseño experimental, se emplea la ecuación 7 (Minitab, 2019):

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j \sum_{u=j=1}^k b_{uj} x_u x_j \dots\dots\dots 7$$

Donde los coeficientes b_j y b_{uj} se determinan utilizando la siguiente fórmula matricial:

$$[B] = ([X]^T [X])^{-1} ([X]^T [Y])$$

Por la naturaleza ortogonal de la tabla de índices de rango, el producto $[X]^T [X]$ es igual a la matriz cuyas diagonales son iguales al número de intentos (N). Los elementos diagonales de la matriz inversa $([X]^T [X])^{-1}$ son (Minitab, 2019):

$$C_{jj} = \frac{1}{N}$$

C_{jj} es el elemento diagonal de la matriz, donde:

N = número total de experimentos o corridas

j = índice del punto experimental

Los coeficientes del modelo matemático se definen como el producto de la columna Y por el cuadrado de la columna X_j entre la cantidad de ensayos de diseño (N):

Cálculo del producto de las respuestas y la columna X, se da mediante la ecuación 8.

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij} X_i \dots\dots\dots 8$$

Una vez establecido el modelo matemático en la escala del código, el siguiente paso es predecir los resultados de la respuesta; Si delegas los indicadores de X1 y X2 con rango (-1 a +1), los resultados deberían ser similares a los mostrados. Estos valores los podemos calcular en la tabla con la siguiente fórmula (Minitab, 2019):

$$\gamma = [X][B]$$

Donde:

- γ : γ estimado
- [B]: Coeficiente de modelo matemático
- [X]: Matriz de variable Independiente

2.2.7.3 Cálculo de Efectos

Se deben calcular los efectos con base en el criterio de mejora del proceso para decretar el nivel de influencia de las variables de diseño factorial percibidas (Minitab, 2019).

Un método utilizado consiste en calcular cuánto varía la respuesta promedio al comparar los resultados obtenidos con la variable en su nivel superior frente a los obtenidos con la variable en su nivel inferior, es (Minitab, 2019):

$$E_{X_1} = \frac{\sum Y_+ - \sum Y_-}{r 2^{k-1}}$$

Donde:

- $\sum Y_+$ = Total de resultados cuando X1 está en su nivel positivo
- $\sum Y_-$ = Total de resultados cuando X1 está en su nivel negativo
- r = Cantidad de veces que se repite cada prueba
- k = Número de factores que se están evaluando.

CAPITULO III

HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis General*

Se optimiza la extracción de oro del proceso de cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A ajustando sus parámetros operativos.

3.1.2 *Hipótesis Específicas*

- Un tamaño de partícula de 90% -200M incrementa la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA.
- Un tiempo de lixiviación de 72 horas incrementa la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA.
- Una concentración de 0.14 % de NaCN mejora la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA.

3.2 Variables

3.2.1 *Identificación de Variables*

3.2.1.1 Variables Dependientes

- Extracción de oro

3.2.1.2 Variables Independientes

- Tamaño de partícula
- Tiempo de lixiviación
- Concentración de cianuro de sodio

3.3 Operacionalización de Variables

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variable		Definición Conceptual	Definición Operacional	Módulo de medida	Indicador	Dimensión	Rango	Técnica y aparejo de medición
Dependiente	Extracción de oro	Es el oro extraído del mineral total alimentado en el circuito del proceso (Misari, 2010).	Se determina mediante balances metalúrgicos y cálculos matemáticos.	%	Porcentaje	Concentración de oro	70- 95	Cálculos metalúrgicos y análisis químico
	Tamaño de partícula	Dimensión de la partícula en función de su área superficial y volumen en distintas formas geométricas (Misari, 2010).	Se determina el tamaño de partícula por el medio de uso de mallas normalizadas.	% Peso - 200 M%	Porcentaje pasante de malla 200	Tamaño de partícula Malla ASTM	80 - 90	Análisis granulométrico metalúrgico con mallas ASTM
Independiente	Tiempo de lixiviación	Es el tiempo de interacción química del agente lixivante con la partícula valiosa de oro (Misari, 2010).	Se determina usando un reloj digital según el tiempo que se tiene que correr la prueba metalúrgica	Hora	Tiempo	Tiempo	48-72	Reloj Digital
	Concentración de cianuro de sodio	Cantidad de cianuro de sodio contenida en un volumen de solución determinada (Misari, 2010).	Se determina el porcentaje de fuerza de cianuro de sodio mediante la titulación con AgNO ₃ y KI	Peso de mg NaCN / litro	Porcentaje	Conc. de NaCN	0.11- 0.14	Cálculos matemáticos

Nota: Elaboración Propia

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Ámbito de Estudio

Esta investigación se ejecutó en los laboratorios de hidrometalurgia y procesamiento de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC.

4.1.1 Localización Geográfica

La empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA. se encuentra ubicada a 616km de la ciudad de Lima, departamento de Arequipa, provincia de Caraveli, distrito de Chala, una altitud de 120 msnm. Ubicación en la Fig. 11 y 12

- Latitud: $-15.826729082169283 \rightarrow 15^{\circ} 49' 36.2''$ Sur
- Longitud: $-74.28597079305655 \rightarrow 74^{\circ} 17' 9.5''$ Oeste

Figura 11

Ubicación geográfica de la planta Españolita del Sur S.A.



Nota. Adaptado de Google Maps

Figura 12*Vista aérea de la planta Españolita del Sur S.A**Nota.* Adaptado de Google Mapas

4.1.2 Unidad de Estudio

Está localizada en la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA., donde se realiza el proceso metalúrgico de cianuración por agitación para la extracción del oro.

4.2 Diseño de Investigación

4.2.1 Enfoque de la Investigación

Este trabajo de investigación es de carácter “cuantitativo”. Se hace el uso del diseño experimental con dos niveles y tres factores, con el propósito de determinar las variables para optimización de la extracción del oro.

Usando el análisis ANOVA encontramos la significancia de las variables estudiadas y su correspondiente modelo matemático que demuestre el proceso de lixiviación con cianuro.

4.2.2 Tipo de Investigación

Es de carácter experimental porque se basa en el manejo de variables dependientes e independientes con el fin de pronosticar su causa y efecto para lograr una óptima extracción de oro (Hernández, 2006).

4.2.3 Nivel de la Investigación

La investigación tiene un nivel explicativo porque su propósito es establecer relaciones de causalidad entre variables, verificando hipótesis y construyendo modelos que expliquen el comportamiento observado.

4.2.4 Diseño Metodológico

El diseño experimental que se emplea para las pruebas metalúrgicas es el diseño factorial 2^3 con dos pruebas de réplica en punto central. El modelo matemático se obtendrá mediante el análisis ANOVA con un nivel de confianza mayor al 90%.

El diseño metodológico se detalla en la Matriz de Consistencia, Anexo 1.

4.3 Alcances y Limitaciones de la Investigación

4.3.1 Alcances

De la presente tesis es la optimización de la extracción de oro, mediante el proceso de cianuración por agitación.

4.3.2 Limitaciones

Una limitación importante es que algunos equipos de medición experimental se necesitan calibrar cada cierto tiempo en el área de planta, entonces es necesario tenerlo bien habilitado para tener control óptimo de variables en planta.

4.4 Población y Muestra

4.4.1 Población

La población para estudiar son los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA.

4.4.2 Muestra

La muestra se obtiene de un lote de minerales auríferos oxidados de la faja de alimentación del proceso, la cual tiene una homogeneidad de 5/8", la caracterización visual de las muestras puede apreciarse en el Anexo 17, de este se obtiene una muestra representativa primaria para hacer un muestreo. El lote pertenece al sector de Apurímac con una ley de 11.49 g/Tm de Au, con presencia de minerales como la Goethita, Caolinita, Limonita, Cuarzo y Feldespatos, de igual manera cuenta con presencia de metales y no metales según análisis ICP que se puede apreciar en el Anexo 3.

El tamaño de muestra para el presente trabajo se obtuvo por el método de cuarteo de manera sucesiva, la muestra representativa que se obtuvo es un total de 50 kg de mineral aurífero oxidado para el área de los laboratorios metalúrgicos de la universidad para efectuar las pruebas metalúrgicas correspondientes para la investigación.

4.5 Métodos de Recolección de Datos

4.5.1 Técnica de Muestreo

La toma de muestras se estableció mediante el empleo de la técnica por puntos y cuarteo sucesivos hasta llegar a obtener una muestra distintiva para las pruebas metalúrgicas.

4.5.2 Instrumento de Muestreo

Las muestras se recolectaron utilizando instrumento tales como: crucetas y palas para el cuarteo y toma de muestra por puntos.

4.6 Instrumentación y Materiales Utilizados en Laboratorio

4.6.1 Materiales y Equipos

- ✓ Mineral muestreado de 50 kg
- ✓ Molino de bola bond
- ✓ Crucetas
- ✓ Balanzas de capacidades de 10 kg, 5kg y 2 kg
- ✓ Chancadora de quijada
- ✓ Pizetas
- ✓ Espátulas
- ✓ Pipeta
- ✓ Bureta
- ✓ Fiola
- ✓ Equipo de Rotap
- ✓ Tamices de la serie Tyler
- ✓ Baldes

- ✓ Reloj
- ✓ Botellones de vidrio
- ✓ Probetas
- ✓ Medidor de pH
- ✓ Papel filtro
- ✓ Vaso de precipitado
- ✓ Brochas
- ✓ Embudos

4.6.2 Reactivos

Los reactivos que se usaron en esta investigación se manipularon según las hojas de seguridad, véase los Anexos [13 al 16].

- ✓ Hidróxido de Sodio (NaOH)
- ✓ Cianuro de Sodio (NaCN)
- ✓ Agua destilada
- ✓ (KI)
- ✓ (AgNO₃)

4.7 Análisis de Datos

El estudio de los resultados recopilados fue analizado mediante un programa estadístico en un diseño factorial de 2³ de ANOVA.

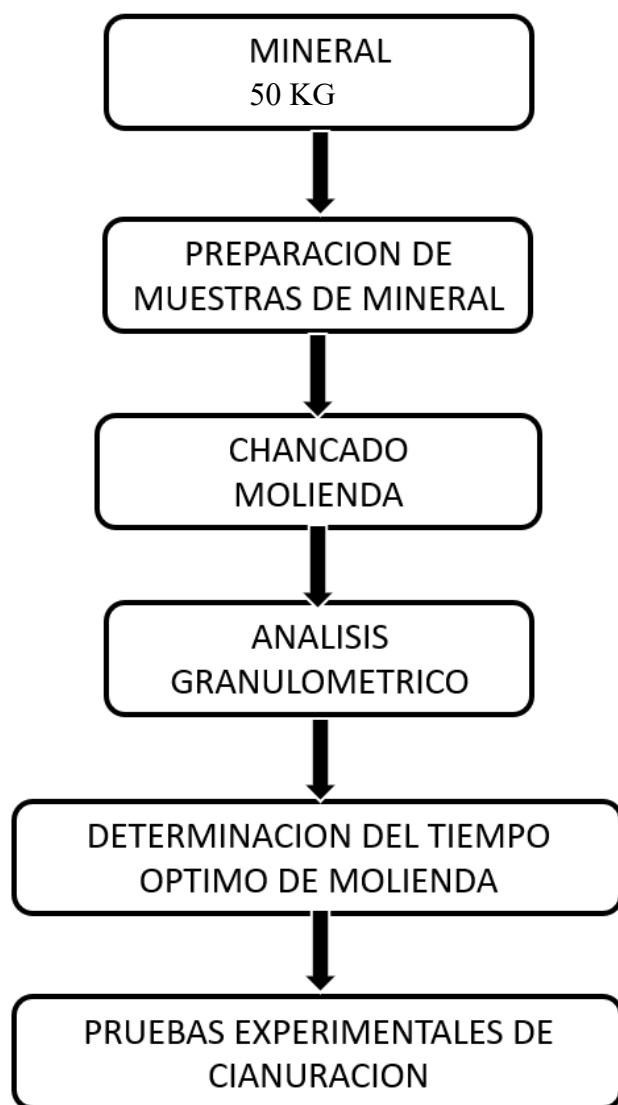
Como objetivo de justipreciar el impacto de las variables usando el empleo del software Minitab 19, para poder ver la interpretación del comportamiento de los datos generados en el diseño experimental y así respaldar su efectividad mediante gráficos y tablas.

4.8 Diagrama de Flujo de Pruebas Experimentales

Etapas secuenciales del desarrollo del trabajo. Secuenciado en la Fig. 13

Figura 13

Diagrama de flujo de pruebas experimentales



Nota. Elaborado por los tesistas.

CAPITULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Introducción

Esta tesis se ejecutó con el objetivo de optimar la EO usando cianuro de sodio. Por el cual, el procedimiento experimental se plasmó en este capítulo V. El desarrollo experimental se documenta fotográficamente en el Anexo 18.

5.2 Preparación y Obtención Muestras

Para la obtención de muestra primaria, se hizo el corte de faja de alimentación del área de molienda por cada hora, este mineral corresponde de un lote o ruma de una campaña y tiene un tamaño menor a 5/8”.

Para poder tener muestras para los ensayos experimentales se hace el siguiente procedimiento.

- El mineral tomado por corte de faja alimentación es reducido por la operación de chancado para reducir el tamaño de partícula a 100% -10 malla.
- Una vez reducido el mineral de forma homogénea se toma muestras por el método de cuarteo y coneo.
- Sacar 10 muestras que tengan un peso de 1kg cada uno para poder reservarlas para la molienda.
- Luego, se realiza una molienda en seco en un molino BOND, este procedimiento es para poder obtener un tiempo de molienda para diferentes grados de liberación y extracción de oro.

5.3 Pruebas Experimentales de Cianuración

Según al diseño factorial planteado se realizó 10 pruebas, donde 8 pruebas fueron directas y 2 fueron replicas en el punto central. Entonces, para hacer las pruebas experimentales se hace el siguiente procedimiento.

5.3.1 Procedimiento Para las Pruebas Metalúrgicas

5.3.1.1 Cálculos

- 1) Como primer paso, debemos hallar su gravedad especifica del mineral, la cual nos servirá de base para hacer los cálculos de balance de pulpa

Para hallar la gravedad especifica de requiere lo siguientes materiales y equipos:

- Mineral molido seco
- Agua
- Piseta
- Balanza digital
- Fiola
- Luna de reloj
- Vasos de precipitados

Para hallar la gravedad especifica se utilizó la ecuación 9.

$$G.E = \frac{W_{Mineral}}{W_{fiola+H_2O} + W_{Mineral} - W_{TOTAL}} \dots\dots\dots 9$$

Entonces, en un cuadro se plasma los datos adquiridos usando un peso de mineral de 5 gr para hallar el G.E. Si $W_{TOTAL} = W_{fiola+H_2O+Mineral}$. Ver Tabla 4

Tabla 4*Representación de los resultados al hallar la G.E.*

	ENS. 1	ENS. 2	ENS. 3
Peso de mineral (g)	5	5	5
Peso total (g)	163.2	162.4	162.8
Peso de picnómetro + agua (g)	161.3	160.59	160.97
G.E.	2.63158	2.76243	2.73224

Nota: Elaborado por los tesisistas

Entonces al promediar los G.E. se obtuvo la gravedad específica del mineral

$$G.E. = \frac{2.63158 + 2.76243 + 2.73224}{3} = 2.7$$

2) Ahora una vez obtenida la gravedad específica podemos hallar el porcentaje de sólidos.

Se halló el %S, con referencia a la densidad de operación de planta que es una densidad de 1270 gr/L. Entonces, la ecuación matemática a usar es:

$$\%S = \frac{(\rho_{Pulpa} - 1000)}{k \times \rho_{Pulpa}} \times 100\%$$

Para esto necesitamos hallar el valor de “k”

$$k = \frac{GE - 1}{GE}$$

$$k = \frac{2.7 - 1}{2.7} = 0.629$$

Teniendo la ecuación dada, reemplazamos los datos obtenidos anteriormente

$$\%S = \frac{\left(1270 \frac{g}{L} - 1000 \frac{g}{L}\right)}{0.629 \times 1270 \frac{g}{L}} \times 100\%$$

Efectuando el cálculo obtendremos el siguiente valor

$$\% S = 33.80 \%$$

- 3) Ahora teniendo el porcentaje de solidos hallado, podemos determinar el $W_{Mineral}$ para las pruebas metalúrgicas con la densidad de operación y el valor de k.

$$W_{Mineral} = \frac{\rho_{Pulpa} - 1000}{k}$$

Remplazando

$$W_{Mineral} = \frac{1270 \frac{g}{L} - 1000 \frac{g}{L}}{0.629}$$

Obtenemos

$$W_{Mineral} = 429.25 \text{ g}$$

- 4) Ahora se halla el volumen de solido con esta ecuación matemática:

$$V_{Solido} = \frac{W_{Mineral}}{GE}$$

Remplazando

$$V_{Solido} = \frac{429.25 \text{ g}}{2.7 \frac{g}{mL}}$$

Obtenemos

$$V_{Solido} = 158.98 \text{ mL}$$

- 5) Una vez obtenido el $V_{\text{Sólido}}$, se halla la dilución según a nuestro %S. Para esto usamos la ecuación siguiente:

$$\text{Dilución} = \frac{(100\% - \%S)}{\%S}$$

Reemplazando

$$\text{Dilución} = \frac{(100\% - 33.80\%)}{33.80\%}$$

Resulta

$$\text{Dilución} = 1.96$$

- 6) Ahora con todos estos datos realizamos nuestra tabla de balance de pulpa. Ver Tabla 5

Tabla 5

Representación en cuadro del balance de pulpa

	%	W	V
Mineral	33.80	429.25 g	158.98 mL
Solución	66.20	840.75 g	841.02 mL
Pulpa	100.00	1270 g	1000 mL

Nota: Elaboración propia

Según a este recuadro se basa las pruebas experimentales

- 7) Se halla la cantidad de cianuro de sodio a añadir a las botellas utilizando la ecuación 10, según las concentraciones dispuestas:

$$W_{NaCN(g)} = (V_{\text{solucion}(H_2O)}) (C_{NaCN}) \dots\dots\dots 10$$

Entonces para cada concentración seria

- Para 0.11%

$$W_{NaCN(g)} = \frac{841 \text{ mL} \times 0.11 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

$$W_{NaCN(g)} = 0.93 \text{ g}$$

- Para 0.125%

$$W_{NaCN(g)} = \frac{841 \text{ mL} \times 0.125 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

$$W_{NaCN(g)} = 1.05 \text{ g}$$

- Para 0.14%

$$W_{NaCN(g)} = \frac{841 \text{ mL} \times 0.14 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

$$W_{NaCN(g)} = 1.18 \text{ g}$$

5.3.1.2 Preparación de las Pruebas de Cianuración en Botella

Para este paso, los reactores se codificaron según al número de prueba predeterminada

- ✓ Luego, se hizo el uso de la Tabla 5 para verter el agua y mineral en las botellas según cada especificación de cada número de prueba.
- ✓ Se agrego Hidróxido de sodio en cantidades de 0,2 gr hasta lograr alcanzar un pH 11, agitando en un periodo de 5 – 6 minutos, se dejó sedimentar y se midió su pH.
- ✓ Luego se hizo el añadimiento de cianuro de sodio según las concentraciones puestas en el diseño experimental.

5.3.1.3 Controles Reactivos de las Pruebas Metalúrgicas

Una vez estabilizado los reactores, se inició el arranque de las pruebas metalúrgicas, rotulando el tiempo de inicio y final de cada uno.

A. Control de NaCN

Se extrajo 10ml de solución cianurada con una pipeta, para iniciar con la titulación, teniendo en cuenta que el factor de titulación es 0.025% $NaCN$ por 1 mL $AgNO_3$ cuando se trabaja con concentración de KI al 5% y $AgNO_3$ a 4.33 g/L, los 10ml se descargó en un vaso precipitado y se adiciono 3 gotas de ioduro de potasio, luego con la bureta se agregó nitrato de plata preparada en solución hacia el vaso hasta notar el cambio de color.

Este procedimiento se hizo en las siguientes horas: 2H, 6H, 12H, 24H, 48H y 72H.

Mediante el siguiente calculo se determinó cuánto de cianuro de sodio hay que reponer, ya que la fuerza se debe de mantener para cada botella hasta finalizar la prueba.

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 mL AgNO_3} \times V_{AgNO_3}(ml)$$

Considerando que:

$$1 \% NaCN = \frac{1 g NaCN}{100mL}$$

Entonces la fórmula final para el cálculo de cianuro de sodio a reponer es:

$$W_{NaCN}(g) \text{ a reponer} = V_{solucion}(mL) \times \left(C_{NaCN inicial}(\frac{g}{mL}) - C_{NaCN final}(\frac{g}{mL}) \right)$$

B. Control de NaOH

Para controlar el pH, se procedió a añadir más reactivo para seguir manteniendo la prueba a un pH constante.

La reposición de hidróxido de sodio de cálculo mediante la siguiente formula:

$$W_{NaOH}(g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH inicial}}{pH_{final} - pH_{inicial}} \right) (pH_{final} - pH_{actual})$$

5.3.2 Condiciones de pruebas experimentales

Se realizó pruebas de tiempo de molienda y pruebas de cianuración en botellas los cuales se dieron en base a las siguientes condiciones. Ver Tabla 6 y 7

Tabla 6

Condición de las pruebas experimentales

Parámetros	Condición
pH	11
W_{mineral}	429.25 g
V_{agua}	841 ml
Pulpa	1270 g/L
Temperatura	Ambiente

Nota: Elaboración propia

Tabla 7

Matriz codificada del diseño experimental para el Minitab 19

Prueba	X1	X2	X3	% Malla -200	% CN	Tiempo de lixiviación (Hrs)
1	-	-	-	80	0.11	48
2	+	-	-	90	0.11	48
3	-	+	-	80	0.14	48
4	+	+	-	90	0.14	48
5	-	-	+	80	0.11	72
6	+	-	+	90	0.11	72
7	-	+	+	80	0.14	72
8	+	+	+	90	0.14	72
9	0	0	0	85	0.125	60
10	0	0	0	85	0.125	60

Nota: Elaboración propia

Esta matriz codificada es la que se alimentara al programa estadístico de Minitab 19, para su análisis de datos donde podemos ver las variables codificadas, así como sus valores.

5.3.3 Pruebas de Molienda y Análisis Granulométrico

Tabla 8

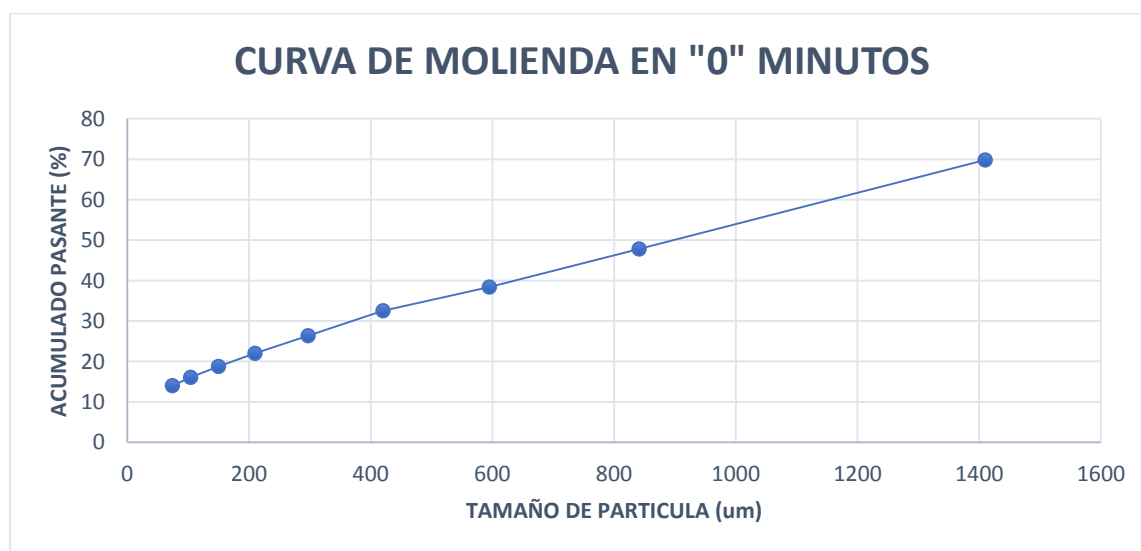
Prueba N. 01 de molienda

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "0" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	301.9	30.19	30.19	69.81
20	841	220.1	22.01	52.2	47.8
30	595	93.6	9.36	61.56	38.44
40	420	58.8	5.88	67.44	32.56
50	297	62.1	6.21	73.65	26.35
70	210	43.3	4.33	77.98	22.02
100	150	32.5	3.25	81.23	18.77
150	104	26.8	2.68	83.91	16.09
200	74	20.3	2.03	85.94	14.06
-200	-74	140.6	14.06	100	0
TOTAL		1000	100		

Nota: Compilado por los tesistas

Figura 14

Curva de molienda N. 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 9*Prueba N. 02 de molienda*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "15" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	0	0	0	100
20	841	0	0	0	100
30	595	22.86	2.286	2.3	97.7
40	420	34.15	3.415	5.715	94.285
50	297	71.16	7.116	12.831	87.169
70	210	137.05	13.705	26.536	73.464
100	150	134.88	13.488	40.024	59.976
150	104	105.25	10.525	50.549	49.451
200	74	96.4	9.64	60.189	39.811
-200	-74	398.25	39.825	100.014	0
TOTAL		1000	100		

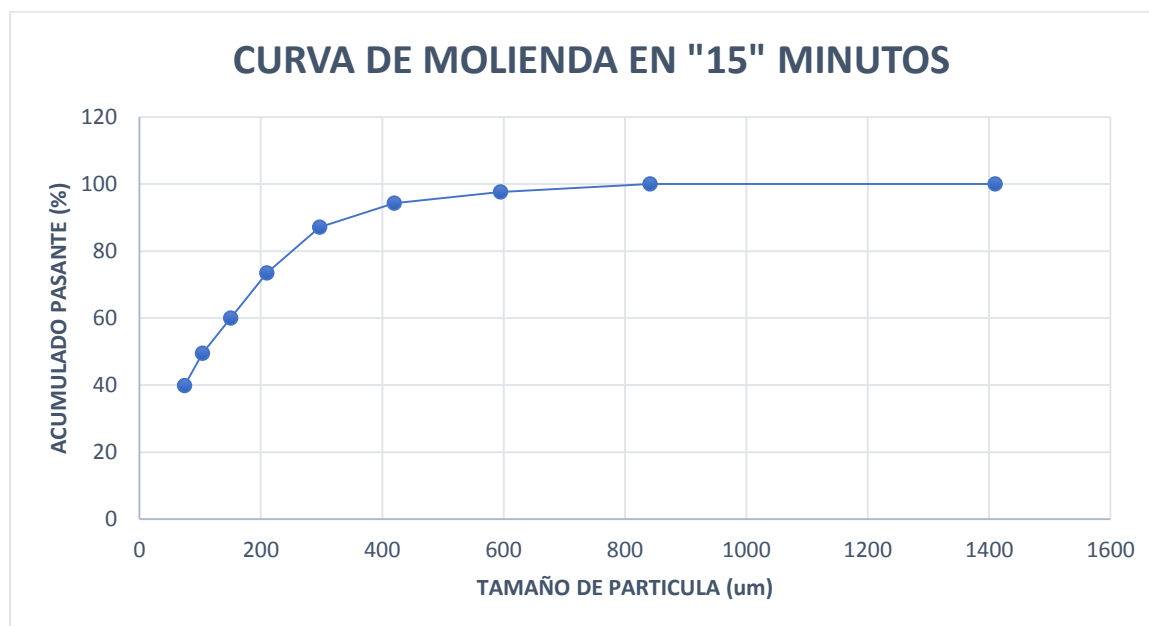
Nota: Compilado por los tesistas**Figura 15***Curva de molienda N. 02**Nota.* Elaboración propia

Tabla 11*Prueba N. 04 de molienda*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "25" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	0	0	0	100
20	841	0	0	0	100
30	595	0	0	0	100
40	420	0.54	0.054	0.054	99.946
50	297	2.95	0.295	0.349	99.651
70	210	12.81	1.281	1.63	98.37
100	150	92.65	9.265	10.895	89.105
150	104	150.33	15.033	25.928	74.072
200	74	164.59	16.459	42.387	57.613
-200	-74	576.13	57.613	100	0
TOTAL		1000	100		

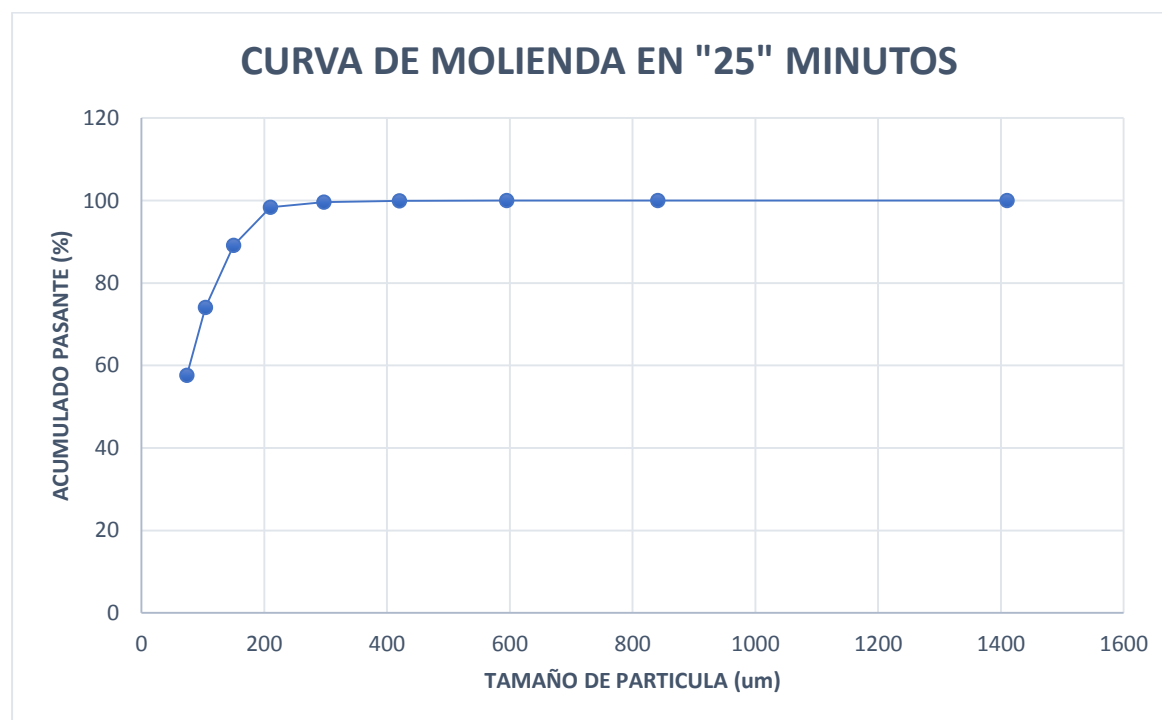
Nota: Compilado por los tesistas**Figura 17***Curva de molienda N. 04**Nota.* Elaboración propia

Tabla 12*Prueba N. 05 de molienda*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "30" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	0	0	0	100
20	841	0	0	0	100
30	595	0	0	0	100
40	420	0	0	0	100
50	297	1.27	0.127	0.127	99.873
70	210	14.48	1.448	1.575	98.425
100	150	41.37	4.137	5.712	94.288
150	104	123.69	12.369	18.081	81.919
200	74	152.1	15.21	33.291	66.709
-200	-74	667.09	66.709	100	0
TOTAL		1000	100		

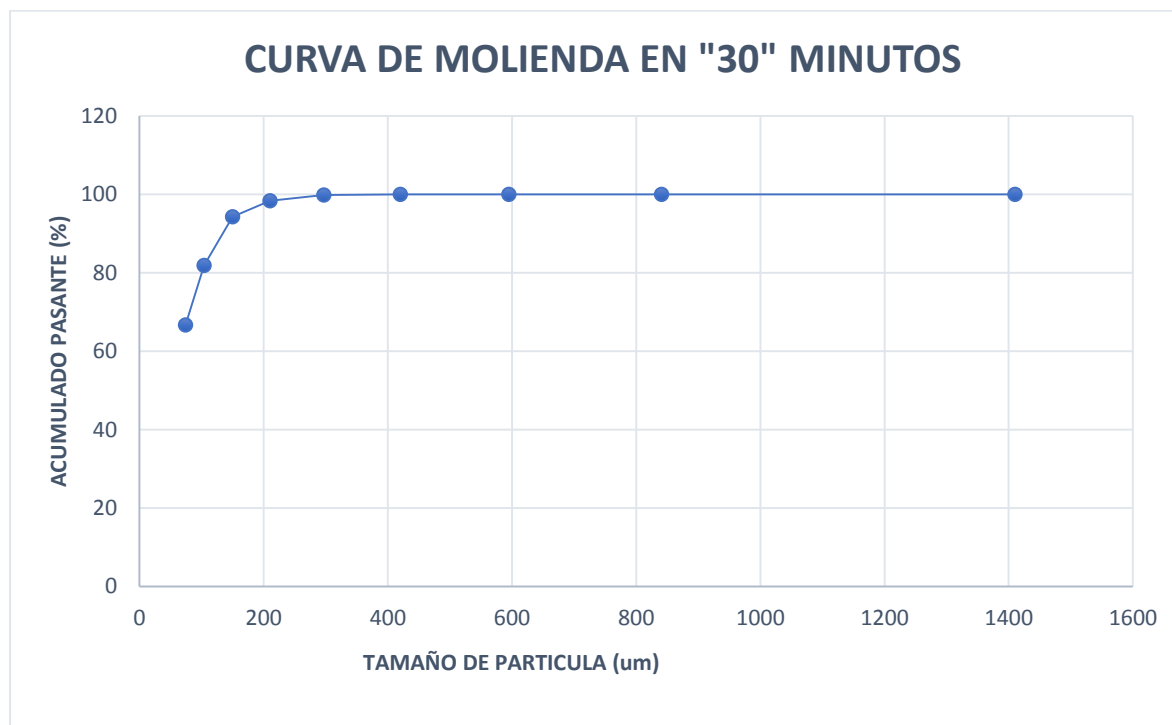
Nota: Compilado por los tesistas**Figura 18***Curva de molienda N. 05**Nota.* Elaboración propia

Tabla 13*Prueba N. 06 de molienda*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "40" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	0	0	0	100
20	841	0	0	0	100
30	595	0	0	0	100
40	420	0	0	0	100
50	297	0	0	0	100
70	210	0	0	0	100
100	150	1.04	0.104	0.104	99.896
150	104	83.21	8.321	8.425	91.575
200	74	103.08	10.308	18.733	81.267
-200	-74	812.67	81.267	100	0
TOTAL		1000	100		

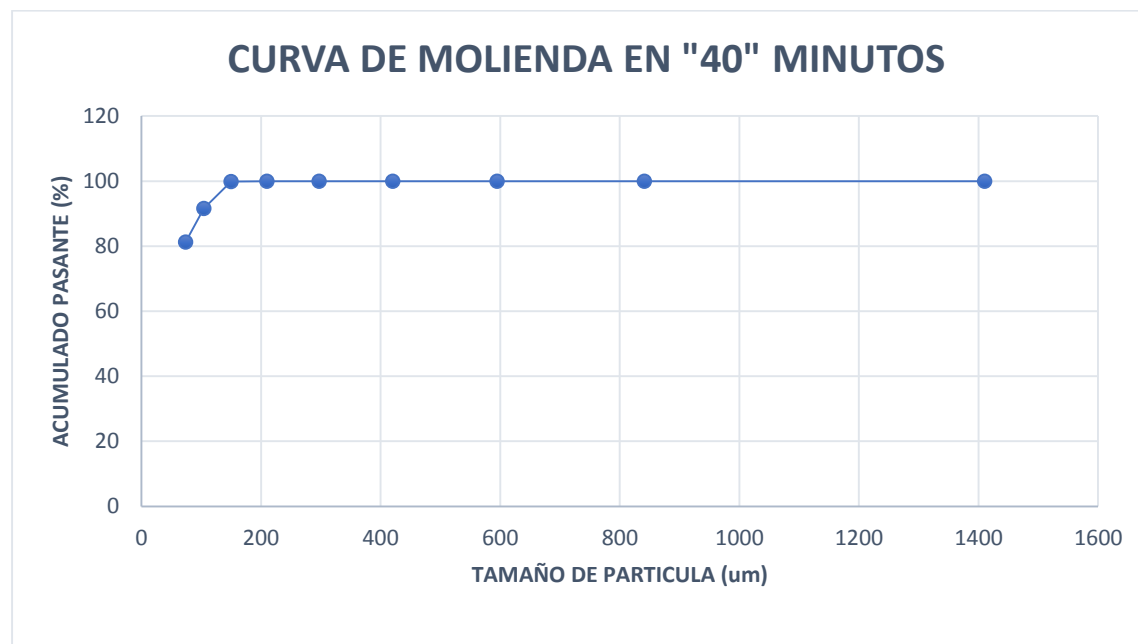
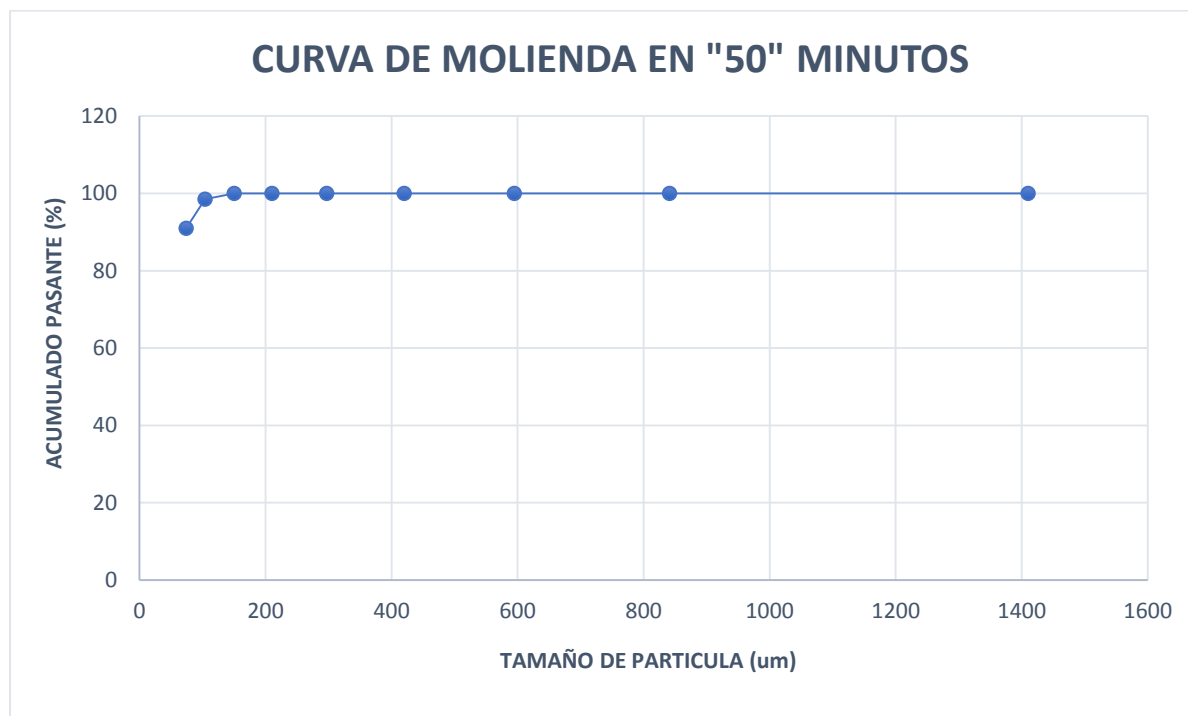
Nota: Compilado por los tesistas**Figura 19***Curva de molienda N. 06**Nota.* Elaboración propia

Tabla 14*Prueba N. 07 de molienda*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN "50" MIN					
Mallas	Tamaño de Partícula (micrones)	Peso (g)	% Peso	% Acumulado Retenido	% Acumulado Pasante
14	1410	0	0	0	100
20	841	0	0	0	100
30	595	0	0	0	100
40	420	0	0	0	100
50	297	0	0	0	100
70	210	0	0	0	100
100	150	0.19	0.019	0.019	99.981
150	104	15.06	1.506	1.525	98.475
200	74	74.97	7.497	9.022	90.978
-200	-74	909.78	90.978	100	0
TOTAL		1000	100		

Nota: Compilado por los tesistas**Figura 20***Curva de molienda N. 07**Nota:* Elaboración propia

5.3.4 Tiempo de Molienda

Tabla 15

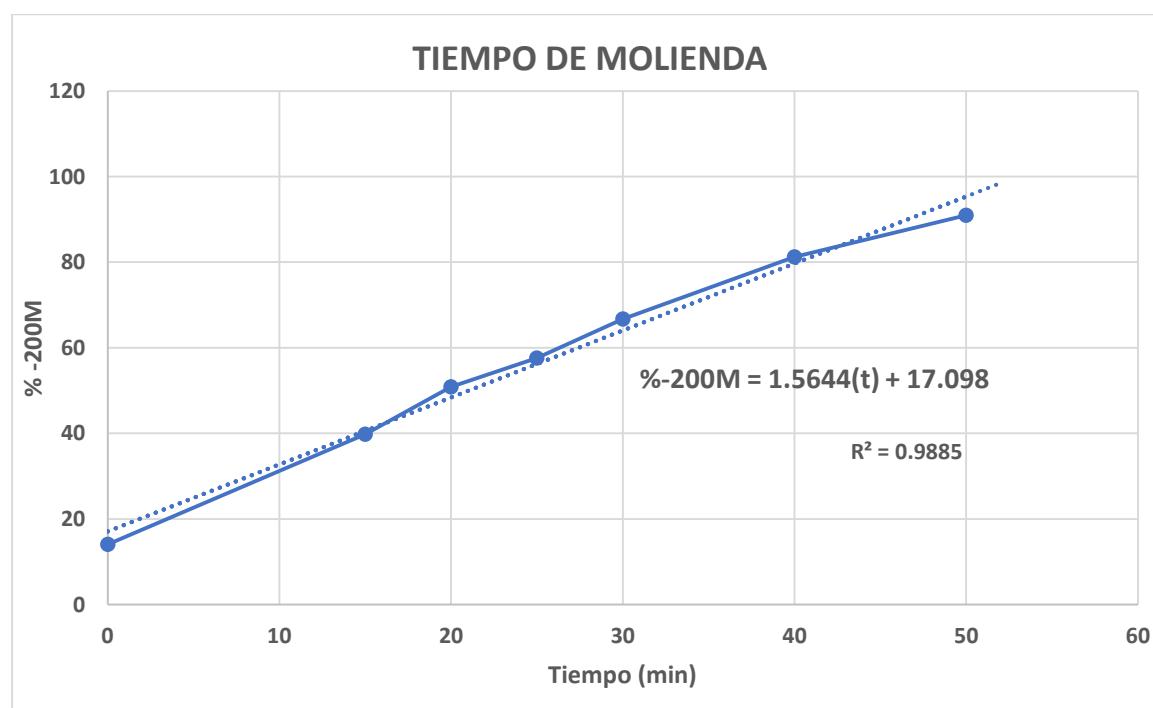
Tiempos de molienda y %-200M

Tiempo (min)	% -200M
0	14.06
15	39.811
20	50.841
25	57.613
30	66.709
40	81.267
50	90.978

Nota: Elaboración propia

Figura 21

Gráfico de tiempo de molienda



Nota. Compilado por los testistas

La ecuación de cinética de molienda es la siguiente:

$$\% - 200M = 1.5644(t) + 17.098$$

Según los resultados de la ecuación lineal el trayecto de R^2 se aproxima al valor de 1, lo que nos indica que el modelo está en una tendencia optima.

Recordemos que en la practica el R^2 tiene las siguientes tendencias:

- **Muy bueno** $\rightarrow R^2$ entre 0.85 y 1
- **Aceptable** $\rightarrow R^2$ entre 0.6 y 0.85
- **Pobre** $\rightarrow R^2$ por debajo de 0.6

Ahora despejamos el Tiempo de la ecuación para obtener tiempo de molienda correspondientes:

$$\textbf{Tiempo} = \frac{\% - 200M - 17.098}{1.5644}$$

- Para 90% -200M

$$\textbf{Tiempo} = \frac{90 - 17.098}{1.5644} = 46.60 \text{ min}$$

- Para 85% -200M

$$\textbf{Tiempo} = \frac{85 - 17.098}{1.5644} = 43.40 \text{ min}$$

- Para 80% -200M

$$\textbf{Tiempo} = \frac{80 - 17.098}{1.5644} = 40.21 \text{ min}$$

5.3.5 Pruebas de Cianuración

Los siguientes cálculos se realizaron con los datos del análisis químico de las 10 pruebas experimentales realizadas que se detalla en el Anexo 2 y los datos de los consumos y reposición de reactivos según Anexo 4 y Anexo 5. Ver resultados Tabla 16 al 25

Tabla 16

Prueba N. 1 resultados experimentales

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	Nº1	CONSUMOS	
% -200 M	80%	NaCN (g)	3.06
Fuerza de CN (%)	0.11	NaOH (g)	1.86
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	48	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.89

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.218 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.388 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 1.269 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.545 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.388 \text{ mg} + 0.545 \text{ mg} = 4.933 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- Extracción de oro (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.388 \text{ mg}}{4.933 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{88.95 \%}$$

Tabla 17*Prueba N. 2 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	Nº2	CONSUMOS	
% -200 M	90%	NaCN (g)	3.02
Fuerza de CN (%)	0.11	NaOH (g)	2.01
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	48	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.75

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.271 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.433 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 1.097 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.471 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.433 \text{ mg} + 0.471 \text{ mg} = 4.904 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.433 \text{ mg}}{4.904 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{90.40 \%}$$

Tabla 18*Prueba N. 3 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	Nº3	CONSUMOS	
% -200 M	80%	NaCN (g)	3.11
Fuerza de CN (%)	0.14	NaOH (g)	1.86
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	48	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.83

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.257 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.421 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 1.097 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.471 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.421 \text{ mg} + 0.471 \text{ mg} = 4.892 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.421 \text{ mg}}{4.892 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{90.37 \%}$$

Tabla 19*Prueba N. 4 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	N°4	CONSUMOS	
% -200 M	90%	NaCN (g)	3.03
Fuerza de CN (%)	0.14	NaOH (g)	1.72
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	48	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.91

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.306 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.462 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.891 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.382 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.462 \text{ mg} + 0.382 \text{ mg} = 4.844 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.462 \text{ mg}}{4.844 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{92.11 \%}$$

Tabla 20*Prueba N. 5 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	N°5	CONSUMOS	
% -200 M	80%	NaCN (g)	3.48
Fuerza de CN (%)	0.11	NaOH (g)	2.29
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	72	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.5

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.323 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.477 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.926 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.397 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.477 \text{ mg} + 0.397 \text{ mg} = 4.874 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.477 \text{ mg}}{4.874 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{91.85 \%}$$

Tabla 21*Prueba N. 6 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	N°6	CONSUMOS	
% -200 M	90%	NaCN (g)	3.65
Fuerza de CN (%)	0.11	NaOH (g)	2.43
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	72	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.50

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.338 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.489 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.857 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.368 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.489 \text{ mg} + 0.368 \text{ mg} = 4.857 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.489 \text{ mg}}{4.857 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{92.42 \%}$$

Tabla 22

Prueba N. 7 resultados experimentales

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	Nº7	CONSUMOS	
% -200 M	80%	NaCN (g)	3.37
Fuerza de CN (%)	0.14	NaOH (g)	2.15
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	72	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.76

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.375 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.520 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.891 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.382 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.520 \text{ mg} + 0.382 \text{ mg} = 4.902 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.520 \text{ mg}}{4.902 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{92.21 \%}$$

Tabla 23*Prueba N. 8 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	N°8	CONSUMOS	
% -200 M	90%	NaCN (g)	3.45
Fuerza de CN (%)	0.14	NaOH (g)	2.29
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	72	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.50

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.418 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.557 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.617 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.265 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.557 \text{ mg} + 0.265 \text{ mg} = 4.822 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.557 \text{ mg}}{4.822 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{94.50 \%}$$

Tabla 24*Prueba N. 9 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	Nº9	CONSUMOS	
% -200 M	85%	NaCN (g)	3.23
Fuerza de CN (%)	0.125	NaOH (g)	2.01
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	60	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.86

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.232 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.400 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.994 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.427 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.400 \text{ mg} + 0.427 \text{ mg} = 4.827 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.400 \text{ mg}}{4.827 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{91.15 \%}$$

Tabla 25*Prueba N. 10 resultados experimentales*

PARÁMETROS DE PRUEBAS METALÚRGICAS			
PRUEBA	N°10	CONSUMOS	
% -200 M	85%	NaCN (g)	3.27
Fuerza de CN (%)	0.125	NaOH (g)	2.01
TIEMPO DE LIXIVIACIÓN (Hrs)	60	Agua (mL)	841.00
pH inicial	6.7	Mineral (g)	429.25
pH de lixiviación	11.00	pH de lixiviación final	10.90

Nota: Elaboración propia

- Contenido metálico:

$$\text{Liquido} = 841 \text{ ml} \times 5.310 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1\text{L}}{10^3 \text{ ml}} = 4.466 \text{ mg}$$

$$\text{Solido} = 429.25 \text{ g} \times 0.994 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.427 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada} = 4.466 \text{ mg} + 0.427 \text{ mg} = 4.893 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza ensayada} = 429.25 \text{ g} \times 11.486 \frac{\text{g}}{\text{TM}} \times \frac{1 \text{ TM}}{10^6 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 4.930 \text{ mg}$$

- EO (%):

$$\% \text{ Extracción de Au} = \frac{4.466 \text{ mg}}{4.893 \text{ mg}} \times 100\% = \mathbf{91.27 \%}$$

5.3.5.1 Resumen de las Pruebas Experimentales

En esta tabla se puede apreciar las resultas de las 10 pruebas experimentales realizadas según el (DOE). Expresado en la Tabla 26

Tabla 26

Resumen de pruebas experimentales

N° PRUEBA	Ley solución (mg/L)	Ley relave (g/TM)	Contenido Metálico solución (mg)	Contenido Metálico Relave (mg)	Cabeza Calculada (mg)	Extracción (%)
1	5.218	1.269	4.388	0.545	4.933	88.95
2	5.271	1.097	4.433	0.471	4.904	90.40
3	5.257	1.097	4.421	0.471	4.892	90.37
4	5.306	0.891	4.462	0.382	4.844	92.11
5	5.323	0.926	4.477	0.397	4.874	91.85
6	5.338	0.857	4.489	0.368	4.857	92.42
7	5.375	0.891	4.52	0.382	4.902	92.21
8	5.418	0.617	4.557	0.265	4.822	94.5
9	5.232	0.994	4.4	0.427	4.827	91.15
10	5.31	0.994	4.466	0.427	4.893	91.27

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Procedimiento de Análisis de Datos

Se aplico el diseño experimental (DOE), según a nuestro base de matriz codificada cada ensayo obtendrá su variable respuesta o también denominado (Y), el cual representa la extracción de oro (%).

6.1.1 Determinación de Número de Experimentos

Para el desarrollo de estas pruebas metalúrgicas el número de experimentos se halla de la siguiente manera, el cual se usa una ecuación sencilla:

$$N = 2^K$$

Donde en nuestra investigación se toma $k = 3$

$$N = 2^3 = 8$$

Por lo tanto, N que representa el número de experimentos obtendremos los consecutivos detalles:

- N° de experimentos = 8
- N° de pruebas con punto central = 2
- Total, número de pruebas = 10

Para conseguir un resultado más preciso y confiable se añade dos pruebas con punto central, en el cual al tener sus resultados podremos ver su curvatura y su comportamiento de cada una de ellas. Ver Tabla 27

Tabla 27*Variables y rangos de las variables*

Variable	Variable Nominal	Unidad	Nivel		
			Inferior	Central	Superior
Tamaño de partícula	X1	% - 200M	80	85	90
Concentración de NaCN	X2	% NaCN	0.11	0.125	0.14
Tiempo de lixiviación	X3	Horas	48	60	72

Nota: Elaboración propia

Con esta tabla 27, ya podemos desarrollar nuestro diseño factorial DOE en Minitab.

El diseño comprende de 2 niveles y 3 factores(variables), de las cuales salen 8 combinaciones de factores diferentes. Con el conocimiento de esta información, ahora se puede desarrollar una tabla donde se puede especificar cada combinación posible para los 3 factores y sus 2 niveles. Esta herramienta nos ayudara a evaluar los errores aleatorios, como también evaluar la función matemática de la curvatura encontrada. Ver Tabla 28

Tabla 28*La matriz codificada para el diseño factorial*

Prueba	X_1	X_2	X_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	0
10	0	0	0

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

6.2 Análisis de Data Estadístico

Para poderse llevarse a cabo el análisis de data obtenido por el diseño factorial, se hará el uso del software Minitab 19.

Este software, según la reseña de un autor nos dice que “es un instrumento cardinal para el ensayo del resultado de uno o más factores sobre una variable de salida” (Amat R., 2016, p. 23).

6.3 Comprobación de las Hipótesis

En comprobación de las hipótesis del trabajo, se hará según al efecto de las variables de investigación aplicado al diseño experimental. Por lo tanto, se muestra la mejor condición para la óptima extracción del oro en este capítulo VI.

6.4 Diseño 2^3

En este diseño presenta una interacción de segundo orden y una triple que son evaluadas, en este diseño se necesita estimar la significancia de todos.

Esta delineación es directa porque posibilita el análisis de datos experimentales, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = f(A, BC, AB, AC, ABC) + \epsilon_{ijk}$$

Adonde:

- A, B, C = Factores del experimento (con dos niveles cada uno)
- AB, AC, BC = Factor de interacción doble
- ABC = Interacción triple
- ϵ_{ijk} = Error fluctuado

6.4.1 Construcción de la Matriz del Diseño Experimental

Conociendo la información anterior para la construcción de la matriz usamos la misma premisa, pero debemos tener claro que las variables independientes no penden de otras variables. Estas variables independientes tienen sus módulos y su correspondiente nivel.

$$Y = f(A, B, C \text{ interacciones de } ABC)$$

Donde

A, B, C = Factores que se pueden controlar con dos niveles

- Inferior: -1
- Medio: 0
- Superior: 1

De acuerdo con esto lo incluimos a nuestro diseño factorial con nuestros factores del experimento que influyen en la extracción de oro. Ver Tabla 29

Tabla 29

Factores y niveles de las variables independientes del diseño

Variable	Variable Nominal	Unidad	Nivel		
			Inferior	Central	Superior
Tamaño de partícula	X1	% - 200M	80	85	90
Concentración de NaCN	X2	% NaCN	0.11	0.125	0.14
Tiempo de lixiviación	X3	Horas	48	60	72

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

Entonces las variables que controlan serian:

- ✓ A = Tamaño de partícula (80 - 85 - 90) % 200M
- ✓ B = Concentración de NaCN (0.11 - 0.125 - 0.14) %

✓ C = Tiempo de lixiviación (48 - 60 - 72) hr

Por lo tanto, nuestra variable de interés agrupa la interacción de las variables nombradas para procesar minerales por lixiviación y su finalidad de optimizarla para tener una buena extracción de oro. Entonces podemos decir que:

Y= Extracción de oro (cantidad de oro disuelto). Ver Tabla 30 y 31

Tabla 30

Pruebas y notación de Yates de cada una de las variables independientes

Prueba	y	Yates
1	Y ₁	(1)
2	Y ₂	a
3	Y ₃	b
4	Y ₄	ab
5	Y ₅	c
6	Y ₆	ac
7	Y ₇	bc
8	Y ₈	abc
9	Y ₉	0
10	Y ₁₀	0

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

Esta tabla 30 nos indica las variables respuesta de cada prueba, todos con el propósito del criterio de optimizar la extracción de oro.

Tabla 31*Planificación del diseño factorial con el uso de la notación de Yates*

Prueba	Combinación Experimental			Diseño
	A	B	C	
1	-1	-1	-1	(1)
2	+1	-1	-1	a
3	-1	+1	-1	b
4	+1	+1	-1	ab
5	-1	-1	+1	c
6	+1	-1	+1	ac
7	-1	+1	+1	bc
8	+1	+1	+1	abc
Replicas centrales				
9	0	0	0	
10	0	0	0	

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

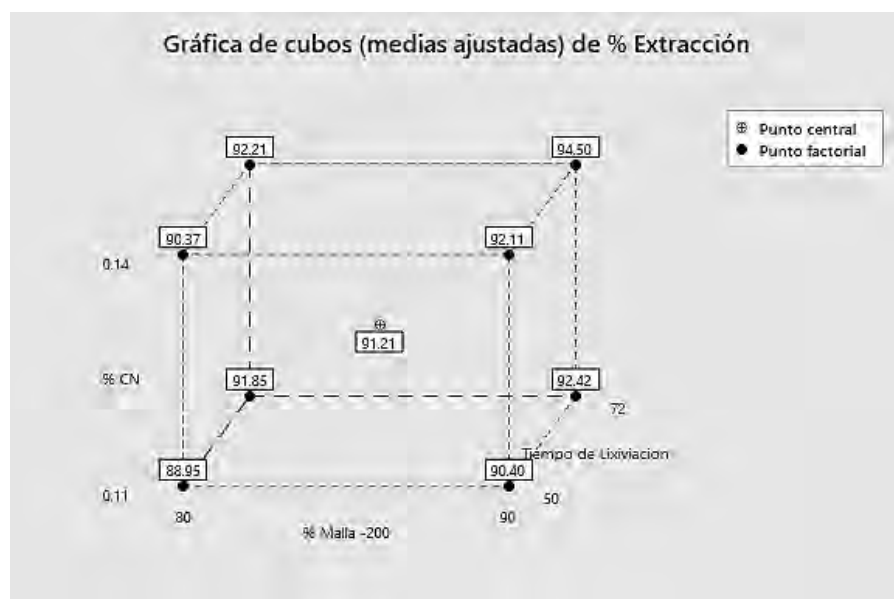
6.5 Representación Geométrica de las Combinaciones del Diseño

Este diagrama representa las pruebas experimentales que se producen de manera intencionada conforme al diseño, para observar cambios en la variable respuesta, que en esta investigación es la EO (%).

Por otro lado, un autor de un libro nos dice que “Si hay factores A, B y C con dos niveles. Entonces, estamos frente a ocho combinaciones de tratamientos, y dos puntos centrales que pueden representarse gráficamente mediante un cubo. Y para la ejecución de las corridas usaros las cifras: +1 y -1 respectivamente” (Montgomery, D., 2004). Ver Fig. 22 y 23

Figura 22

Gráfico de cubo de los factores A, B y C experimental para la extracción de oro



Nota. Minitab 19 (SW estadístico). En este diagrama se ve de forma 3D los tres factores que se emplean en el diseño, cada vértice es una prueba experimental con un nivel diferente incluyendo en el centro el punto central, todos con su porcentaje de extracción tal cual.

Figura 23

Modelo de flujo del diseño con entrada y salida



Nota. Elaboración propia. Esta pequeña caja de flujos es una representación abstracta del funcionamiento del diseño experimental. Con flujos de entrada (input) y de salida(output) donde se engloba el proceso de la cianuración de la planta beneficio.

Como se muestra en la gráfica de arriba, es necesario que por método del diseño experimental evaluemos sus resultados y por ende analizar su efecto con la EO de los minerales de matriz oxidada de Au de la Minera Española del Sur S.A. Por lo que, los resultados de la combinación de los factores tienen que ser sometidos a análisis y como parte final validar su efectividad.

6.6 Pruebas Experimentales

Se vuelve a recordar los niveles y variables que se han usado en las PE. Ver Tabla 32

Tabla 32

Rango de las variables del diseño experimental

Variable	Unidad	Nivel		
		Inferior	Central	Superior
Tamaño de partícula	% - 200M	80	85	90
Concentración de NaCN	% NaCN	0.11	0.125	0.14
Tiempo de lixiviación	Horas	48	60	72

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

En esta tabla 32 está plasmado las condiciones elementales para las pruebas experimentales donde nos indica su punto superior, central e inferior con sus factores independientemente.

6.7 Análisis y Determinación de Efectos de las Variables de Proceso

Entonces una vez teniendo los valores, podemos hacer un análisis de efectos de los factores, para esto podemos hacer un cuadro donde se puede detallar los valores a analizar. Ver Tabla 33

Tabla 33*Función Yates con respecto a los factores de las pruebas experimentales*

Prueba	X1	X2	X3	% Malla -200	% CN	Tiempo de lixiviación	% de Extracción	Yates
1	-	-	-	80	0.11	48	88.95	(1)
2	+	-	-	90	0.11	48	90.4	A
3	-	+	-	80	0.14	48	90.37	B
4	+	+	-	90	0.14	48	92.11	Ab
5	-	-	+	80	0.11	72	91.85	C
6	+	-	+	90	0.11	72	92.42	Ac
7	-	+	+	80	0.14	72	92.21	Bc
8	+	+	+	90	0.14	72	94.5	Abc
9	0	0	0	85	0.125	60	91.15	0
10	0	0	0	85	0.125	60	91.27	0

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

Según a lo que se ve en este recuadro, vamos a tomar factores independientes como: % Malla – 200 como (A), % CN como (B) y tiempo de lixiviación como (C).

Esta evaluación es para obtener el efecto de las variables, por el cual nos dará a conocer cuanto afecta cada variable, usando las siguientes ecuaciones sacados de un libro estadístico.

Los cálculos para efectuar los efectos de las variables son los siguientes:

- $EFFECTO A = \frac{1}{n2^{k-1}} (a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc)$

$$EFFECTO A = 1.5125$$

- $EFFECTO B = \frac{1}{n2^{k-1}} (b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac)$

$$EFFECTO B = 1.3925$$

- $EFFECTO C = \frac{1}{n2^{k-1}} (c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab)$

$$EFFECTO C = 2.2875$$

- $EFFECTO AB = \frac{1}{n2^{k-1}} (ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c)$

$$EFFECTO AB = 0.5025$$

- $EFFECTO AC = \frac{1}{n2^{k-1}} ((1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc)$

$$EFFECTO AC = -0.0825$$

- $EFFECTO BC = \frac{1}{n2^{k-1}} ((1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc)$

$$EFFECTO BC = -0.1725$$

- $EFFECTO ABC = \frac{1}{n2^{k-1}} (abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1))$

$$EFFECTO ABC = 0.3575$$

Una vez adquirido los valores de los efectos lo llevamos a su contribución porcentual de cada uno respectivamente, de la siguiente manera. Ver Tabla 34

Tabla 34*Contribución de los efectos calculados*

Término	Efectos		
	Valor real	Valor absoluto	%
%Malla -200	1.5125	1.5125	23.98
%CN	1.3925	1.3925	22.08
Tiempo de Lix.	2.2875	2.2875	36.27
%Malla -200 * %CN	0.5025	0.5025	7.97
%Malla -200 * Tiempo de Lix.	-0.0825	0.0825	1.31
%CN * Tiempo de Lix.	-0.1725	0.1725	2.73
%Malla -200 * %CN * Tiempo de Lix.	0.3575	0.3575	5.67
TOTAL		6.3075	100

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

Según a estos cálculos efectuados de efectos, podemos resaltar que la variable de % Malla – 200 (A) y la Tiempo de Lix. (C) poseen el mayor porcentaje de efecto. Esto nos quiere decir, que, en los resultados de los tratamientos de pruebas metalúrgicas, los que provocan la mayor extracción de oro son estas variables. Por otro lado, la variable de % CN (B) tiene también un efecto significativo, pero no tan altas como son los otros ya mencionados.

6.8 Cuadrados Medios y Grados de Libertad de los Efectos

La SC medios y grados de libertad son componentes importantes para evaluar efectos, pertenecen a la herramienta de ANOVA (Análisis de varianza).

Para el desarrollo de esta secuencia tenemos que hacer la SC de efectos de variabilidad de los anteriores cálculos efectuados, considerando que cada uno de los efectos tiene un grado de

libertad porque solamente tiene dos niveles de variación según a nuestro diseño experimental. Los valores obtenidos de los cuadrados medidos nos indicaran la variabilidad de cada factor por la acción de los efectos. Los cálculos son los siguientes:

→ SC de efectos principales

$$-SS_A = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto A)^2$$

$$SS_A = 4.5753$$

$$-SS_B = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto B)^2$$

$$SS_B = 3.8781$$

$$-SS_C = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto C)^2$$

$$SS_C = 10.4653$$

→ SC de efectos de interacción

$$-SS_{AB} = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto AB)^2$$

$$SS_{AB} = 0.5050$$

$$-SS_{AC} = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto AC)^2$$

$$SS_{AC} = 0.0136$$

$$-SS_{BC} = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto BC)^2$$

$$SS_{BC} = 0.0595$$

$$- SS_{ABC} = \frac{8n}{n * 2^{k-1}} (Efecto ABC)^2$$

$$SS_{ABC} = 0.2556$$

Ahora, se necesita hallar la curvatura del diseño porque poseemos dos puntos centrales (Soporte de Minitab 19, 2019).

$$SS_{Cuadratica\ pura} = \frac{n_F n_C (\bar{y}_F - \bar{y}_C)^2}{n_F + n_C}$$

Donde:

n_F : Número de factores

n_C : Número de puntos centrales

$\bar{y}_F$: Media de las respuestas en los factores

$\bar{y}_C$: Media de las respuestas en los puntos centrales

Entonces, reemplazando los datos que nos piden tendríamos el siguiente valor:

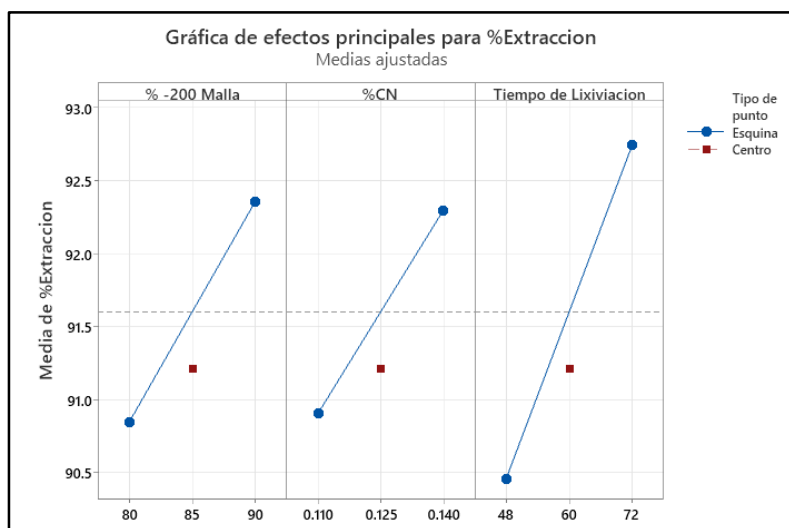
$$SS_{Cuadratica\ pura} = \frac{8 * 2 (91.60125 - 91.21)^2}{8 + 2}$$

$$SS_{Cuadratica\ pura} = 0.2449$$

Entonces, con la ayuda de la herramienta del Minitab 19, hacemos la plasmación de este resultado con los análisis de los efectos principales de los factores del diseño. Ver Fig. 24 y 25

Figura 24

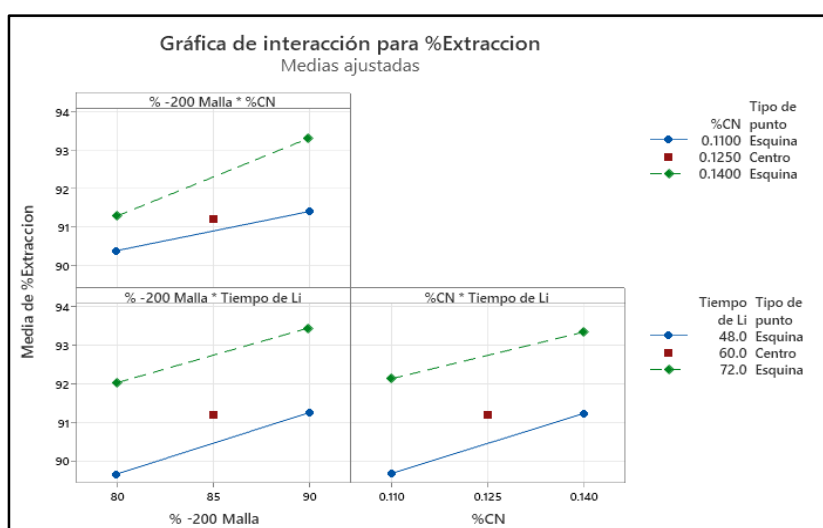
Representación de los efectos principales



Nota. Minitab 19 (SW estadístico).

Figura 25

Representación de los efectos de interacción para % Extracción de oro



Nota. Minitab 19 (SW estadístico).

Según a las representaciones se explyaya que los efectos de las variables principales tienen un impacto positivo para la % Extracción del oro, pero en cambio en la gráfica de interacción de efectos sus pendientes son de un carácter moderado, como son los casos de % Malla – 200 * % CN **(AB)**, % Malla – 200 * Tiempo de Lix. **(AC)** y % CN * Tiempo de Lix. **(BC)**.

Los grados de libertad (GL) es un valor importante ya que nos ayuda a definir algunos conceptos como son. Ver Tabla 35

- Determinar la forma de las distribuciones estadísticas usadas para las pruebas de hipótesis (en ellas la distribución de t y la distribución F).
- Este dato afecta la exactitud de las apreciaciones y la cantidad de los análisis para divisar efectos significativos.

Tabla 35

Grados de libertad

FUENTE DE VARIACION	GL	
	F	Value
%Malla -200 (A)	(a-1)	1
%CN (B)	(b-1)	1
Tiempo de Lix. (C)	(c-1)	1
%Malla -200 * %CN (AB)	(a-1) (b-1)	1
%Malla -200 * Tiempo de Lix. (AC)	(a-1) (c-1)	1
%CN * Tiempo de Lix. (BC)	(b-1) (c-1)	1
%Malla -200 * %CN * Tiempo de Lix. (ABC)	(a-1) (b-1) (c-1)	1
CURV.	(d-1)	1
E.	a*b*c*(n-1)	1
TOTAL	(N-1) +2	9

Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

De esta pesquisa, se procede a usar la herramienta ANOVA. En este caso, la distribución

estadística empleada es la distribución de Fisher, la cual se fundamenta en el cociente entre la estimación de los efectos y la estimación de ErrExp. Se expresa así:

$$F = \frac{MC_{efecto}}{MC_{error}}$$

Entonces, según los datos de análisis que Minitab nos suministra utilizamos esta ecuación para hallar los valores de F, para evaluar estadísticamente los resultados del experimento.

$$F(A) = \frac{MC_A}{MC_E} = \frac{4.5753}{0.0072} = 635.46$$

$$F(B) = \frac{MC_B}{MC_E} = \frac{3.8781}{0.0072} = 538.63$$

$$F(C) = \frac{MC_C}{MC_E} = \frac{10.4653}{0.0072} = 1453.52$$

$$F(AB) = \frac{MC_{AB}}{MC_E} = \frac{0.5050}{0.0072} = 70.14$$

$$F(AC) = \frac{MC_{AC}}{MC_E} = \frac{0.0136}{0.0072} = 1.89$$

$$F(BC) = \frac{MC_{BC}}{MC_E} = \frac{0.0595}{0.0072} = 8.27$$

$$F(ABC) = \frac{MC_{ABC}}{MC_E} = \frac{0.2556}{0.0072} = 35.50$$

$$F(\text{Cuadrática Pura} - \text{Curvatura}) = \frac{MC_{\text{Cuadrática pura} - \text{Curvatura}}}{MC_E} = \frac{0.2449}{0.0072} = \mathbf{34.02}$$

Entonces, según este análisis de varianza podemos desglosar lo siguiente del diseño experimental, además de saber que tenemos el valor de p indicado en el análisis de varianza del

Minitab 19 del diseño experimental en la Tabla 36 y Fig. 26:

- ✓ **% Malla -200:** Valor F de 635.46 y valor p de 0.025 indican que este factor es altamente significativo.
- ✓ **% CN:** Valor F de 538.63 y valor p de 0.027 también son altamente significativos.
- ✓ **Tiempo de Lixiviación:** Este factor tiene el Valor F más alto (1453.52) y un valor p muy bajo (0.017), mostrando una significancia extrema.

Tabla 36

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	19.9974	2.4997	347.18	0.041
Lineal	3	18.9187	6.3062	875.87	0.025
% Malla -200	1	4.5753	4.5753	635.46	0.025
% CN	1	3.8781	3.8781	538.63	0.027
Tiempo de Lixiviación	1	10.4653	10.4653	1453.52	0.017
Interacciones de 2 términos	3	0.5781	0.1927	26.77	0.141
% Malla -200*% CN	1	0.505	0.505	70.14	0.076
% Malla -200*Tiempo de Lixiviación	1	0.0136	0.0136	1.89	0.4
% CN*Tiempo de Lixiviación	1	0.0595	0.0595	8.27	0.213
Interacciones de 3 términos	1	0.2556	0.2556	35.5	0.106
% Malla -200*% CN*Tiempo de Lixiviación	1	0.2556	0.2556	35.5	0.106
Curvatura	1	0.2449	0.2449	34.02	0.108
Error	1	0.0072	0.0072		
Total	9	20.0046			

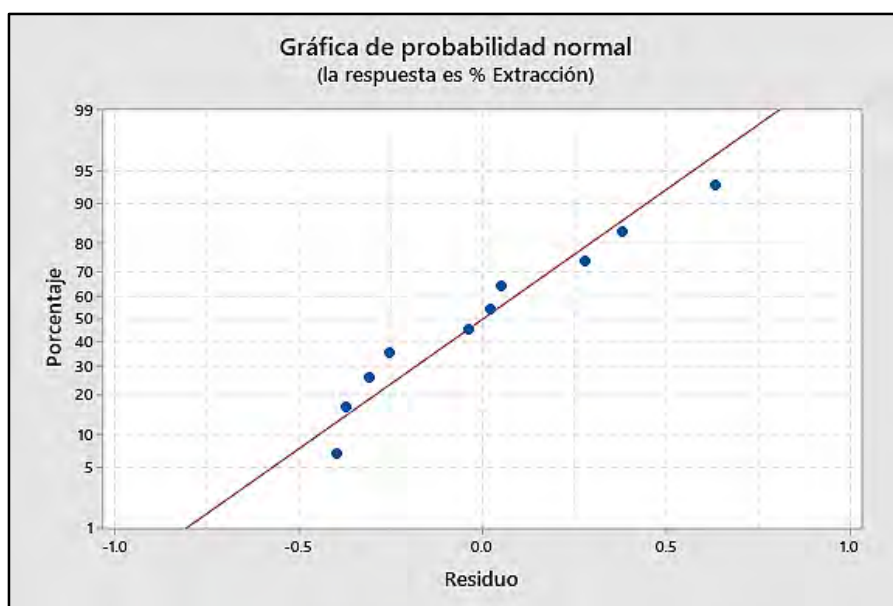
Nota: Minitab 19 (SW estadístico).

Como resumen general, podemos afirmar del análisis de varianza total del diseño que:

- ✓ **Modelo:** Incluye todos los efectos y la curvatura. El Valor F alto (347.18) y el valor p (0.041) sugieren que el modelo es significativo.
- ✓ **Interacciones de 2 términos:** El Valor F de 26.77 y el valor p de 0.141 sugieren que las interacciones de dos términos no son tan significativas. Algunas interacciones específicas como % Malla -200*% CN tienen un Valor F alto (70.14) pero no son estadísticamente significativas (valor p de 0.076).
- ✓ **Interacciones de 3 términos y Curvatura:** Ambos tienen altos valores F, pero no son estadísticamente relevantes con indicadores p de 0.106 y 0.108 respectivamente.

Figura 26

Representación gráfica de residuos del diseño experimental



Nota. Software estadístico Minitab 19.

Según a este gráfico de Minitab podemos interpretar lo siguiente:

- El supuesto de normalidad se cumple razonablemente.
- El modelo utilizado para % de Extracción es estadísticamente válido.

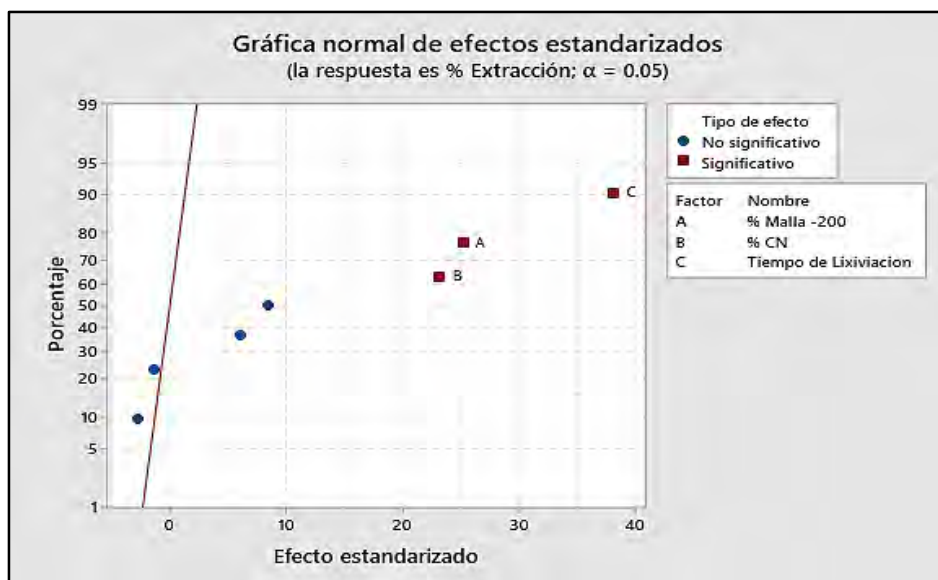
6.9 Verificación Normal de Efectos Estandarizados del Diseño Experimental

Para la distribución normal de efectos estandarizados del diseño experimental debemos saber que su interpretación nos da la siguiente información. Ver Fig. 27

- Ayuda a identificar qué efectos son significativamente diferentes de cero en la gráfica.
- Proporciona una evaluación visual de los efectos. Los puntos que caen cerca de la línea de referencia indican que los efectos no son significativamente diferentes de cero, mientras que los puntos lejos de la línea indican efectos significativos.
- Permite simplificar el modelo al identificar y eliminar efectos insignificantes, optimizando así la interpretabilidad y la validez del modelo.

Figura 27

Representación gráfica de efectos estandarizados del diseño experimental



Nota. Software estadístico Minitab 19.

De esta representación gráfica podemos sacar la siguiente información:

1. **Factor A (% Malla -200):** El punto etiquetado con "A" se encuentra al lado derecho de la línea de significancia, por lo tanto, es significativo el factor.
2. **Factor B (% CN):** Similarmente, el punto etiquetado con "B" también se encuentran a la derecha de la línea, indicando que este factor también es significativo.
3. **Factor C (Tiempo de Lixiviación):** El punto etiquetado con "C" se encuentra al lado derecho de la línea de significancia, entonces este factor es significativo.

Entonces, en la gráfica muestra que tanto la % Malla -200, % CN y el Tiempo de Lixiviación son factores significativos en el diseño experimental, ya que sus efectos estandarizados están a la derecha de la línea roja de referencia. Esto indica que asumen un impacto notable en la variable de respuesta (% Extracción de Au).

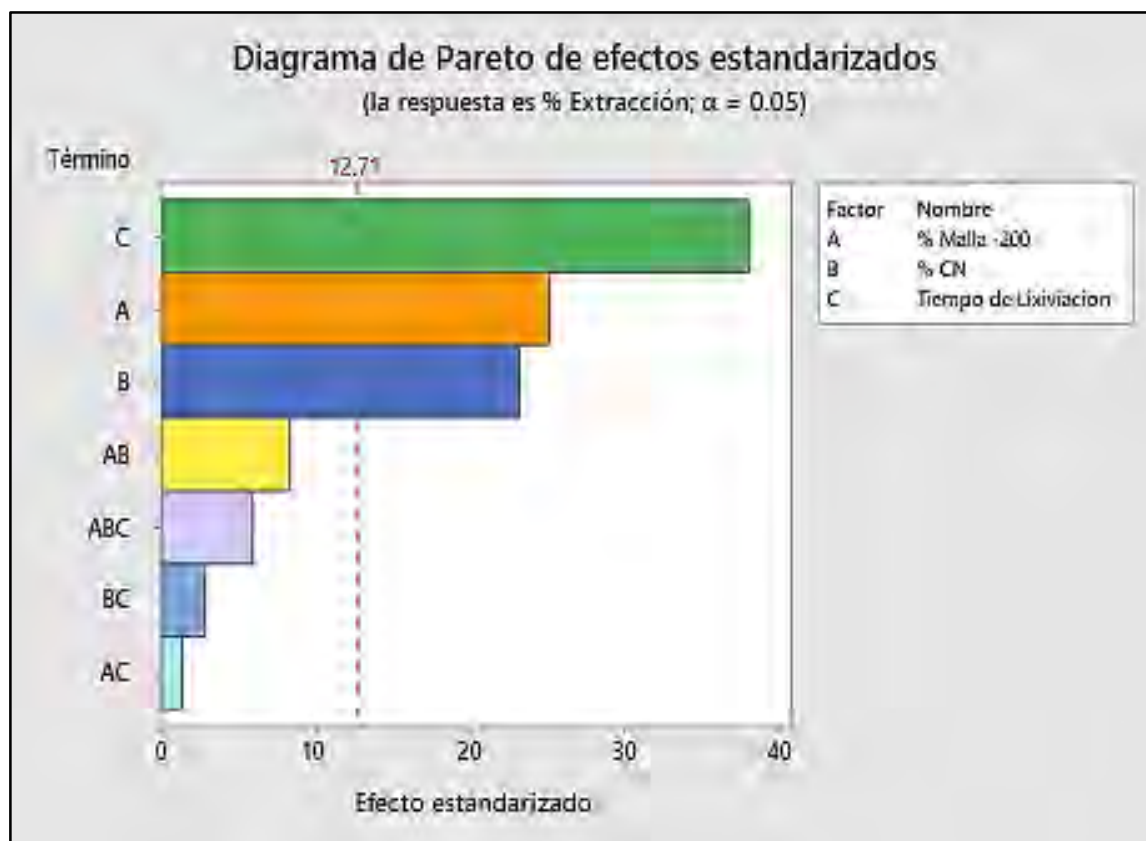
6.10 Representación Gráfica de Pareto de los Efectos del Diseño Experimental

Para la representación gráfica de efectos estandarizados por medio de Pareto del diseño experimental debemos saber que su interpretación nos da la siguiente información. Ver Fig. 28

- Muestra cuáles efectos tienen el mayor impacto en la variable de respuesta en términos de su importancia, permitiendo identificar rápidamente los factores clave.
- Sirve como base para tomar decisiones informadas sobre ajustes en el proceso, permitiendo enfocar esfuerzos en los factores que realmente afectan el resultado.
- Permite simplificar y mejorar el modelo eliminando efectos insignificantes. Esto hace que la guía sea más explícita y fácil de interpretar.

Figura 28

Representación gráfica de Pareto con umbral de significancia de $\alpha = 0.05$



Nota. Software estadístico Minitab 19.

De esta representación gráfica de Pareto podemos sacar la siguiente información:

Los factores Tiempo de Lixiviación (C), % Malla -200 (A), y % CN (B) son significativamente importantes en el proceso de extracción de Au, ya que sus efectos estandarizados superan el 12.71 (valor crítico para $\alpha = 0.05$). Las interacciones dobles no son estadísticamente significativas, ya que sus efectos no superan el umbral de significancia.

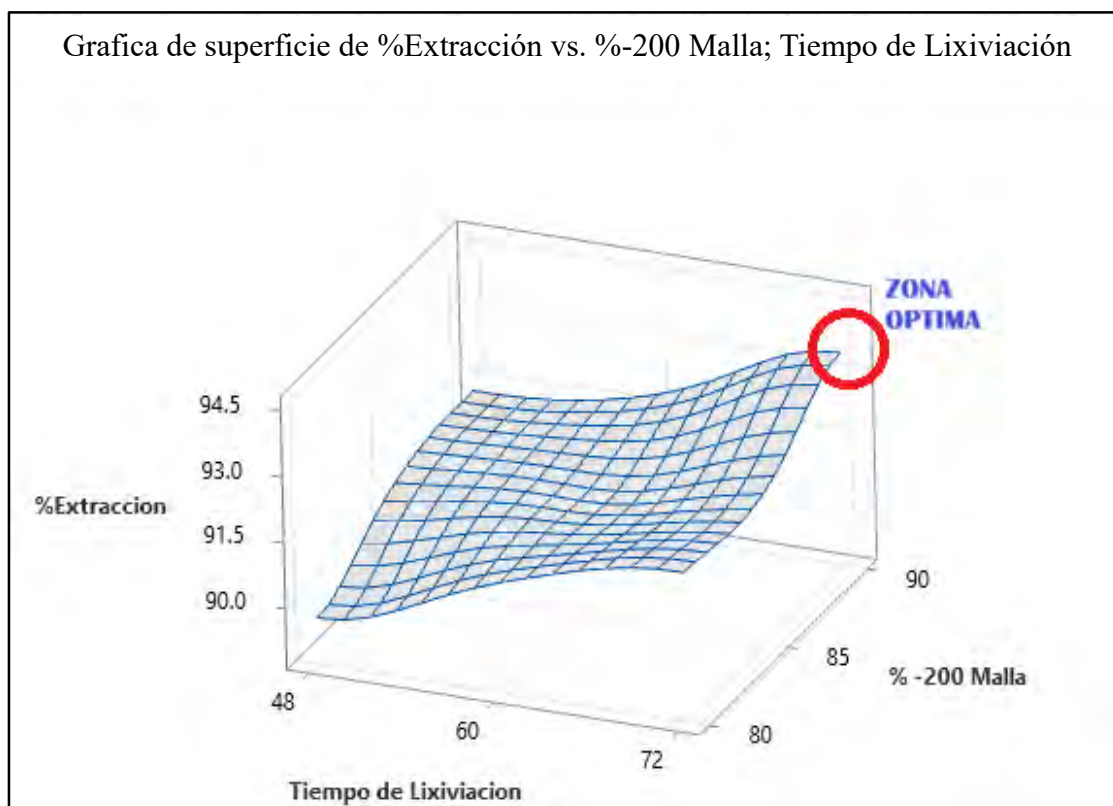
6.11 Análisis de Gráfica de Superficie y de Contorno del Diseño Experimental

Una gráfica de superficie de respuesta muestra una superficie tridimensional que representa cómo cambia la variable de respuesta en función de factores. Esta gráfica nos ayuda a identificar

puntos óptimos, interacciones entre factores y regiones de máximo y mínimo rendimiento. Ver Fig. 29 y 30

Figura 29

Representación de gráfico de superficie del diseño experimental



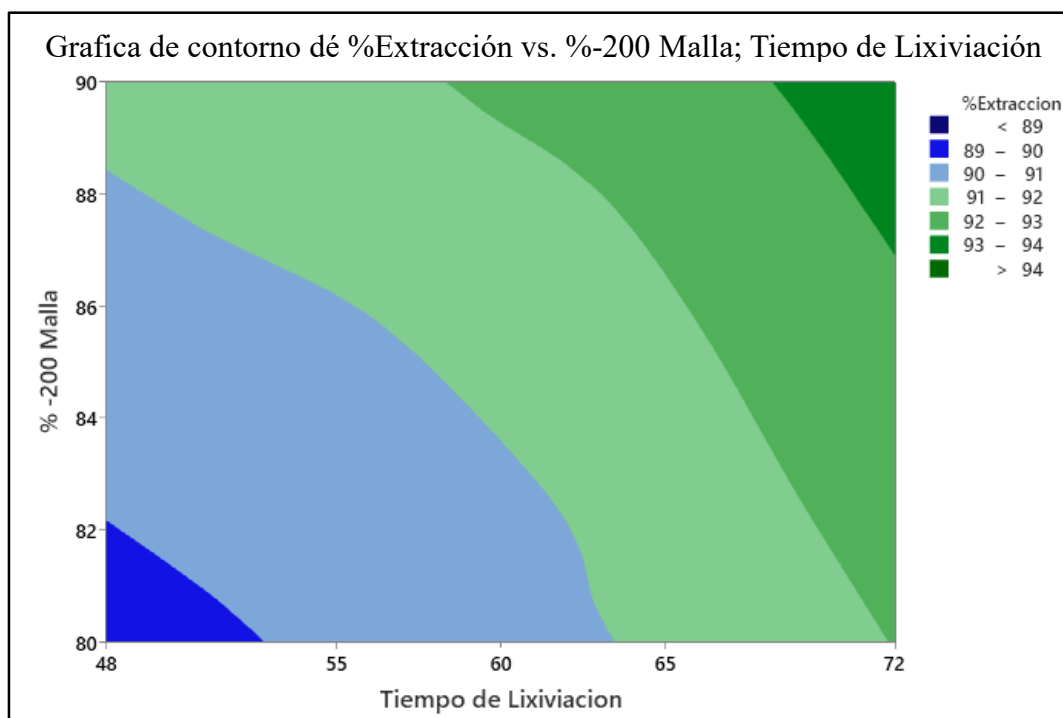
Nota. Software estadístico Minitab 19.

De esta representación gráfica de superficie del diseño experimental podemos sacar la siguiente información:

La zona óptima señalada indica el mejor equilibrio entre el tiempo de lixiviación y el % de malla -200 para maximizar el % de extracción de Au. Alcanzar este punto permite optimizar el proceso de lixiviación, obteniendo el mayor rendimiento posible.

Figura 30

Representación gráfica de contornos del diseño experimental



Nota. Software estadístico Minitab 19.

De esta representación gráfica de contornos del diseño experimental podemos sacar la siguiente información:

Para tiempos de lixiviación más cortos (alrededor de 48 horas) y menores porcentajes de malla -200 (cerca de 80), la extracción es menor, con valores por debajo del 90%. También, se observa que para tiempos de lixiviación más largos (alrededor de 72 horas) y mayores porcentajes de malla -200 (cerca de 90), se obtiene una mayor extracción, con valores superiores al 92.5%.

6.12 Ecuación de Regresión no Codificada del Diseño Experimental

Esta ecuación es una forma de modelar y cuantificar los factores y la variable dependiente (respuesta) usando valores originales de las variables en lugar de valores codificados. Esto nos facilita la interpretación práctica y directa de los efectos de cada factor en la respuesta.

Entonces, el $\bar{y}$ para pronosticar la extracción del oro sería de la siguiente manera:

$$\bar{y} = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_C C + \beta_{AB} AB + \beta_{AC} AC + \beta_{BC} BC + \beta_{ABC} ABC + \beta_P P + \varepsilon \dots$$

Donde:

- $\bar{y}$ = Respuesta media esperado de la variable dependiente (% Extracción de Au)
- A = Valor de factor A (% Malla – 200)
- B = Valor de factor B (% CN)
- C = Valor de factor C (Tiempo de lixiviación)
- β_0 = El intercepto de la regresión
- $\beta_{A, B, C, \dots}$ = Coeficiente que mide la magnitud los efectos de los factores A, B, C, ...
- ε = Terminio de error

Conociendo cada uno de los términos, expresamos la ec. de regresión no codificada que nos proporciona el Minitab 2019 del diseño experimental, la ecuación es demostrada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \% \text{ Extraccion de Au} = & -30.90 + 1.263 \% \text{Malla} - 200 + 803 \% \text{CN} + \\ & 2.324 \text{ Tiempo de Lixiviación} - 8.57 \% \text{Malla} - 200 * \% \text{CN} - \\ & 0.02551 \% \text{Malla} - 200 * \text{Tiempo de Lixiviación} - \\ & 17.36 \% \text{CN} * \text{Tiempo de Lixiviación} + 0.1986 \% \text{Malla} - \\ & 200 * \% \text{CN} * \text{Tiempo de Lixiviación} - 0.3913 * \text{Pt Ctral} \end{aligned}$$

6.13 Coeficiente de Determinación del Diseño Experimental

Para calcular este coeficiente se requiere usar la ecuación 15.

$$R^2 = \frac{SS_{TOTAL} - SS_E}{SS_{TOTAL}} \dots \dots \dots 15$$

En:

- SS_{TOTAL} = Sumatoria completa de cuadrados del análisis de varianza de la tabla de Minitab 19 del diseño experimental
- SS_E = Valor de los efectos en los errores del diseño experimental

Entonces reemplazando los datos que nos piden, tendríamos el siguiente resultado:

$$R^2 = \frac{20.0046 - 0.0072}{20.0046} = \mathbf{0.99964}$$

Llevándolo a porcentaje obtenemos un ajuste de 99.96 %, que nos indica que el modelo del diseño experimental de % Extracción de Au es de un rango muy bueno. Por lo tanto, también consolida la hipótesis de la investigación principal indicándonos que es verdadera.

6.14 Optimización de Respuesta del % Extracción del Oro

Este procedimiento implica ajustar los factores del experimento para maximizar o minimizar la variable de respuesta deseada, en esta cuestión estamos tratando del % Extracción de Au. Ver Tabla 37

Tabla 37

Datos de solución del diseño experimental Minitab 19

Solución	% Malla -200	% CN	Tiempo de Lixiviación	% Extracción de ajuste	Deseabilidad compuesta
1	90	0.14	72	94.5	1

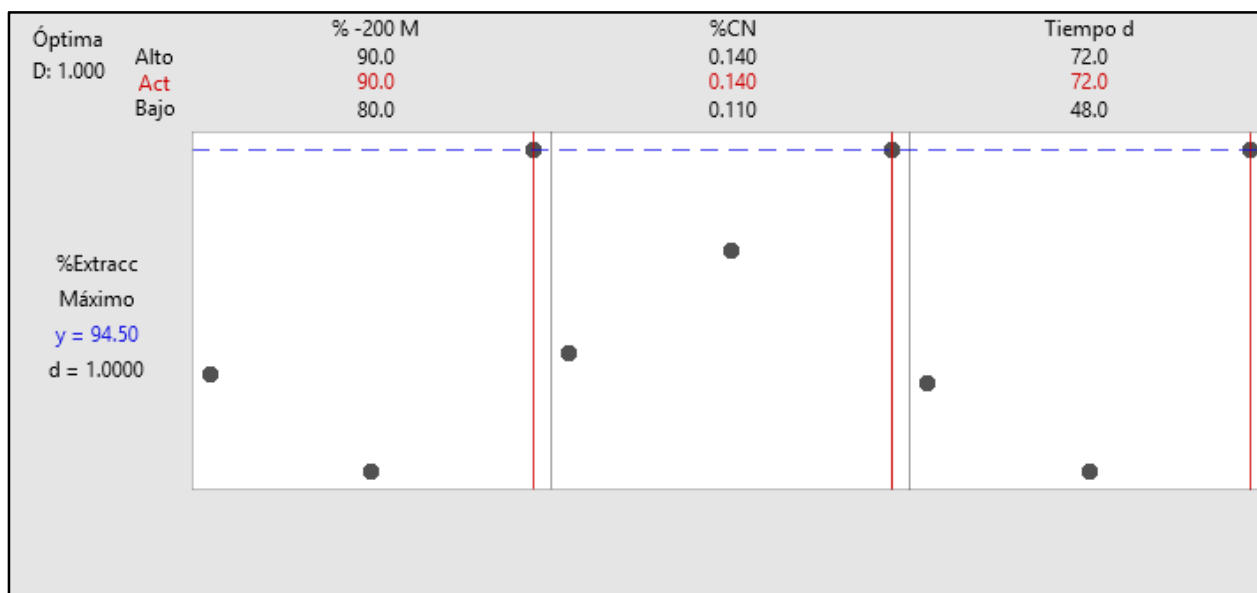
Nota: Software estadístico Minitab 19.

Estos datos nos suministran el programa estadístico Minitab 19 de nuestro diseño experimental, en donde mediante un diagrama de Pareto se hace la optimización de respuesta del

% Extracción del oro donde nos muestra el rendimiento de todos los factores con respecto a la variable respuesta. Ver Fig. 31

Figura 31

Representación gráfica de la optimización de respuesta del % EO



Nota. Software estadístico Minitab 19.

De esta representación gráfica de optimización de respuesta del diseño experimental podemos sacar la siguiente información:

Las variables % Malla - 200, % CN y Tiempo de Lixiviación son 90.0, 0.140 y 72.0, respectivamente. Estos valores coinciden con los valores óptimos, indicando que los factores están ajustados para maximizar el porcentaje de extracción de Au. La extracción máxima alcanzable bajo estas condiciones es del 94.50%, que es un valor muy alto y deseable.

Por lo tanto, de esto sacamos los valores óptimos para el proceso de cianuración que se consideran para la optimización de proceso. Ver Tabla 38

Tabla 38*Valores óptimos para la optimización del proceso*

Factor	Óptimo
% Malla - 200	90
% CN	0.14
Tiempo de lixiviación	72

Nota: Software estadístico Minitab 19.

6.15 Discusión de las hipótesis de la investigación

Las hipótesis planteadas se formulan en términos estadísticos, considerando que la hipótesis alternativa (H_A) representa el resultado esperado en caso de que la HI sea válida, mientras que (H_0) corresponde a un escenario posible cuando la hipótesis de investigación no se confirma.

Entonces:

- H.G: (H_A)
- H.E. 1: (H_A)
- H.E. 2: (H_A)
- H.E. 3: (H_A)

6.16 Discusión de resultados de la investigación

El trabajo de Saravia Apaza (2018) evidenció que la granulometría fina y el control del pH son factores decisivos para alcanzar extracciones superiores al 95%, aunque con un consumo relativamente elevado de cianuro. En contraste, los resultados de esta investigación muestran que con un 90% pasante malla –200, una concentración de NaCN de 0.14% y un tiempo de 72 horas, se logra una extracción de 94.5%, demostrando que es posible mantener altos niveles de eficiencia.

De manera similar, Yana Vilca (2018) reportó extracción cercana al 94% bajo condiciones de granulometría reducida y pH de 12, pero con un gasto de NaCN de 6 kg/Ton y tiempos prolongados de 120 horas. Frente a ello, los resultados actuales confirman que la eficiencia metalúrgica puede sostenerse con parámetros más moderados, lo que representa una ventaja tanto económica como operativa.

Por otro lado, Vásquez (2021), en pruebas de cianuración en columna, obtuvo extracciones superiores al 80% con un riego de 12.5 L/h·m², NaCN de 200 ppm y pH de 10.5. Comparado con los resultados de esta investigación, que alcanzan 94.5% en agitación, se evidencia que el método aplicado ofrece mayor eficiencia y un mejor aprovechamiento del mineral, consolidando la relevancia de las condiciones óptimas determinadas en la Tabla 38.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que se obtuvo una extracción de Au óptima de 94.50 %, este resultado es de la prueba N.º 8. El resultado es muy importante pues es superior a la extracción de Au que posee la planta beneficio Minera Españolita del Sur SA. que es de 75 %.
2. Con un tamaño de partícula de 90% -200M se obtiene una óptima extracción de Au, este factor de tamaño de partícula contribuye en un 23.98 % de efectos del diseño experimental, y también difiere al valor de % -200M de la planta beneficio que es de 70%.
3. Con una concentración de NaCN con un valor de 0.14%. se obtiene una óptima extracción de Au. Su contribución de efectos en el diseño experimental es de 22.08 %, y esta concentración es diferente a lo que usa la planta beneficio que es de 0.11%.
4. Con un tiempo de lixiviación de 72 horas se obtiene una óptima extracción de Au, tiene un efecto significativo de 36.27 % en el diseño, dando como resultado una extracción óptima de Au de 94.50%. Este tiempo es superior a lo que se posee en la planta beneficio que es de 50 horas.
5. El modelo regresivo matemático para predecir la extracción del oro es:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Extraccion} = & -30.9 + 1.263 \% \text{Malla} - 200 + 803 \% \text{CN} \\
 & + 2.324 \text{Tiempo de Lixiviación} - 8.57 \% \text{Malla} - 200 * \% \text{CN} \\
 & - 0.02551 \% \text{Malla} - 200 * \text{Tiempo de Lixiviación} - 17.36 \% \text{CN} \\
 & * \text{Tiempo de Lixiviación} + 0.1986 \% \text{Malla} - 200 * \% \text{CN} \\
 & * \text{Tiempo de Lixiviación} - 0.3913 * \text{Pt Ctral}
 \end{aligned}$$

Esta ecuación de regresión en unidades no codificadas proporciona una visión clara de cómo cada factor y sus interacciones inciden la extracción de Au (%) en el diseño experimental. Se puede usar esta ecuación para predecir el porcentaje de extracción y optimizar el proceso ajustando los valores de los factores.

RECOMENDACIONES

1. En concordancia con los resultados del diseño experimental, se recomienda que las operaciones de planta trabajen con un 90% pasante malla –200 en el overflow del hidrociclón. Para ello, es fundamental mantener un control constante de la molienda y ajustar la configuración del Apex y Vortex del hidrociclón, asegurando una adecuada clasificación de partículas.
2. Se sugiere implementar un monitoreo continuo de planta, operando bajo condiciones óptimas de pH 11, concentración de NaCN de 0.14% y 90% pasante malla –200. Este control debe abarcar tanto el área de molienda como los tanques de agitación en el proceso de lixiviación, garantizando la estabilidad de las variables críticas.
3. El laboratorio metalúrgico debe realizar pruebas de cada lote de mineral ingresado a planta, con el propósito de determinar el consumo específico de reactivos y la extracción de oro correspondiente. Esta práctica permitirá ajustar oportunamente las condiciones operativas.
4. Finalmente, se recomienda continuar con la investigación y la revisión de experiencias en diferentes contextos de extracción de oro, de modo que se enriquezca el conocimiento técnico y se fortalezcan las prácticas operativas, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad del proceso

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. (2005). *Advances in gold ore processing*. Elsevier.
- Corrans, I. J. (1982). *The recovery of gold from secondary sources*. Pergamon Press.
- Fleming, C. A. (1987). *The chemistry of the extraction of gold*.
- Gupta, C. K. (1990). *Hydrometallurgy in extraction processes*.
- Habashi, F. (1999). *Gold: Metallurgy and exploration*. CRC Press.
- Heinen, H. J. (1978). *Processing gold ores using heap leach-carbon adsorption methods*.
- Hernández Sampieri, R., (2006). *Metodología de la investigación*.
- La Brooy, S. R. (1994). *Review of gold extraction from ores*.
- Mahandra, H., Ramsay, J. (2021). *Gold leaching from an oxide ore using thiocyanate as a lixiviant: Process optimization and kinetics*
- Marsden, J., & House, I. (2006). *The chemistry of gold extraction* (2nd ed.).
- Melo, M., & Cruells, M. (2015). Modelación matemática de la cinética de lixiviación de oro en reactores de agitación. Repositorio Institucional USACH.
- Minitab. (2019). *Diseño de un experimento*. Soporte de Minitab.
- Misari Chuquipoma, F. (2010). *Metallurgia del oro*. Lima, Perú: Editorial San Marcos
- Parga T., J. R., Valenzuela García, J. L., & Aguayo S., S. (2011). *Hidrometalurgia del oro: Extracción por solventes*

- Ramsay, J., & Ghahreman, A. (2020). *Investigation of glycine leaching for gold extraction from oxide ores*
- Ruiz, C. (2019) “Modelamiento estadístico de la lixiviación con cianuro de un mineral del municipio de Andes”
- Sampieri, R. H., (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.).
- Saravia Apaza, S. (2018) “Optimización del proceso de cianuración en la minera Veta Dorada SAC”.
- Saravia Apaza, S. (2018). *Optimización del proceso de cianuración en la minera Veta Dorada SAC*, tesis realizada en Arequipa
- Tache, R. (2022). *New possibilities in leaching of gold ores*
- Taggart, A. F. (1945). *Handbook of mineral dressing*. Wiley.
- Tibbals, C. H. (1987). *Gold metallurgy and the environment*. Elsevier.
- Vásquez, C. (2021) “Evaluación de las principales variables del proceso de lixiviación y su influencia en la extracción de oro
- Wan, R. Y. (2001). *Cyanide in gold mining: Chemistry and technology*. SME.
- Yana Vilca, J. (2018) “Optimización del proceso de cianuración de oro en la planta de la Joya Mining”.
- Zapata Moreno, C. (2021) “Determinación de las condiciones óptimas del proceso de cianuración mediante un modelo estadístico, para beneficiar el oro de una planta de Andes – Antioquia”

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CON CIANURO DE SODIO DE LOS MINERALES AURÍFEROS DE MATRIZ OXIDADA DE LA EMPRESA MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. (INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿Cómo optimizar la extracción de oro del proceso de cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A.?	Optimizar la extracción de oro del proceso cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A.	Se optimiza la extracción de oro del proceso de cianuración por agitación de los minerales auríferos oxidados de la empresa MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. ajustando sus parámetros operativos.	VARIABLE DEPENDIENTE Extracción de oro	De: Extracción de oro • Porcentaje	TIPO DE INVESTIGACIÓN Experimental NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Cuantitativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES INDEPENDIENTES		
¿Qué tamaño de partícula del mineral será óptimo para incrementar el porcentaje de extracción de oro?	Hallar el tamaño de partícula del mineral óptima para incrementar el porcentaje de extracción de oro superior al 75%.	. Un tamaño de partícula de 90 % -200M incrementa la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA	Tamaño de partícula	De: Tamaño de partícula - Porcentaje pasante malla - 200	DISEÑO EXPERIMENTAL Factorial: 2 ³ POBLACIÓN Minerales auríferos oxidados
¿Cuál será el tiempo de lixiviación necesario para optimizar el porcentaje de extracción de oro?	Establecer el tiempo de lixiviación necesario para optimizar el porcentaje de extracción de oro superior al 75%.	Un tiempo de lixiviación de 72 horas incrementa la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA.	Tiempo de lixiviación.	De: Concentración de cianuro de sodio - ppm y %	MUESTRA 50 kilogramos muestreado del mineral aurífero oxidado

¿Cuál será la concentración de cianuro de sodio necesaria para obtener una mayor extracción de oro?	Determinar la concentración de cianuro de sodio necesaria para obtener una mayor extracción de oro superior al 75%.	Una concentración de 0.14 % de NaCN mejora la extracción de oro de los minerales auríferos oxidados de la empresa minera ESPAÑOLITA DEL SUR SA	Concentración de cianuro de sodio.	De: Tiempo de lixiviación - Tiempo	TÉCNICAS Y APAREJOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Ensayos de laboratorio, análisis químico, balance metalúrgico.
---	---	--	------------------------------------	--	--

ANEXO 2. Certificados de Análisis Químico de las pruebas experimentales

Resultados de ley de sólido y líquido de Prueba N°1

AMS-M-IE-467190 Página 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : OMAR CHAMPI
CHALA - AREQUIPA

ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO : Solucion Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA 250ml Simple

LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : Botella Plastica Cerrada
DE RECEPCION DE MUESTRAS : Volumen Aprox. 200 ml

REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 10	5.218	-	5.218

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C.

Ing. Josué Danilo Lorenzini Condori
Gerente de Laboratorio
CIP 144833

☎ Fijo : 054 778308
☎ Cel : 95376541
lorenzini@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Agradita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos QH Sector Quebrada Honda B/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467189 Página 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION : OMAR CHAMPI
CHALA - AREQUIPA

ASUNTO : ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO : Relave de Proceso
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis Oro FA 30g Duplicado

LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : Botella Plastica Cerrada
DE RECEPCION DE MUESTRAS : Peso Aprox. 200 g. Humedo

REFERENCIA DEL CLIENTE : Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 10	0.038	0.036	0.037

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-01 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos

Analytica Mineral Services S.A.C.

Ing. Josué Danilo Lorenzini Condori
Gerente de Laboratorio
CIP 144833

☎ Fijo : 054 778308
☎ Cel : 95376541
lorenzini@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Agradita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos QH Sector Quebrada Honda B/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

• Resultados de ley de sólido y líquido de Prueba N°2

AMS-M-IE-467190 Página: 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

Analytica Mineral Services S.A.C

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Solución Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Análisis Oro FA 250ml Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plástica Cerrada Volumen Aprox. 200 ml.
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 09	5.271	-	5.271

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas



Ing. José Domingo Moreno Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633
Tel : 054 778308
MPC : 959176141
jmoreno@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección: Av. 19 de Diciembre L1 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en: Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467189 Página: 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

Analytica Mineral Services S.A.C

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Relave de Proceso
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Análisis Oro FA 30g Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plástica Cerrada Peso Aprox. 200 g. Humedo
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 09	0.030	0.034	0.032

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-03 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos



Ing. José Domingo Moreno Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633
Tel : 054 778308
MPC : 959176141
jmoreno@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección: Av. 19 de Diciembre L1 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en: Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

• Resultados de ley de sólido y liquido de Prueba N°3

AMS-M-IE-467190 Pagina 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Solucion Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 250ml Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Volumen Aprox. 200 ml.
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 08	5.257	-	5.257

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

MÉTODOS DE REFERENCIA



AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C
 Dirección : Av. 19 de Diciembre L.T. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda SIN - Chala - Arequipa - Perú
 Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467199 Pagina 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Relieve de Proceso
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 30g Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Peso Aprox. 200 g. Humedo
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Te		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 08	0.031	0.033	0.032

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

MÉTODOS DE REFERENCIA



AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos

Analytica Mineral Services S.A.C
 Dirección : Av. 19 de Diciembre L.T. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda SIN - Chala - Arequipa - Perú
 Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467190 Página 1 de 1


Analytica
 Analytica Mineral Services S.A.C.

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	:	OMAR CHAMPI
ASUNTO	:	CHALA - AREQUIPA
PRODUCTO DESCRITO COMO	:	ANALISIS GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	Solucion Cianurada
SOLICITUD DE ENSAYO	:	1
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	:	Analisis Oro FA 250mL Simple
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
REFERENCIA DEL CLIENTE	:	Botella Plastica Cerrada
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	Volumen Aprox 200 ml
	:	Solicitud del 01/12/2025
	:	Del 01/12/2025 al 21/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 07	5.306	-	5.306

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04

Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C.

Mr. JORGE DÍAZ LORENZO GÓMEZ
 Gerente de Laboratorio
 (DNI 34493)

Tigo : 094 778193

RUC : 959376143

jlorenzo@am.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 Anjón Imperial Aguallas - Chala - Arequipa - Perú
 Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Ordoñez Sector Guabrida Honda S.N. - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467189 Pagina 1 de 1



Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE
DIRECCION
ASUNTO
PRODUCTO DESCRITO COMO
CANTIDAD DE MUESTRAS
SOLICITUD DE ENSAYO
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES
DE RECEPCION DE MUESTRAS
REFERENCIA DEL CLIENTE
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO

OMAR CHAMPI
CHALA - AREQUIPA
ANALISIS GRAVIMETRICO
Relave de Proceso
1
Analisis Oro FA 30g, Duplicado
CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
Botella Plastica Cerrada
Peso Aprox. 200 g. Humedo
Solicitud del 01/12/2025
Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PM - 07	0.025	0.027	0.026

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos



ANALYTICA
Analytica Mineral Services S.A.C.
Ing. Josue Danilo Lorenzo Cordoba
Gerente del Laboratorio
CIP 144433
☎ TFO : 054 778308
☎ FPC : 959376141
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 35AA/H Imp. Aguadita - Chila - Arequipa - Peru
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Ondre Sector Quebrada Honda SIN - Chila - Arequipa - Peru

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

• Resultados de ley de sólido y líquido de Prueba N°5



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

AMS-M-IE-467190 Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Solucion Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 250ml Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Volumen Aprox. 200 ml
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 06	5.323	-	5.323

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04

Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C.

Ing. José Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144433

Tel : 054 778308
RUC : 959376141
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C
Dirección : Av. 19 de Diciembre Lt. 10 Mz. 36 AAHH Imperial Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda SN - Chala - Arequipa - Perú
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

AMS-M-IE-467189 Página 1 de 1

AMS-ME-04

Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos

Analytica Mineral Services S.A.C.

Ing. José Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144433

Tel : 054 778308
RUC : 959376141
jlorenzo@ams.com.pe

• Resultados de ley de sólido y líquido de Prueba N°6

AMS-M-IE-467190 Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI
ASUNTO	CHALA - AREQUIPA
PRODUCTO DESCRITO COMO	ANALISIS GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS	Solucion Cianurada
SOLICITUD DE ENSAYO	1
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	Analisis Oro FA 250mL Simple
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	CHALA, 01/12/25 10:42 Hrs
REFERENCIA DEL CLIENTE	Botella Plastica Cerrada
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Volumen Aprox. 200 ml.
	Solicitud del 01/12/2025
	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 05	5.338	-	5.338

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04

Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas



Ing. Jorge Danilo Guerrero Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

FIC : 054 778208
RPC : 958376141
jguerrero@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre L1, 10 Mz. 36 AANH Impetal Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Oro Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467189 Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI
ASUNTO	CHALA - AREQUIPA
PRODUCTO DESCRITO COMO	ANALISIS GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS	Relaye de Proceso
SOLICITUD DE ENSAYO	1
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	Analisis Oro FA 30g. Duplicado
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	CHALA, 01/12/25 10:38 Hrs
REFERENCIA DEL CLIENTE	Botella Plastica Cerrada
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Peso Aprox. 200 g. Humedo
	Solicitud del 01/12/2025
	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au Oz/Tc		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 05	0.023	0.027	0.025

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04

Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos



Ing. Jorge Danilo Guerrero Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

FIC : 054 778208
RPC : 958376141
jguerrero@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre L1, 10 Mz. 36 AANH Impetal Aguadita - Chala - Arequipa - Perú
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Oro Sector Quebrada Honda S/N - Chala - Arequipa - Perú

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

• Resultados de ley de sólido y liquido de Prueba N°7

AMS-M-IE-467189 Pagina 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Relave de Proceso
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 30g Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Peso Aprox. 200 g. Humedo
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 04	0.026	0.025	0.026

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-MB-04 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos

Analytica Mineral Services S.A.C

Ing. Jovani Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

SE TUP : 054 778308
RUC : 958176161
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre L1, 10 Mz. 36 AAHH Imperial Agrada - Chala - Arequipa - Peru
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda 8/N - Chala - Arequipa - Peru

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467190 Pagina 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Solucion Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 250ml Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Volumen Aprox. 200 ml.
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 2/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 04	5.375	-	5.375

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C

Ing. Jovani Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

SE TUP : 054 778308
RUC : 958176161
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av. 19 de Diciembre L1, 10 Mz. 36 AAHH Imperial Agrada - Chala - Arequipa - Peru
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orón Sector Quebrada Honda 8/N - Chala - Arequipa - Peru

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

- Resultados de ley de sólido y liquido de Prueba N°8

AMS-M-IE-467189 - Página 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467189

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Relave de Proceso
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 30g. Duplicado
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:38 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Peso Aprox. 200 g. Humedo
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 21/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/t		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 03	0.017	0.018	0.018

Los resultados obtenidos y que se consignaron en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-01 Determinación De Oro Total En Minerales No Ferrosos

Analytica Mineral Services S.A.C

Ing. Josue Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

Fijo : 054 778308
Móvil : 999376141
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av 19 de Diciembre LL 10 Mz 36 AAHH Imperial Aguadilla - Chila - Arequipa - Peru
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orin Sector Quebrada Honda B.N - Chila - Arequipa - Peru

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

AMS-M-IE-467190 - Página 1 de 1

Analytica
Analytica Mineral Services S.A.C

INFORME DE ENSAYO
AMS-M-IE-467190

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE DIRECCION	OMAR CHAMPI CHALA - AREQUIPA
ASUNTO	ANALISIS GRAVIMETRICO
PRODUCTO DESCRITO COMO	Solución Cianurada
CANTIDAD DE MUESTRAS	1
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis Oro FA 250ml. Simple
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION	CHALA 01/12/25 19:42 Hrs
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	Botella Plastica Cerrada Volumen Aprox. 200 ml.
REFERENCIA DEL CLIENTE	Solicitud del 01/12/2025
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	Del 01/12/2025 al 21/12/2025

DETALLE DEL INFORME

CODIGO	Au g/m3		
	Au 1	Au 2	PROMEDIO
PIM - 03	5.418	-	5.418

Los resultados obtenidos y que se consignaron en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

AMS-ME-04 Determinación De Oro Total En Soluciones Cianuradas

Analytica Mineral Services S.A.C

Ing. Josue Danilo Lorenzo Cordero
Gerente de Laboratorio
CIP 144633

Fijo : 054 778308
Móvil : 999376141
jlorenzo@ams.com.pe

Analytica Mineral Services S.A.C

Dirección : Av 19 de Diciembre LL 10 Mz 36 AAHH Imperial Aguadilla - Chila - Arequipa - Peru
Ensayos Realizados en : Laboratorio Químico - Planta de Procesos Orin Sector Quebrada Honda B.N - Chila - Arequipa - Peru

Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la Gerencia General de Analytica Mineral Services S.A.C.

- Resultados de ley de sólido y líquido de Prueba N°9 (PIM-02) y Prueba N°10 (PIM-01)



LABORATORIO DE MINERALES & SERVICIOS
QUANTUM SA
RUC: 20611618906

CERTIFICADO DE ENSAYO

A SOLICITUD DE: OMAR OCHOCHOQUE CHAMPI

PRODUCTO DESCRITO COMO: Pulpa

TIPO DE ANALISIS: Analisis Quimico de Minerales

DETALLE DE ANALISIS: Reconocimiento Au / AA Au

CANTIDAD DE MUESTRAS: 2

DESCRIPCION DE RECEPCION: Botella Plastica Cerrada

FECHA DE RECEPCION: 19/11/2025

FECHA DE REPORTE: 19/11/2025

INSTRUCCIONES DE ENSAYO: LQ-PR-13 DETERMINACION DE SOLUCION CIANURADA AU
POR ABSORCION ATOMICA LQ-PR-15 DETERMINACION DE
ORO POR RECONOCIMIENTO-GRAVIMETRIA

DETALLE DE INFORME:

ITEM	CODIGO MUESTRA	ELEMENTO	Solido		Liquido
		METODO	LQ-PR-15	LQ-PR-15	LQ-PR-13
		UNIDAD	Oz/Tc	g/Tm	g/m ³
		RECONOCIMIENTO	Ley de Au	Ley de Au	Ley de Au
1	PIM-01	Pulpa	0.029	0.994	5.310
2	PIM-02	Pulpa	0.029	0.994	5.232


Ing. Miguel Tito Melendez Proby
QUANTUM SA JEFE DE LABORATORIO CHALCO
CIP: 167012

 Av. Franklin Pease Olivera Mza. 28 Lote. 38
Arequipa - Caraveli - Chala

 982 027 974

 oficinarecepcion@lamsquantum.com

- Ley analizada de la muestra de mineral aurífero oxidado.



LABORATORIO DE MINERALES & SERVICIOS
QUANTUM SA
RUC: 20611618906

CERTIFICADO DE ENSAYO
QC-2511-3891

A SOLICITUD DE: AREA LABORATORIO METALURGICO

POR CUENTA DE: MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. - MEDSURSA

PRODUCTO DESCRITO COMO: Molido

TIPO DE ANALISIS: Analisis Quimico de Minerales

DETALLE DE ANALISIS: Reconocimiento Au

CANTIDAD DE MUESTRAS: 1

DESCRIPCION DE RECEPCION: Bolsa Plastica Sellada

FECHA DE RECEPCION: 26/11/2025

FECHA DE REPORTE: 27/11/2025

INSTRUCCIONES DE ENSAYO: LQ-PR-15 DETERMINACION DE ORO POR RECONOCIMIENTO-
GRAVIMETRIA

DETALLE DE INFORME:

ITEM	CODIGO MUESTRA	ELEMENTO	Au
		METODO	LQ-PR-15
		UNIDAD	Oz/Tc
		RECONOCIMIENTO	Ley de Au
1	MUESTRA OXIDADA	Molido	0.335


Ing. Moisés Prody
REFE DE LABORATORIO QUIMICO
01917612

Av. Franklin Pease Olivera Mza. 28 Lote. 3B
Arequipa - Caraveli - Chala

982 027 974

oficinarecepcion@lamsquantum.com

ANEXO 3. Análisis de muestra de mineral aurífero oxidado, ICP (plasma acoplado inductivamente)

Pag: 1/1



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La Villa, Chorrillos - Lima - Peru
 Telf.: 01-251 0442 / 01-719 3560 Cel.: 984 297 625

INFORME DE ENSAYO

KW 5062 / 2026

Fecha : 26/05/2026

Cliente : OMAR DOMINIC OCHOCHOQUE CHAMPI

Referenda: Dot KW 2650 / 2026

Material : mineral Orden de Trabajo : kw 2650/ 2026

Cantidad de Muestra(s) : 01 Cerrados ☒ Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %
KW 8154	CODIGO- M. OXIDADO 26.05.26	14	4.8	150	500	2.9	21	2.20
		Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	K %	Mg %
		1	22	94	629	6.06	2.75	0.98
		Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	S %
		650	11	3245	63	<10	86	1.71
		Sb ppm	Sr ppm	Ti %	V ppm	W ppm	Zn ppm	
		4	128	0.03	119	<0.1	84	

- Signified 'Menor Que' al limite detection inferior



[Signature]
K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 R.U.C. 2051656677

* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente.
 * Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 * Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.
 * Los remanentes de las muestras se guardaran por un periodo de 3 meses.

Email: reportes@kwquimicagermana.com / recepcion@kwquimicagermana.com / metalurgia@kwquimicagermana.com
 www.kwquimicagermana.com

ANEXO 4. Control de Reactivos de NaCN Y NaOH

- Volumen en alícuota 10 mL
- Este procedimiento se hizo en las siguientes horas: 2h, 6h, 12h, 24h, 48h y 72h.

Control de parámetros de la prueba N°1 (PIM-01)

1) Control 2h

Concentración de cianuro libre %

- Gasto de AgNO_3 (mL) = 1.0 mL
- Concentración inicial de cianuro libre = 0.11%

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times V_{AgNO_3}(\text{mL})$$

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times 1.0 \text{ mL } AgNO_3$$

$$\%C_{NaCN} = 0.025\%$$

Reposición de NaCN

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = V_{solucion}(\text{mL}) \times \left(C_{NaCN \text{ inicial}}\left(\frac{g}{mL}\right) - C_{NaCN \text{ final}}\left(\frac{g}{mL}\right) \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 841.02 \text{ mL} \times \left(\frac{0.1100g}{100 \text{ mL}} - \frac{0.025g}{100 \text{ mL}} \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 0.71 \text{ g}$$

Control de pH

- pH inicial de la prueba = 6.7
- Adición inicial de NaOH = 1.4 g
- pH actual de la prueba = 10.55

Reposición de NaOH

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH} \text{ inicial}}{pH_{final} - pH_{inicial}} \right) (pH_{final} - pH_{actual})$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{1.4g}{11 - 6.7} \right) (11 - 10.55)$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = 0.15 \text{ g}$$

2) Control 6h

Concentración de cianuro libre %

- Gasto de $AgNO_3$ (mL) = 1.2 mL
- Concentración inicial de cianuro libre = 0.11%

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times V_{AgNO_3} (mL)$$

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times 1.2 \text{ mL } AgNO_3$$

$$\%C_{NaCN} = 0.03\%$$

Reposición de NaCN

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = V_{solucion(mL)} \times \left(C_{NaCN \text{ inicial}} \left(\frac{g}{mL} \right) - C_{NaCN \text{ final}} \left(\frac{g}{mL} \right) \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 841.02 \text{ mL} \times \left(\frac{0.1100g}{100 \text{ mL}} - \frac{0.03g}{100 \text{ mL}} \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 0.67 \text{ g}$$

Control de pH

- pH inicial de la prueba = 6.7
- Adición inicial de NaOH = 1.4 g
- pH actual de la prueba = 10.64

Reposición de NaOH

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH} \text{ inicial}}{pH_{final} - pH_{inicial}} \right) (pH_{final} - pH_{actual})$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{1.4g}{11 - 6.7} \right) (11 - 10.64)$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = 0.12 \text{ g}$$

3) Control 12h

Concentración de cianuro libre %

- Gasto de $AgNO_3$ (mL) = 1.4 mL
- Concentración inicial de cianuro libre = 0.11%

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times V_{AgNO_3} (mL)$$

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times 1.4 \text{ mL } AgNO_3$$

$$\%C_{NaCN} = 0.035\%$$

Reposición de NaCN

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = V_{solucion(mL)} \times \left(C_{NaCN \text{ inicial}} \left(\frac{g}{mL} \right) - C_{NaCN \text{ final}} \left(\frac{g}{mL} \right) \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 841.02 \text{ mL} \times \left(\frac{0.1100g}{100 \text{ mL}} - \frac{0.035g}{100 \text{ mL}} \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 0.63 \text{ g}$$

Control de pH

- pH inicial de la prueba = 6.7
- Adición inicial de NaOH = 1.4 g
- pH actual de la prueba = 10.71

Reposición de NaOH

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH} \text{ inicial}}{pH_{final} - pH_{inicial}} \right) (pH_{final} - pH_{actual})$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{1.4g}{11 - 6.7} \right) (11 - 10.71)$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = 0.09 \text{ g}$$

4) Control 24h

Concentración de cianuro libre %

- Gasto de $AgNO_3$ (mL) = 1.8 mL
- Concentración inicial de cianuro libre = 0.11%

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times V_{AgNO_3} (mL)$$

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times 1.8 \text{ mL } AgNO_3$$

$$\%C_{NaCN} = 0.045\%$$

Reposición de NaCN

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = V_{solucion(mL)} \times \left(C_{NaCN \text{ inicial}} \left(\frac{g}{mL} \right) - C_{NaCN \text{ final}} \left(\frac{g}{mL} \right) \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 841.02 \text{ mL} \times \left(\frac{0.1100g}{100 \text{ mL}} - \frac{0.045g}{100 \text{ mL}} \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 0.55 \text{ g}$$

Control de pH

- pH inicial de la prueba = 6.7
- Adición inicial de NaOH = 1.4 g
- pH actual de la prueba = 10.80

Reposición de NaOH

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH} \text{ inicial}}{pH_{final} - pH_{inicial}} \right) (pH_{final} - pH_{actual})$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{1.4g}{11 - 6.7} \right) (11 - 10.80)$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = 0.07 \text{ g}$$

5) Control 48h

Concentración de cianuro libre %

- Gasto de $AgNO_3$ (mL) = 2.0 mL
- Concentración inicial de cianuro libre = 0.11%

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times V_{AgNO_3} (mL)$$

$$\%C_{NaCN} = \frac{0.025\% NaCN}{1 \text{ mL } AgNO_3} \times 2.0 \text{ mL } AgNO_3$$

$$\%C_{NaCN} = 0.05\%$$

Reposición de NaCN

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = V_{solucion(mL)} \times \left(C_{NaCN \text{ inicial}} \left(\frac{g}{mL} \right) - C_{NaCN \text{ final}} \left(\frac{g}{mL} \right) \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 841.02 \text{ mL} \times \left(\frac{0.1100g}{100 \text{ mL}} - \frac{0.050g}{100 \text{ mL}} \right)$$

$$W_{NaCN} (g) \text{ a reponer} = 0.5 \text{ g}$$

Control de pH

- pH inicial de la prueba = 6.7
- Adición inicial de NaOH = 1.4 g
- pH actual de la prueba = 10.89

Reposición de NaOH

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{W_{NaOH}^{inicial}}{PH_{final} - PH_{inicial}} \right) (PH_{final} - PH_{actual})$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = \left(\frac{1.4g}{11 - 6.7} \right) (11 - 10.89)$$

$$W_{NaOH} (g) \text{ a reponer} = 0.04 \text{ g}$$

Consumo total de reactivos de la prueba número N°1 (PIM-01)

- CONSUMO TOTAL NaCN (g) = **3.06 g**
- CONSUMO TOTAL NaOH (g) = **1.86 g**

ANEXO 5. Datos de los Tiempos de Titulación de las Pruebas Experimentales

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-01	2 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.00	0.025	0.71	10.55	0.15	6.7
	6 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.20	0.03	0.67	10.64	0.12	Adición inicial NaOH(g)
	12 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.40	0.035	0.63	10.71	0.09	
	24 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.80	0.045	0.55	10.8	0.07	
	48 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.00	0.05	0.5	10.89	0.04	1.4
CONSUMO TOTAL (g)								3.06		1.86	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.13		4.33	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-02	2 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	0.80	0.02	0.76	10.45	0.18	6.7
	6 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.00	0.025	0.71	10.58	0.14	Adición inicial NaOH(g)
	12 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.40	0.035	0.63	10.65	0.11	
	24 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.00	0.05	0.5	10.71	0.09	
	48 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.40	0.06	0.42	10.75	0.08	1.4
CONSUMO TOTAL (g)								3.02		2.01	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.04		4.67	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-03	2 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	1.80	0.045	0.8	10.53	0.15	6.7
	6 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.40	0.06	0.67	10.68	0.10	Adición inicial NaOH(g)
	12 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.60	0.065	0.63	10.75	0.08	
	24 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.00	0.075	0.55	10.8	0.07	
	48 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.40	0.085	0.46	10.83	0.06	1.4
CONSUMO TOTAL (g)								3.11		1.86	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.25		4.33	

ODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM- 04	2 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	1.60	0.04	0.84	10.63	0.12	6.7
	6 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.40	0.06	0.67	10.79	0.07	Adición inicial NaOH(g)
	12 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.80	0.07	0.59	10.83	0.06	
	24 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.00	0.075	0.55	10.86	0.05	
	48 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.80	0.095	0.38	10.91	0.03	1.4
CONSUMO TOTAL (g)								3.03		1.72	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.06		4.00	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-05	2 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.00	0.025	0.71	10.4	0.20	6.7
	6 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.20	0.03	0.67	10.58	0.14	
	12 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.40	0.035	0.63	10.62	0.12	Adición inicial NaOH(g)
	24 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.80	0.045	0.55	10.67	0.11	
	48 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.00	0.05	0.5	10.5	0.16	1.4
	72 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.40	0.06	0.42	10.5	0.16	
CONSUMO TOTAL (g)								3.48		2.29	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								8.11		5.33	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-06	2 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	0.80	0.02	0.76	10.44	0.18	6.7
	6 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.00	0.025	0.71	10.49	0.17	
	12 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.20	0.03	0.67	10.5	0.16	Adición inicial NaOH(g)
	24 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	1.80	0.045	0.55	10.46	0.18	
	48 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.00	0.05	0.5	10.45	0.18	1.4
	72 HRS	0.11	429.25	841.02	0.93	2.20	0.055	0.46	10.5	0.16	
CONSUMO TOTAL (g)								3.65		2.43	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								8.5		5.66	

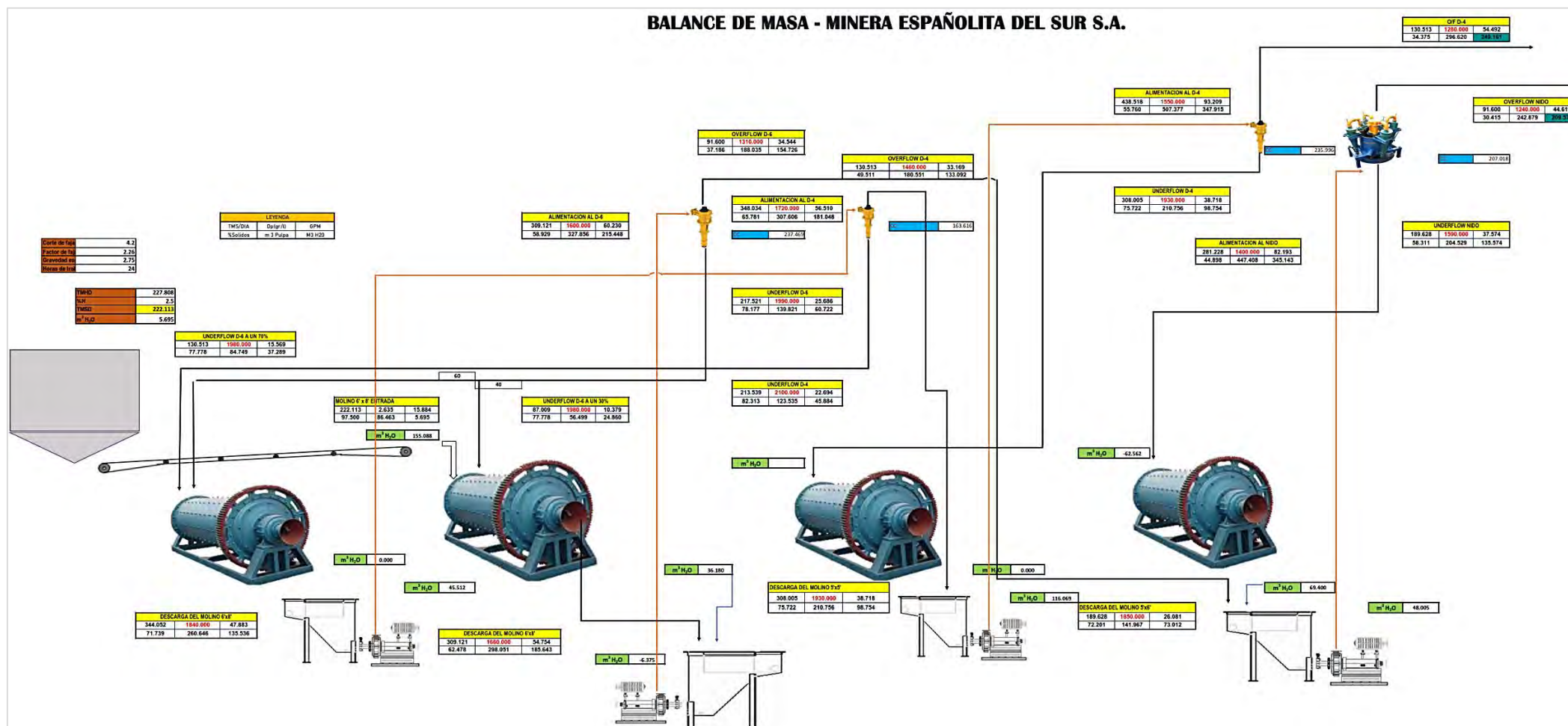
CODIGO	TITULACION	fuerza CN-inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-07	2 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	1.60	0.04	0.84	10.4	0.20	6.7
	6 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.40	0.06	0.67	10.58	0.14	
	12 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	2.80	0.07	0.59	10.62	0.12	Adición inicial NaOH(g)
	24 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.00	0.075	0.55	10.67	0.11	
	48 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	3.80	0.095	0.38	10.68	0.10	1.4
	72 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18	4.00	0.1	0.34	10.76	0.08	
CONSUMO TOTAL (g)								3.37		2.15	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.85		5.00	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN-	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN-inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN-	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
--------	------------	------------	-------------	----------	----------------	---------------------	------------	---------------------	---------------	---------------------	------------

		inicial (%)					final (%)					
PIM-08	2 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		1.80	0.045	0.8	10.4	0.20	6.7
	6 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		2.20	0.055	0.71	10.58	0.14	
	12 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		2.60	0.065	0.63	10.62	0.12	
	24 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		3.00	0.075	0.55	10.67	0.11	1.4
	48 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		3.60	0.09	0.42	10.5	0.16	
	72 HRS	0.14	429.25	841.02	1.18		4.00	0.1	0.34	10.5	0.16	
CONSUMO TOTAL (g)								3.45		2.29		
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								8.04		5.33		

CODIGO	TITULACION	fuerza CN- inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN- inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN- final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-09	2 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	1.40	0.035	0.76	10.56	0.14	6.7
	6 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.00	0.05	0.63	10.61	0.13	
	12 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.20	0.055	0.59	10.63	0.12	
	24 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.60	0.065	0.5	10.72	0.09	Adición inicial NaOH(g)
	48 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.80	0.07	0.46	10.76	0.08	1.4
	60 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	3.60	0.09	0.29	10.86	0.05	
CONSUMO TOTAL (g)								3.23		2.01	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.52		4.67	

CODIGO	TITULACION	fuerza CN- inicial (%)	MINERAL (g)	H2O (mL)	CN- inicial (g)	gasto de AgNO3 (mL)	fuerza CN- final (%)	ADICION DE NaCN (g)	CONTROL DE pH	ADICION DE NaOH (g)	pH inicial
PIM-10	2 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	1.60	0.04	0.71	10.49	0.17	6.7
	6 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	1.80	0.045	0.67	10.64	0.12	
	12 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.00	0.05	0.63	10.67	0.11	
	24 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	2.60	0.065	0.5	10.7	0.10	Adición inicial NaOH(g)
	48 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	3.00	0.075	0.42	10.74	0.08	1.4
	60 HRS	0.125	429.25	841.02	1.05	3.40	0.085	0.34	10.9	0.03	
CONSUMO TOTAL (g)								3.27		2.01	
CONSUMO TOTAL (kg/Tm)								7.62		4.67	

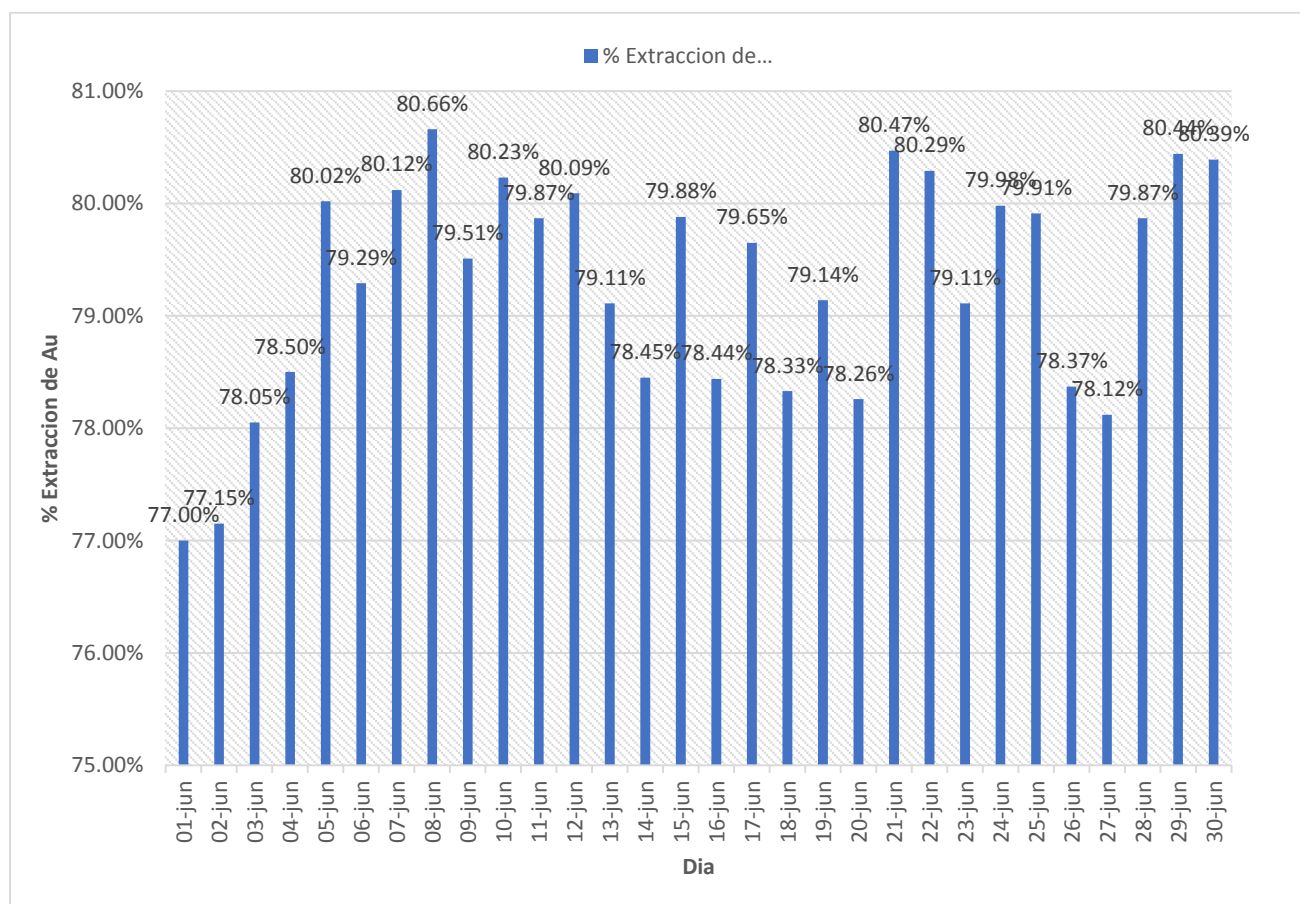
BALANCE DE MASA - MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A.

ANEXO 7. Tablas de Leyes de Au por Campaña en el Mes de Junio

CAMPAÑA N° 353					JUNIO				Au.
Fecha	Campaña	Lote	Material	Proveedor	Peso TMH	H20 %	Peso TMS	Ley Au. Onz/Tc	Ley Au. Fino (g)
3-May-25	C 353	ACM-031838	MINERAL HUMEDO OXIDO	GRUPO LINKOS NGLK EIRL,	4.650	14.79	3.962	0.493	66.97
23-May-25	C 353	ACM-032236	MINERAL HUMEDO OXIDO	DAVILA M. INVERSIONES E.I.R.L.,	13.310	17.88	10.930	0.397	148.77
16-May-25	C 353	ACM-032104	MINERAL HUMEDO OXIDO	INVERSIONES CHUYA SONQO E.I.R.L.,	21.550	4.65	20.548	1.593	1,122.25
26-May-25	C 353	ACM-032283	MINERAL HUMEDO OXIDO	BARRANCA DENEGRI, ALFONSO ORESTES	8.010	3.83	7.703	0.689	181.96
26-May-25	C 353	ACM-032284	MINERAL HUMEDO OXIDO	BARRANCA DENEGRI, ALFONSO ORESTES	6.950	13.43	6.017	0.322	66.43
9-May-25	C 353	ACM-031951	MINERAL OXIDO	ANGEL DORADO C.L. E.I.R.L.,	3.130	1.89	3.071	0.245	25.80
18-May-25	C 353	ACM-032140	MINERAL OXIDO	DAVILA M. INVERSIONES E.I.R.L.,	2.100	1.95	2.059	1.381	97.49
18-May-25	C 353	ACM-032143	MINERAL OXIDO	MULLISACA QUISPE, GERMAN ARTEMIO	10.320	1.51	10.164	0.172	59.94
18-May-25	C 353	ACM-032146	MINERAL OXIDO	ROMERO PALMA, CEFERINO HENRY	5.890	4.91	5.601	0.397	76.24
18-May-25	C 353	ACM-032156	MINERAL OXIDO	MITMA RUBIO, INES VICTORIA	2.510	1.59	2.470	0.163	13.80
21-May-25	C 353	ACM-032193	MINERAL OXIDO	MINERA Y SERVICIOS GENERALES STAR PALLI E.I.R.L.,	1.840	4.08	1.765	0.657	39.76
21-May-25	C 353	ACM-032194	MINERAL OXIDO	EMPRESA MINERA Y MULTISERVICIOS CHALA SA,	2.990	2.17	2.925	0.277	27.78
21-May-25	C 353	ACM-032195	MINERAL OXIDO	ARIAS FARFAN, MIGUEL ANGEL	22.660	1.63	22.291	0.206	157.43
23-May-25	C 353	ACM-032226	MINERAL OXIDO	SALAS SANCHEZ, JULIAN ARTURO	7.040	7.13	6.538	0.249	55.81
24-May-25	C 353	ACM-032249	MINERAL OXIDO	GRUPO RAM SRL,	1.620	1.07	1.603	0.212	11.65
24-May-25	C 353	ACM-032250	MINERAL OXIDO	MINERA ILER E.I.R.L.,	0.750	14.57	0.641	1.166	25.62
30-May-25	C 353	ACM-032366	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	2.290	2.76	2.227	0.317	24.20
30-May-25	C 353	ACM-032367	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	4.140	1.59	4.074	0.423	59.08
2-May-25	C 353	ACM-031829	MINERAL OXIDO	HUAMANI ESPINOZA, JOEL ALEXANDRO	2.100	6.59	1.962	0.371	24.96
17-May-25	C 353	ACM-032126	MINERAL OXIDO	CUNO QUIÑONES, EDWIN	5.050	11.99	4.445	0.348	53.03
22-May-25	C 353	ACM-032222	MINERAL OXIDO	HUANATICO CHAVEZ, JOSE LUIS	6.050	1.30	5.971	0.475	97.24
24-May-25	C 353	ACM-032245	MINERAL OXIDO	MINEROS ARTESANALES DE MEDALLA MILAGROSA DE CARAVELI E.I.R.L.,	13.520	3.21	13.086	0.314	140.88
24-May-25	C 353	ACM-032246	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	10.650	5.65	10.048	0.314	108.17
24-May-25	C 353	ACM-032247	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	9.470	8.84	8.633	0.640	189.43
24-May-25	C 353	ACM-032251	MINERAL OXIDO	MINERA ILER E.I.R.L.,	3.850	13.24	3.340	0.539	61.72
22-May-25	C 353	ACM-032223	MINERAL OXIDO	MITMA RUBIO, INES VICTORIA	2.470	1.58	2.431	0.183	15.25
					211.180	5.34	199.901	0.6010	4118.905

Campaña N° 354					JUNIO				Au.
Fecha	Campaña	Lote	Material	Proveedor	Peso TMH	H2O %	Peso TMS	Ley Au. Onz/Tc	Ley Au. Fino (g)
9-May-25	C 354	ACM-031974	MINERAL OXIDO	SEQUEIROS HURTADO, LUIS MIGUEL	36.110	9.89	32.539	0.827	922.60
12-May-25	C 354	ACM-032039	MINERAL OXIDO	ROMERO PALMA, CEFERINO HENRY	2.050	7.85	1.889	0.231	14.96
15-May-25	C 354	ACM-032082	MINERAL OXIDO	SEQUEIROS HURTADO, LUIS MIGUEL	21.010	15.67	17.718	0.441	267.89
16-May-25	C 354	ACM-032116	MINERAL OXIDO	LUNA ANCALLA, JUAN	1.550	4.09	1.487	0.305	15.55
17-May-25	C 354	ACM-032128	MINERAL OXIDO	MINERA Y SERVICIOS GENERALES STAR PALLI E.I.R.L.,	0.740	1.62	0.728	0.216	5.39
17-May-25	C 354	ACM-032130	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	2.730	2.21	2.670	0.280	25.63
18-May-25	C 354	ACM-032148	MINERAL OXIDO	ROMERO PALMA, CEFERINO HENRY	4.840	6.81	4.510	0.461	71.28
20-May-25	C 354	ACM-032174	MINERAL OXIDO	MINERA INVERSIONES JAM GOLD E.I.R.L.	13.950	10.26	12.519	0.170	72.97
14-May-25	C 354	ACM-032071	MINERAL HUMEDO OXIDO	EMPRESA MINERA Y MULTISERVICIOS CHALA SA,	2.250	15.50	1.901	0.540	35.19
21-May-25	C 354	ACM-032197	MINERAL HUMEDO OXIDO	EMPRESA MINERA Y MULTISERVICIOS CHALA SA,	3.000	19.56	2.413	0.688	56.92
24-May-25	C 354	ACM-032248	MINERAL HUMEDO OXIDO	BARRANCA DENEGRI, ALFONSO ORESTES	36.690	11.56	32.449	0.647	719.80
18-May-25	C 354	ACM-032157	MINERAL HUMEDO OXIDO	INVERSIONES LOS GEMELOS TED & LETS EIRL,	2.720	15.36	2.302	0.422	33.31
21-May-25	C 354	ACM-032196	MINERAL HUMEDO OXIDO	EMPRESA MINERA Y MULTISERVICIOS CHALA SA,	2.700	17.84	2.218	1.586	120.61
27-abr-25	C 354	ACM-031742	MINERAL OXIDO	MINERA E INVERSIONES JAH EIRL,	22.010	4.26	21.072	0.140	101.14
27-abr-25	C 354	ACM-031743	MINERAL OXIDO	MINERA E INVERSIONES JAH EIRL,	16.000	3.83	15.387	0.153	80.71
14-May-25	C 354	ACM-032061	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	2.740	1.54	2.698	0.647	59.85
14-May-25	C 354	ACM-032062	MINERAL OXIDO	INVERSIONES YARENDIELV E.I.R.L.,	1.150	1.57	1.132	0.235	9.12
14-May-25	C 354	ACM-032063	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	2.750	4.39	2.629	0.591	53.27
14-May-25	C 354	ACM-032064	MINERAL OXIDO	NEGOCIOS CARRILLO LANDA EIRL,	1.020	1.66	1.003	0.520	17.88
14-May-25	C 354	ACM-032066	MINERAL OXIDO	ARIAS FARFAN, MIGUEL ANGEL	4.040	1.53	3.978	0.156	21.28
14-May-25	C 354	ACM-032067	MINERAL OXIDO	ARIAS FARFAN, MIGUEL ANGEL	2.710	2.03	2.655	0.163	14.84

ANEXO 8. Resumen Grafico del % Extracción de Au en el Mes de Junio del 2025

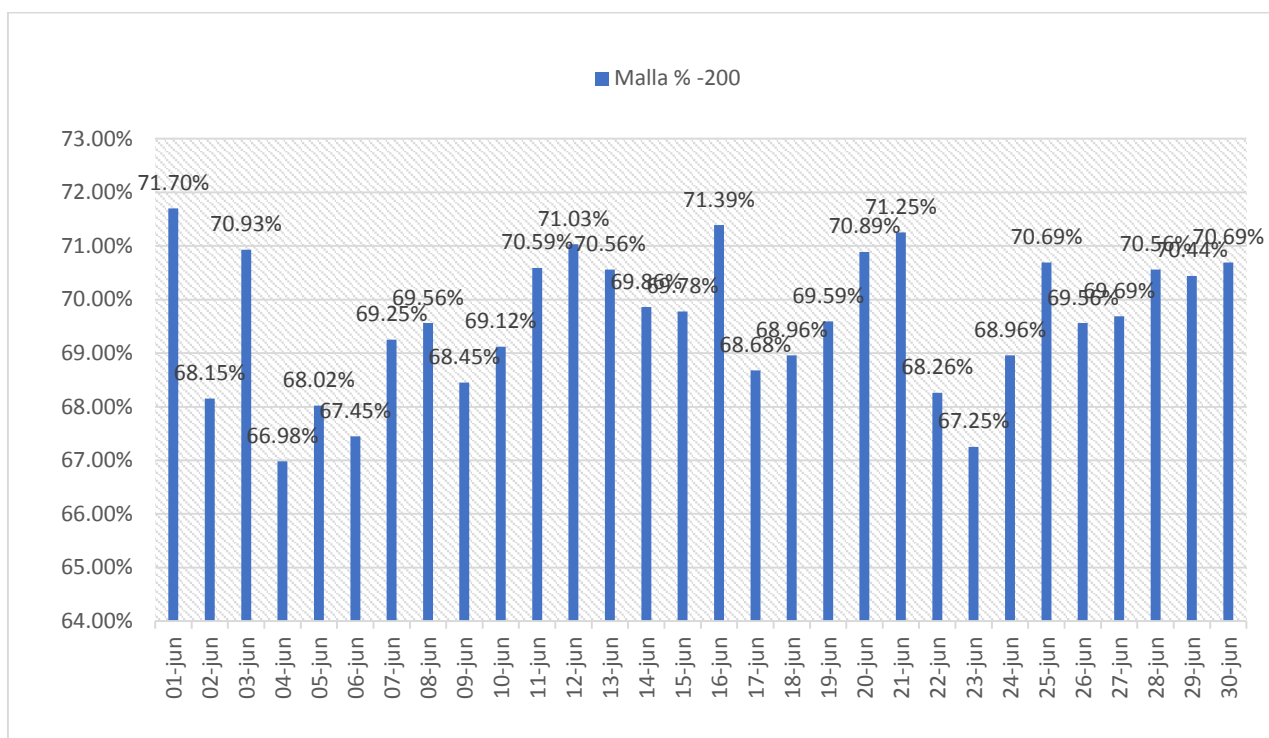


Nota: Según a este grafico podemos ver el comportamiento del porcentaje de extracción de cada día en el mes de junio, en donde claramente podemos notar que las extracciones de Au exceden un poco al 80 %.

ANEXO 9. Balance Mensual de la Planta del Mes de Junio

Dia	TRATAMIENTO				CABEZA			RELAVE			PRODUCTO				OPERACIÓN	
	TMH	% H2O	TMS	TMS acum	g/tms	g Au	g Au Acum	g/tms día	g Au día	g Au Acum	g Au día	g Au Acum	% Ext. Au	% Acum	Hr día	Hr acum
1-Jun	140.413	1.9%	137.794	137.794	15.445	2128.279	2128.279	0.703	96.847	96.847	2031.431	2031.431	77.00%	77.22%	23.64	23.64
2-Jun	102.770	2.0%	100.742	238.536	16.320	1644.083	3772.362	0.703	70.806	167.653	1573.277	3604.708	77.15%	77.33%	16.90	40.54
3-Jun	146.540	1.7%	144.027	382.563	16.645	2397.379	6169.741	0.857	123.449	291.102	2273.930	5878.639	78.05%	78.66%	23.70	64.24
4-Jun	146.816	1.7%	144.261	526.824	15.531	2240.538	8410.279	0.874	126.123	417.225	2114.415	7993.054	78.50%	78.60%	23.75	87.99
5-Jun	142.358	2.0%	139.537	666.361	17.262	2408.751	10819.030	0.857	119.600	536.826	2289.151	10282.205	80.02%	80.99%	23.39	111.38
6-Jun	146.097	1.9%	143.394	809.755	16.234	2327.849	13146.880	0.823	117.990	654.816	2209.859	12492.064	79.29%	79.44%	23.69	135.07
7-Jun	144.064	1.9%	141.361	951.116	16.423	2321.511	15468.391	0.806	113.895	768.711	2207.616	14699.680	80.12%	80.78%	23.30	158.37
8-Jun	145.821	1.8%	143.138	1094.254	15.257	2183.828	17652.218	0.874	125.141	893.851	2058.687	16758.367	80.66%	80.71%	23.59	181.96
9-Jun	146.195	1.8%	143.497	1237.751	15.685	2250.808	19903.026	0.857	122.995	1016.846	2127.813	18886.180	79.51%	80.02%	23.64	205.60
10-Jun	143.492	1.8%	140.883	1378.634	17.417	2453.721	22356.747	0.857	120.754	1137.600	2332.967	21219.147	80.23%	80.62%	23.35	228.95
11-Jun	129.027	2.1%	126.261	1504.895	18.428	2326.759	24683.507	0.840	106.057	1243.657	2220.703	23439.849	79.87%	80.01%	20.80	249.75
12-Jun	66.625	3.9%	64.014	1568.909	17.382	1112.718	25796.225	0.840	53.770	1297.428	1058.948	24498.797	80.09%	80.55%	12.80	262.55
13-Jun	131.273	2.7%	127.686	1696.595	17.040	2175.724	27971.949	0.737	94.121	1391.548	2081.603	26580.400	79.11%	79.67%	23.34	285.89
14-Jun	144.664	3.2%	140.033	1836.627	16.697	2338.098	30310.046	0.669	93.620	1485.168	2244.478	28824.878	78.45%	78.40%	23.67	309.56
15-Jun	146.143	3.3%	141.262	1977.889	17.125	2419.167	32729.213	0.651	92.020	1577.189	2327.147	31152.024	79.88%	79.73%	23.58	333.14
16-Jun	136.312	2.6%	132.732	2110.621	16.440	2182.062	34911.275	0.600	79.637	1656.826	2102.425	33254.449	78.44%	78.50%	22.00	355.14
17-Jun	142.540	2.4%	139.142	2249.763	16.731	2327.989	37239.264	0.600	83.483	1740.309	2244.506	35498.955	79.65%	79.04%	23.01	378.15
18-Jun	141.480	2.9%	137.409	2387.171	15.325	2105.844	39345.108	0.617	84.799	1825.108	2021.045	37520.000	78.33%	78.90%	22.84	400.99
19-Jun	140.522	2.7%	136.774	2523.945	18.702	2558.010	41903.118	0.686	93.786	1918.894	2464.224	39984.224	79.14%	79.62%	22.68	423.67
20-Jun	144.052	2.8%	140.001	2663.947	18.308	2563.168	44466.286	0.754	105.599	2024.493	2457.569	42441.793	78.26%	78.49%	23.26	446.93
21-Jun	144.499	2.6%	140.778	2804.724	16.680	2348.126	46814.412	0.737	103.771	2128.264	2244.355	44686.148	80.47%	80.92%	23.50	470.43
22-Jun	131.475	2.9%	127.612	2932.336	17.091	2181.024	48995.436	0.754	96.254	2224.518	2084.771	46770.918	80.29%	80.56%	21.30	491.73
23-Jun	145.322	2.9%	141.165	3073.502	16.697	2357.007	51352.444	0.806	113.736	2338.254	2243.271	49014.189	79.11%	79.58%	23.54	515.27
24-Jun	145.956	2.9%	141.665	3215.166	16.131	2285.204	53637.648	0.789	111.710	2449.965	2173.494	51187.683	79.98%	80.09%	23.65	538.92
25-Jun	139.439	2.6%	135.769	3350.935	15.668	2127.261	55764.909	0.703	95.424	2545.389	2031.837	53219.520	79.91%	80.11%	23.65	562.57
26-Jun	124.106	2.7%	120.811	3471.746	16.183	1955.027	57719.936	0.720	86.982	2632.371	1868.045	55087.565	78.37%	78.71%	21.75	584.32
27-Jun	112.041	2.6%	109.112	3580.858	16.560	1806.853	59526.789	0.669	72.947	2705.319	1733.906	56821.470	78.12%	78.69%	19.84	604.16
28-Jun	146.691	2.7%	142.772	3723.630	16.080	2295.728	61822.517	0.720	102.794	2808.112	2192.935	59014.405	79.87%	80.07%	23.70	627.86
29-Jun	136.884	2.6%	133.361	3856.992	16.320	2176.414	63998.932	0.686	91.446	2899.558	2084.968	61099.373	80.44%	80.67%	22.00	649.86
30-Jun	148.861	2.2%	145.549	4002.541	16.748	2437.692	66436.623	0.634	92.318	2991.876	2345.374	63444.747	80.39%	80.59%	23.84	673.70

ANEXO 10. Resumen de Porcentaje de Malla -200 del Mes de junio de 2025



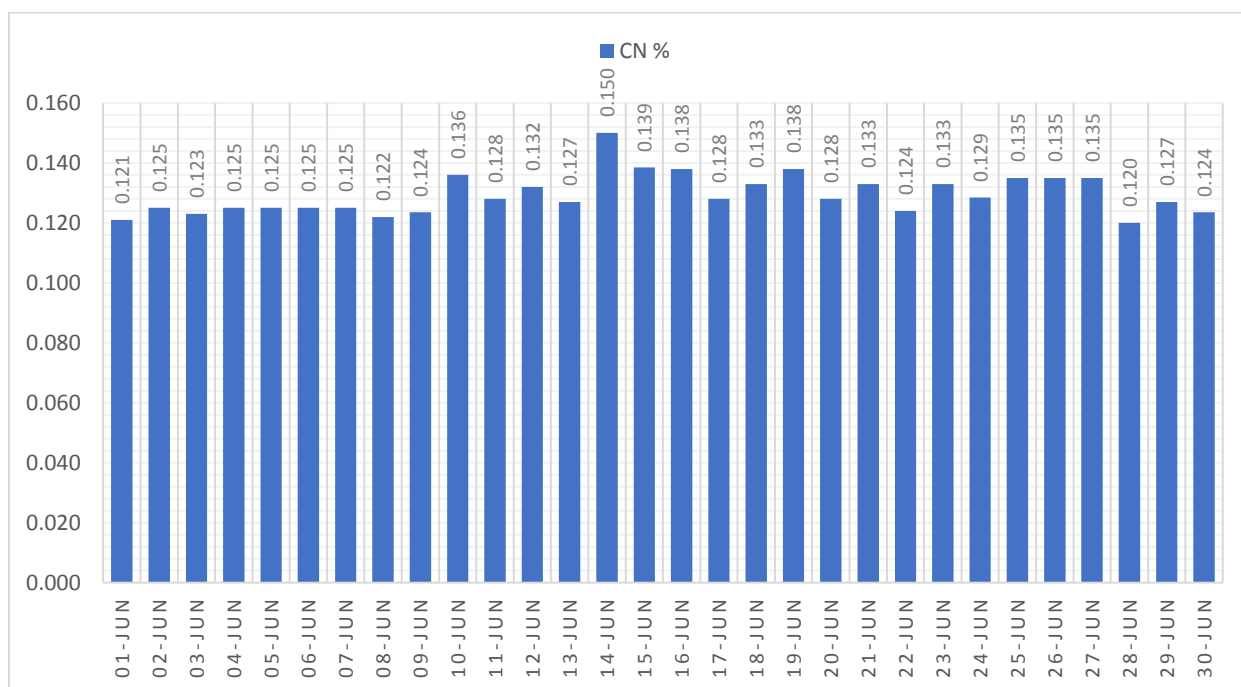
Nota: En este grafico se puede apreciar el porcentaje de malla – 200 que se obtuvo durante el proceso en el mes de junio especificado en cada día.

ANEXO 11. Tiempo Total de Lixiviación en el Circuito

N° TANQUES	DIAMETRO (PIES)	ALTURA (PIES)	VOLUMEN TOTAL(M3)	VOLUMEN UTIL AL 90%	DENSIDAD DE PULPA TN/M3	GRAVEDAD ESPECIFICA	% SOLIDOS	TN MINERAL	TIEMPO DE RETENCION (hrs)
1.00	25.00	25.00	347.50	312.75	1.26	2.70	0.32	127.78	11.03
2.00	25.00	25.00	347.50	312.75	1.26	2.70	0.32	127.78	11.03
3.00	21.00	22.00	215.77	194.20	1.26	2.70	0.32	79.34	6.85
4.00	21.00	22.00	215.77	194.20	1.26	2.70	0.32	79.34	6.85
2.70	20.00	20.00	177.92	160.13	1.26	2.70	0.32	65.42	5.65
2.70	20.00	18.00	160.13	144.12	1.26	2.70	0.32	58.88	5.08
2.70	14.00	15.00	65.39	58.85	1.26	2.70	0.32	24.04	2.08
2.70	14.00	15.00	65.39	58.85	1.26	2.70	0.32	24.04	2.08
2.70	14.00	15.00	65.39	58.85	1.26	2.70	0.32	24.04	2.08
2.70	14.00	15.00	65.39	58.85	1.26	2.70	0.32	24.04	2.08
TOTAL									54.80

Nota: En esta Tabla se detalla la cantidad de tanques y sus dimensiones de cada uno, tomando en cuenta su volumen útil, densidad, %S, gravedad especifica, etc. Todos estos datos nos sirven para poder hallar el tiempo de residencia del circuito en totalidad.

ANEXO 12. Resumen de % CN⁻ del Mes de junio de 2025



Nota: En el grafico podemos ver la fuerza de NaCN que se usó en cada día del mes de junio en la planta beneficio.

ANEXO 13. SDS (SAFETY DATA SHEET) – (NaOH)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Hidróxido de Sodio (NaOH)			
Nº CAS: 1310-73-2		Fórmula: NaOH	
Revisión: 2024-01		Ficha 1 de 4	
SECCIÓN 1 — IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR			
Nombre del producto	Hidróxido de Sodio — Soda cáustica		
Sinónimos	Sosa cáustica, Lejía de sosa, Lye		
Uso previsto	Reactivo de laboratorio, ajuste de pH, procesos de lixiviación alcalina		
Proveedor	Merck / Sigma-Aldrich / Solvay (proveedor local según disponibilidad)		
Teléfono emergencia	CHEMTREC: +1-703-527-3887 INDECOP: (01) 224-7800		
SECCIÓN 2 — IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS (GHS/SGA)			
Palabra de advertencia: PELIGRO			
Pictogramas GHS: GHS05 (Corrosivo) GHS07 (Irritante)			
Indicaciones de peligro (H):			
• H290 — Puede ser corrosivo para los metales			
• H314 — Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves			
Consejos de prudencia (P):			
• P260 — No respirar el polvo/humo			
• P264 — Lavarse manos cuidadosamente tras la manipulación			
• P280 — Usar guantes, ropa de protección y protección ocular/facial			
• P301+P330+P331 — EN CASO DE INGESTIÓN: enjuagarse la boca; NO provocar el vómito			
• P303+P361+P353 — EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el cabello): quitar inmediatamente la ropa; enjuagar la piel con agua			
• P305+P351+P338 — EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos			
• P405 — Guardar bajo llave			
• P501 — Eliminar el contenido/recipiente según normativa local			
SECCIÓN 3 — PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado físico	Sólido (pellets, escamas o polvo blanco)		
PM (g/mol)	40.00		
Punto de fusión	318 °C		
Punto de ebullición	1388 °C		
Densidad	2.13 g/cm³		
Solubilidad en agua	111 g/100 mL a 20 °C (muy soluble)		
pH (solución 1%)	~ 13		
Presión de vapor	< 0.1 hPa (20 °C)		
SECCIÓN 4 — PRIMEROS AUXILIOS			
Inhalación	Trasladar a aire fresco. Si hay dificultad para respirar, administrar oxígeno y buscar atención médica.		
Contacto piel	Retirar la ropa contaminada. Lavar con abundante agua y jabón durante al menos 15 min. Buscar atención médica.		
Contacto ojos	Enjuagar con agua abundante durante 15–20 min manteniendo los párpados abiertos. Atención oftalmológica inmediata.		
Ingestión	NO Inducir el vómito. Enjuagar la boca. Dar agua o leche (max. 250 mL). Atención médica urgente.		
SECCIÓN 5 — MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS			
Punto de inflamación	No inflamable		
Medios extinción	Usar medios adecuados al entorno circundante		
Peligros especiales	En contacto con metales puede generar hidrógeno (gas inflamable)		
EPI bomberos	Equipo autónomo de respiración y ropa de protección completa		
SECCIÓN 6 — MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO Y EPI			
Manipulación	Trabajar en áreas ventiladas. Evitar generar polvo. No mezclar con ácidos.		
Almacenamiento	Recipientes herméticos, lugar fresco y seco. Separado de ácidos, metales y materiales orgánicos. T < 30 °C.		
EPI	Guantes de nitrilo/neopreno, gafas de seguridad, bata de laboratorio, calzado cerrado		
SECCIÓN 7 — ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD			
Reactividad	Reacciona violentamente con ácidos fuertes y agua (exotérmico). Corrosivo para aluminio, zinc y estaño.		
Incompatibilidades	Ácidos, metales (Al, Zn, Sn, Pb), halogenuros de ácido, compuestos orgánicos clorados		
Productos descomp.	Óxido de sodio a temperaturas muy elevadas		
SECCIÓN 8 — ELIMINACIÓN DE RESIDUOS (MARCO LEGAL PERÚ)			
Residuos	Neutralizar con ácido diluido hasta pH 6–9, luego disponer según normativa local de efluentes.		
Contenedores	Recipientes no metálicos etiquetados. No mezclar con residuos ácidos sin neutralizar.		
Marco legal PE	D.S. N° 057-2004-PCM (Reglamento de Residuos Sólidos). OEFA supervisa disposición.		

ANEXO 14. SDS (SAFETY DATA SHEET) – (NaCN)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Cianuro de Sodio (NaCN)			
N° CAS: 143-33-9	Fórmula: NaCN	Revisión: 2024-01	Ficha 2 de 4
■ SECCIÓN 1 — IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR			
Nombre del producto	Cianuro de Sodio — Cianuro sódico		
Sinónimos	Sodium cyanide, Cyanide of sodium		
Uso previsto	Lixiviación de minerales auríferos y argentíferos (proceso claudación), análisis químico		
Proveedor	Cyanco / Orica / AGR (proveedor autorizado según DGFFS)		
Teléfono emergencia	CHEMTREC: +1-703-527-3887 DIGESA: (01) 442-8353		
■ SECCIÓN 2 — IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS (GHS/SGA)			
Palabra de advertencia: PELIGRO			
Pictogramas GHS: GHS06 (Calavera — Toxicidad aguda) GHS09 (Medio ambiente) GHS05 (Corrosivo)			
Indicaciones de peligro (H):			
• H290 — Puede ser corrosivo para los metales			
• H300 — Mortal en caso de ingestión			
• H310 — Mortal en contacto con la piel			
• H330 — Mortal en caso de inhalación			
• H410 — Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos			
Consejos de prudencia (P):			
• P260 — No respirar el polvo/vapores			
• P264 — Lavarse las manos minuciosamente tras la manipulación			
• P270 — No comer, beber ni fumar durante su utilización			
• P271 — Utilizar únicamente en exteriores o en lugares bien ventilados			
• P273 — Evitar su liberación al medio ambiente			
• P280 — Usar guantes, ropa de protección y protección ocular/ facial			
• P284 — En caso de ventilación insuficiente, usar protección respiratoria			
• P301+P310 — EN CASO DE INGESTIÓN: llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOX.			
• P302+P352 — EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: lavar con agua y jabón abundante			
• P304+P340 — EN CASO DE INHALACIÓN: llevar a la persona al aire libre; mantener en reposo			
• P405 — Guardar bajo llave			
• P501 — Eliminar el contenido según normativa específica para sustancias muy tóxicas			
■ SECCIÓN 3 — PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado físico	Sólido blanco granular o en briquetas		
PM (g/mol)	49.01		
Punto de fusión	563.7 °C		
Punto de ebullición	1496 °C		
Densidad	1.60 g/cm³		
Solubilidad en agua	48 g/100 mL a 20 °C		
pH (solución 1%)	~ 11.5		
pKa (HCN/CN⁻)	9.4 (punto crítico de especiación)		
■ SECCIÓN 4 — PRIMEROS AUXILIOS			
Inhalación	EMERGENCIA VITAL. Retirar al afectado al aire fresco. Aplicar antídoto (kit cianuro: hidroxibalamina o nitrato de amilo) si disponible. Llamar a emergencias (116), RCP si necesario.		

Contacto piel	Retirar inmediatamente la ropa contaminada. Lavar con agua abundante ≥ 20 min. Atención médica urgente.
Contacto ojos	Enjuagar con agua limpia ≥ 20 min. Atención médica inmediata.
Ingestión	EMERGENCIA VITAL. NO Inducir el vómito. Llamar a centro de toxicología. Administrar antídoto si disponible y entrenado.
SECCIÓN 5 — MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS	
Punto de inflamación	No inflamable
Peligros especiales	En contacto con ácidos libera HCN (gas MORTAL, LF = 5.6–40% en aire)
Medios extinción	CO2, polvo seco. NO usar agua directamente (puede generar HCN gaseoso)
EPI bomberos	Traje hermético nivel A y equipo autónomo de respiración
SECCIÓN 6 — MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO Y EPI	
Manipulación	Solo personal autorizado y capacitado. Ambiente alcalino (pH > 10.5) durante todo el proceso. Detectores de HCN obligatorios.
Almacenamiento	Almacén exclusivo bajo llave, seco, ventilado. Separado de ácidos, oxidantes y humedad. T < 25 °C.
EPI	Traje Tyvek, guantes de nitrilo doble capa, respirador con cartucho HCN (NIOSH), gafas herméticas, botas de seguridad
SECCIÓN 7 — ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Reactividad	Reacciona con ácidos liberando HCN (gas extremadamente tóxico). Con oxidantes fuertes puede explotar.
Incompatibilidades	Ácidos (NUNCA mezclar), oxidantes fuertes (cloro, permanganato, peróxidos), nitritos, sales de metales pesados
Productos descomp.	HCN (gas), óxidos de nitrógeno, óxidos de sodio
SECCIÓN 8 — ELIMINACIÓN DE RESIDUOS (MARCO LEGAL PERÚ)	
Residuos	Oxidar con hipoclorito de sodio en medio alcalino (pH > 11) hasta conversión a cianato (CNO■), luego a CO2 y N2. Verificar con kit colorimétrico.
Contenedores	Tambores herméticos de HDPE o acero, etiquetados con símbolo de toxicidad. No reutilizar envases.
Marco legal PE	D.S. N° 015-2012-EM (uso en minería). Ley N° 28256 (transporte). OSINERGMIN y MINEM supervisan.

ANEXO 15. SDS (SAFETY DATA SHEET) – (KI)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Yoduro de Potasio (KI)				
Nº CAS: 7631-11-0		Fórmula: KI	Revisión: 2024-01	Ficha 3 de 4
SECCIÓN 1 — IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR				
Nombre del producto		Yoduro de Potasio		
Sinónimos		Potassium Iodide, Ioduro potásico		
Uso previsto		Reactivo analítico, titulación argentométrica, indicador en soluciones de Lugol		
Proveedor		Merck / Sigma-Aldrich / PanReac (proveedor local según disponibilidad)		
Teléfono emergencia		CHEMTREC: +1-703-527-3887		
SECCIÓN 2 — IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS (GHS/SGA)				
Palabra de advertencia: ATENCIÓN				
Pictogramas GHS: GHS07 (Irritante) GHS08 (Peligro para la salud)				
Indicaciones de peligro (H):				
• H302 — Nocivo en caso de ingestión				
• H332 — Nocivo en caso de inhalación				
• H361 — Se sospecha que daña la fertilidad o al feto				
• H373 — Puede provocar daños en los órganos (tiroides) tras exposiciones prolongadas				
Consejos de prudencia (P):				
• P201 — Leer instrucciones especiales antes de su utilización				
• P260 — No respirar el polvo				
• P264 — Lavarse las manos tras la manipulación				
• P270 — No comer, beber ni fumar durante su utilización				
• P280 — Usar guantes y protección ocular				
• P301+P312 — EN CASO DE INGESTIÓN: llamar a un médico si el afectado se siente mal				
• P308+P313 — EN CASO DE exposición o posible exposición: consultar a un médico				
• P501 — Eliminar el contenido según normativa local				
SECCIÓN 3 — PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS				
Estado físico		Sólido cristalino blanco		
PM (g/mol)		166.00		
Punto de fusión		681 °C		
Punto de ebullición		1330 °C		
Densidad		3.12 g/cm³		
Solubilidad en agua		126 g/100 mL a 20 °C (muy soluble)		
pH (solución 5%)		6.0 – 9.2		
Presión de vapor		< 0.1 hPa (20 °C)		
SECCIÓN 4 — PRIMEROS AUXILIOS				
Inhalación		Trasladar al afectado a aire fresco. Si persisten síntomas, consultar médico.		
Contacto piel		Lavar con agua y jabón abundante. Si hay irritación, buscar atención médica.		
Contacto ojos		Enjuagar con agua limpia ≥ 15 min. Si persiste irritación, consultar oftalmólogo.		
Ingestión		Enjuagar la boca. Dar agua a beber. No inducir el vómito. Buscar atención médica.		
SECCIÓN 5 — MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS				

Punto de inflamación	No inflamable
Peligros especiales	En presencia de oxidantes fuertes puede liberar yodo (vapor irritante)
Medios extinción	CO2, polvo seco, agua pulverizada
EPI bomberos	Equipo autónomo de respiración y ropa de protección
SECCIÓN 6 — MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO Y EPI	
Manipulación	Evitar generar polvo. Trabajar en zona ventilada. Proteger de la luz y la humedad.
Almacenamiento	Recipientes herméticos de vidrio o HDPE, lugar fresco, seco y oscuro. T < 25 °C. Separado de oxidantes.
EPI	Guantes de nitrilo, gafas de seguridad, bata de laboratorio
SECCIÓN 7 — ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Reactividad	Puede oxidarse lentamente al aire liberando yodo (amarilleo de la solución). Incompatible con oxidantes fuertes.
Incompatibilidades	Oxidantes fuertes (H2O2, cloro, permanganato), sales de plata y mercurio, ácidos concentrados
Productos descomp.	Yodo (I2), óxidos de potasio
SECCIÓN 8 — ELIMINACIÓN DE RESIDUOS (MARCO LEGAL PERÚ)	
Residuos	Soluciones diluidas pueden neutralizarse y descargarse según normativa local. Soluciones concentradas: recolección como residuo especial.
Contenedores	Frascos de vidrio ámbar herméticos, etiquetados. No mezclar con residuos de plata.
Marco legal PE	D.S. N° 057-2004-PCM. Gestión como residuo de laboratorio de baja peligrosidad.

ANEXO 16. SDS (SAFETY DATA SHEET) – (KI)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Nitrato de Plata (AgNO3)			
Nº CAS: 7761-88-8	Fórmula: AgNO3	Revisión: 2024-01	Ficha 4 de 4
■ SECCIÓN 1 — IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR			
Nombre del producto	Nitrato de Plata — Nitrato Argentíco		
Sinónimos	Silver nitrate, Lunar caustic, Nitrato de plata		
Uso previsto	Titulación argentométrica (método Mohr/Volhard), análisis de cianuros y cianuros, reactivo analítico		
Proveedor	Merck / Sigma-Aldrich / Carlo Erba (proveedor local según disponibilidad)		
Teléfono emergencia	CHEMTREC: +1-703-527-3887		
■ SECCIÓN 2 — IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS (GHS/SGA)			
Palabra de advertencia: PELIGRO			
Pictogramas GHS: GHS03 (Comburente) GHS05 (Corrosivo) GHS07 (Irritante) GHS09 (Medio ambiente)			
Indicaciones de peligro (H):			
• H272 — Puede agravar un incendio; comburente			
• H290 — Puede ser corrosivo para los metales			
• H314 — Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves			
• H318 — Provoca lesiones oculares graves			
• H410 — Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos			
Consejos de prudencia (P):			
• P210 — Mantener alejado del calor y de fuentes de ignición			
• P220 — Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles			
• P260 — No respirar el polvo			
• P264 — Lavarse las manos tras la manipulación			
• P270 — No comer, beber ni fumar durante su utilización			
• P273 — Evitar su liberación al medio ambiente			
• P280 — Usar guantes, ropa de protección, gafas y protección facial			
• P301+P330+P331 — EN CASO DE INGESTIÓN: enjuagarse la boca; NO provocar el vómito			
• P303+P361+P353 — EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: retirar la ropa; enjuagar con agua			
• P305+P351+P338 — EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: enjuagar cuidadosamente con agua			
• P310 — Llamar inmediatamente a un médico			
• P405 — Guardar bajo llave, en recipiente opaco			
• P501 — Eliminar el contenido según normativa de residuos especiales			
■ SECCIÓN 3 — PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
Estado físico	Sólido cristalino blanco (sensible a la luz)		
PM (g/mol)	169.87		
Punto de fusión	212 °C		
Punto de ebullición	444 °C (descomposición)		
Densidad	4.35 g/cm³		
Solubilidad en agua	250 g/100 mL a 20 °C (muy soluble)		
pH (solución 5%)	4.5 – 6.0		
Presión de vapor	Despreciable a temperatura ambiente		
SECCIÓN 4 — PRIMEROS AUXILIOS			
Inhalación	Trasladar a aire fresco. Si hay síntomas de irritación respiratoria, buscar atención médica.		
Contacto piel	Lavar con agua y jabón abundante ≥ 15 min. Retirar ropa contaminada. Puede causar manchas negras (argiriosis local). Atención médica si hay quemaduras.		
Contacto ojos	Enjuagar con agua abundante ≥ 20 min. Atención oftalmológica inmediata (riesgo de lesión permanente).		
Ingestión	Enjuagar la boca. NO inducir el vómito. Dar agua a beber. Buscar atención médica urgente.		
■ SECCIÓN 5 — MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS			
Punto de inflamación	No combustible, pero es OXIDANTE		
Peligros especiales	Agente oxidante: puede intensificar incendios en contacto con materiales combustibles		
Medios extinción	Agua pulverizada, CO2 (no usar polvo seco orgánico)		
EPI bomberos	Equipo autónomo de respiración y traje resistente a sustancias oxidantes		
■ SECCIÓN 6 — MANIPULACIÓN, ALMACENAMIENTO Y EPI			
Manipulación	Trabajar lejos de materiales combustibles. Proteger de la luz (envasar en vidrio ámbar). Evitar contacto con metales.		
Almacenamiento	Frascos de vidrio ámbar herméticamente cerrados, lugar fresco, seco y oscuro. Separado de orgánicos, reductores y materiales inflamables. T < 25 °C.		
EPI	Guantes de nitrilo, gafas de seguridad herméticas, bata de laboratorio blanca (el AgNO3 mancha permanentemente la ropa oscura)		
■ SECCIÓN 7 — ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD			
Reactividad	Oxidante moderado. Se descompone con la luz formando plata metálica (oscurecimiento). Reacciona con haluros precipitando sales de plata.		
Incompatibilidades	Materiales orgánicos combustibles, reductores, haluros (Cl, Br, I), cianuro, amoníaco, acetileno, ácido oxálico		
Productos descomp.	Plata metálica (Ag), dióxido de nitrógeno (NO2), oxígeno		
■ SECCIÓN 8 — ELIMINACIÓN DE RESIDUOS (MARCO LEGAL PERÚ)			
Residuos	Recuperar la plata mediante precipitación como AgCl o reducción. No verter por el desagüe. Gestionar como residuo de metal pesado.		
Contenedores	Frascos de vidrio ámbar sellados, etiquetados. Recolección separada para recuperación de plata.		
Marco legal PE	D.S. N° 067-2004-PCM. Residuo considerado especial por contenido de plata. OEFA supervisa disposición.		

ANEXO 17. Fotografías de la Planta y Lugar de Investigación

Foto 1 Circuito de molienda en operación



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 2. Faja de alimentación al molino primario, ruma de mineral aurífero oxidado



Nota: fotografía tomada por tesistas.

ANEXO 18. Fotografías del desarrollo de las pruebas experimentales.

Foto 3. Cuarteo de mineral aurífero oxidado.



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 4. Tamizaje de mineral luego de molienda.



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 5. Determinación de gravedad específica.



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 6. Corrida de pruebas experimentales.



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 7. Reposición de reactivos en las pruebas experimentales.



Nota: fotografía tomada por tesistas.

Foto 8. Muestras de pulpa final de la lixiviación en botellas.



Nota: fotografía tomada por tesistas.