

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



**TESIS**

---

OPTIMIZACION DE LA CONCENTRACION DE CIANURO Y GRANULOMETRIA DEL  
MINERAL EN LA EXTRACCION DEL ORO POR EL PROCESO CARBON EN  
LIXIVIACION EN LA EMPRESA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO

---

**Presentado por:**

Br. Anderson Huarca Garate

Br. Daniel Orlando Mantilla Ataucuri

**Para optar al título profesional de:**

Ingeniero Metalúrgico

**Asesor:**

Ing. Porfirio Carrasco Tapia

CUSCO – PERÚ

2023

# INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO Y GRANULOMETRÍA DEL MINERAL EN LA EXTRACCIÓN DEL URTO POR EL PROCESO CARBÓN EN LIXIVIACIÓN EN LA EMPRESA MINERA FLORES S.A. SANCTI - AYACUCHO

presentado por: ANDERSON HUARCA GARATE con DNI Nro.: 47522768

presentado por: DANIEL ORLANDO MANTUO ATACURI con DNI Nro.: 47946790

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALURGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 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 se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

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

Cusco, 23 de NOVIEMBRE de 2023

  
Firma  
Post firma Romulo Carrasco Fabra  
Nro. de DNI 84002881  
ORCID del Asesor 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:257873886

NOMBRE DEL TRABAJO

**optimización de la conc. de cianuro en la extracción de oro-FIDAMI**

AUTOR

**Daniel Orlando Mantilla Ataucuri**

RECUENTO DE PALABRAS

**28519 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**154440 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**150 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 25, 2023 11:17 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 25, 2023 11:20 AM GMT-5****● 7% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

## DEDICATORIA

A Dios: Por concederme la oportunidad de llegar hasta lograr mis proyectos brindándome valor y sabiduría para ejecutar mis presitos y objetivos.

A mis progenitores: Daniel Mantilla y Pascuala Ataucuri, por brindarme la confianza requerida para lograr mis metas trazados en la vida, haberme inculcado valores para ser un buen profesional.

A mis hermanos: Por enseñarme a lograr mis metas y objetivos, que con sus palabras me motivaron a tomar buenas decisiones por el bien de mi vida cotidiana.

Para Petunia. has sido indispensable a lo largo de este proceso. Convirtiéndose en mi amiga, ingeniera metalurgista, editora, asesora y sobre todo mi más gran admiradora. Este trabajo de investigación no sería igual sin ella. Gracias por tu apoyo, paciencia y predisposición.

A mi esposa Camila, mi hija Daniela y a mi hijo que viene en camino, por ser mi mayor motivación dándome fuerza y convertirse en la principal razón de continuar con mis proyectos.

A todas aquellas personas que confiaron en mí, amigos y demás familiares, dándome consejos y siempre ayudándome a crecer.

Daniel Orlando Mantilla Ataucuri

**DEDICATORIA**

A Dios, Por guiar mi camino por el sendero del bien, y por bendecirme día a día.

A mis padres: Isaac Huarca y Neri Garate, por su constante apoyo y por haberme inculcado valores y principios que me hacen una persona de bien.

A mi esposa Estela, por su amor y paciencia durante el tiempo de elaboración de la tesis. Con mucho amor a mi pequeña Mía Valeria que es, mi mayor orgullo y mi felicidad.

A mis familiares y amigos, por su constante apoyo y sostén en mis momentos de angustia.

Anderson Huarca Garate

## AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento más profundo al asesor de este tema de investigación, Ing. Porfirio Carrasco Tapia, que con su sabio conocimiento y experiencia nos brindó asesoramiento, además de consejos, ideas y recomendación en el proceso de preparación de la tesis. De la misma manera, a la empresa minera FIDAMI S.A. encabezado por su gerente general, Raúl Huanaco Bautista, directorio de la gestión 2021-2022 y gerente administrativo, por facilitarnos las distintas áreas de la planta de beneficio Datelli 6 y laboratorio químico metalúrgico, así poder realizar las pruebas necesarias. Así mismo, al Ing. Daniel Ortiz Saavedra e Ing. Andree Castillo Chávez, por su estable soporte en la realización del presente tema de investigación.

De la misma forma a nuestras amistades por su soporte moral y continuo en la elaboración del tema de tesis y a cada uno de los docentes de nuestra escuela profesional de ingeniería metalúrgica, por el espacio, soporte e instrucción de sus intelectos y experiencias para nuestra formación durante nuestra vida universitaria.

gracias.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN .....	XVII
Palabras Clave: Extracción de oro, cianuro de sodio, cianuración y granulometría del mineral.ABSTRACT .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
SIMBOLOGÍA .....	XX
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Formulación de Problema. ....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos. ....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3

1.4	Justificación.....	3
1.4.1	Conveniencia.....	4
1.4.2	Relevancia Social.....	4
1.4.3	Relevancia Tecnológica.....	4
1.4.4	Utilidad Metodológica.....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....		6
2.1	Antecedentes de la Investigación.....	6
2.1.1	Antecedentes Locales.....	6
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.3	Antecedentes Internacionales.....	8
2.2	El Oro.....	9
2.3	Propiedades del Oro.....	9
2.3.1	Propiedades Físicas.....	9
2.3.2	Propiedades Químicas.....	9
2.4	Lixiviación.....	10
2.5	Proceso de Cianuración.....	10
2.6	Métodos de Cianuración.....	11
2.6.1	Método de Cianuración en Botaderos (Dump Leaching).....	12
2.6.2	Método de Cianuración en Pilas (Heap Leaching).....	13
2.6.3	Método de Cianuración en Bateas Inundadas (Vat Leaching).....	14



2.6.4	Cianuración por Agitación.....	15
2.7	Métodos de Adsorción con Carbón Activado .....	16
2.7.1	Proceso Carbón en Pulpa (CIP) .....	16
2.7.2	Carbón en Columnas (CIC) .....	17
2.7.3	Carbón en Lixiviación (CIL) .....	18
2.8	Factores que Influyen en el Proceso CIL .....	19
2.9	Variables del Proceso CIL.....	20
2.9.1	Concentración de Cianuro de Sodio .....	20
2.9.2	Alcalinidad o pH.....	21
2.9.3	Densidad de la Pulpa.....	22
2.9.4.	Granulometría o Tamaño .....	22
2.9.5.	Concentración de Oxígeno.....	23
2.9.6.	Constituyente de la Mineralogía .....	24
2.9.7.	Tiempo de Residencia.....	24
2.9.8.	Efecto de pH y Eh en la Cianuración del Oro.....	25
2.10.	Termodinámica de la Cianuración (CIL).....	28
2.11.	Naturaleza Electroquímica de la Cianuración (CIL) .....	29
2.11.4.	Cinética del Proceso de Cianuración.....	31
2.12.	Carbón Activado.....	35
2.14	Diseño Experimental .....	37

2.15	Objetivo del Diseño Experimental .....	37
CAPÍTULO III HIPÓTESIS.....		39
3.1	Hipótesis General.....	39
3.2	Hipótesis Especifica.....	39
3.3	Variables e Indicadores .....	39
3.3.1	Variables Dependientes .....	39
3.3.2	Variables Independientes.....	39
3.3.3	Variables Intervinientes .....	39
3.4	Indicadores .....	39
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA.....		41
4.1	Delimitaciones de la Investigación .....	41
4.1.1	Delimitación Espacial.....	41
4.1.2	Delimitación Temporal.....	41
4.1.3	Viabilidad del Estudio.....	41
4.2	Localización.....	41
4.3	Rutas de Acceso .....	42
4.3.1	Vía Terrestre .....	43
4.4	Política de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.....	43
4.5	Geografía.....	44
4.6	Hidrología.....	44

4.7	Clima y Vegetación.....	44
4.8	Mineralogía .....	45
4.9	Tipo de Investigación y Alcance.....	46
4.9.1	Explicativo, Descriptivo y Correlacionales .....	46
4.10	Diseño y Método de la Investigación.....	46
4.10.1	Experimental.....	46
4.11	Metodología de la Investigación.....	47
4.12	Población y Muestra .....	47
4.12.1	Población.....	47
4.12.2	Muestra .....	47
4.12.3	Selección de la Muestra .....	47
4.13	Técnica e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	48
4.14	Otras Técnicas. ....	48
4.14.1	Técnica de Cuestionario.....	48
4.15	Equipos, Materiales y Reactivos .....	49
4.15.1	Equipo.....	49
4.15.2	Materiales.....	50
4.15.3	Reactivos.....	50
4.16	Procesamiento y Análisis de Datos .....	50
4.17	Procedimiento Experimental .....	51

4.17.1	Preparación Mecánica del Mineral .....	51
4.17.2	Tiempo de Molienda de Mineral.....	53
4.17.3	Parámetros Operativos para Cianuración.....	54
4.17.4	Peso de Mineral y Volumen de Agua en Pulpa .....	55
4.17.5	Cálculo y Preparación de Reactivos .....	56
4.17.6	Reposición de Reactivos .....	58
4.17.7	Variables de Cianuración .....	60
<b>CAPÍTULO V RESULTADOS EXPERIMENTALES.....</b>		<b>62</b>
5.1	Resultados del Reporte del Análisis Químico de las Soluciones PLS .....	62
5.2	Balance Metalúrgico de Pruebas de Cianuración.....	62
5.2.1	Balance Metalúrgico para la Muestra 1 .....	63
5.2.2	Balance Metalúrgico para la Muestra 2 .....	64
5.2.3	Balance Metalúrgico para la Muestra 3 .....	65
5.2.4	Balance Metalúrgico para la Muestra 4 .....	66
5.2.5	Balance Metalúrgico para la Muestra 5 .....	67
5.2.6	Balance Metalúrgico para la Muestra 6 .....	68
5.2.7	Balance Metalúrgico para la Muestra 7 .....	69
5.2.8	Balance Metalúrgico para la Muestra 8 .....	70
5.2.9	Balance Metalúrgico para la Muestra 9 .....	71
5.3	Cinética de Lixiviación. ....	73

5.4	Diseño Experimental para el Proceso CIL .....	79
5.4.1	Tratamiento de las Pruebas Experimentales .....	80
5.4.2	Modelo Estadístico Experimental .....	80
5.4.3	Construcción de la Matriz de Diseño .....	81
5.4.4	Representación Geométrica de las Combinaciones .....	82
5.5	Formulación Estadística de la Hipótesis de Investigación .....	83
5.6	Variables Examinadas en el Proceso Experimental CIL.....	84
5.7	Determinación y Análisis de los Efectos de las Variables de Proceso.....	86
5.7.1	Significancia de los Efectos .....	86
5.7.2	Cálculo de los Efectos.....	86
5.8	Contribución de los Efectos .....	88
5.9	Análisis y Cálculo de los Cuadrados Medios y de ANOVA.....	88
5.9.1	Cálculo de los Efectos Principales y de Interacción .....	88
5.9.2	Cálculo de las Sumas de Cuadrados .....	89
5.9.3	Grados de Libertad del Diseño Experimental.....	91
5.9.4	Cálculo de los Cuadrados Medios.....	92
5.9.5	Formulación de ANOVA .....	94
5.10	Verificación de Supuestos .....	95
5.10.1	Supuesto de Distribución Normal.....	95
5.10.2	Supuesto de Varianza Constante.....	96

5.11	Gráfica de Pareto de los Efectos.....	97
5.12	Determinación de los Efectos Significativos “Y” .....	98
5.13	Análisis de Graficas de Superficie y de Contorno.....	101
5.14	Ecuación Lineal Simple para Coeficientes.....	103
5.14.1	Modelo matemático .....	103
5.14.2	Determinación de los Coeficientes de Regresión .....	104
5.14.3	Formulación del Modelo de Regresión.....	104
5.14.4	Cálculo del Coeficiente de Determinación .....	105
5.15	Optimización de Variable Concentración de Cianuro de Sodio y Granulometría del Mineral para la Mejora del Extracción de oro. ....	106
5.16	Resumen y resultado del diseño experimental. ....	108
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		109
6.1	Análisis de Resultados Mediante Análisis Químico .....	109
6.2	Análisis de los Resultados Mediante Diseño Factorial .....	109
CONCLUSIONES .....		111
RECOMENDACIONES.....		113
BIBLIOGRAFÍA .....		114
ANEXOS .....		120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Propiedades físicas del oro</i> .....	9
<b>Tabla 2</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Vía Terrestre</i> .....	43
<b>Tabla 4</b> <i>Parámetros operativos para el proceso</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Variables operativas para la prueba de cianuración (tiempo, concentración de reactivo y granulometría del mineral)</i> .....	56
<b>Tabla 6</b> <i>Componentes iniciales para las pruebas de cianuración</i> .....	60
<b>Tabla 7</b> <i>Variables del proceso de cianuración</i> .....	63
<b>Tabla 8</b> <i>Reporte de contenido de fino y porcentaje de extracción de oro</i> .....	64
<b>Tabla 9</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 1</i> .....	66
<b>Tabla 10</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 2</i> .....	67
<b>Tabla 11</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 3</i> .....	68
<b>Tabla 12</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 4</i> .....	69
<b>Tabla 13</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 5</i> .....	70
<b>Tabla 14</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 6</i> .....	71
<b>Tabla 15</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 7</i> .....	72
<b>Tabla 16</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 8</i> .....	73
<b>Tabla 17</b> <i>Balance metalúrgico de la prueba 9</i> .....	74
<b>Tabla 18</b> <i>Resumen del porcentaje de extracción a concentraciones y granulometrías diferentes</i> .....	75
<b>Tabla 19</b> <i>Extracción de Oro de la prueba PM-3 muestra N° 6 (M6) de 48, 60 y 72 horas</i> .....	76
<b>Tabla 20</b> <i>Factores y niveles codificados de las variables independientes</i> .....	81

<b>Tabla 21</b> <i>Planificación del diseño factorial en escala natural</i> .....	81
<b>Tabla 22</b> <i>Contribución porcentual de los efectos</i> .....	86
<b>Tabla 23</b> <i>Datos del experimento factorial 3x3 para el proceso CIL</i> .....	88
<b>Tabla 24</b> <i>Total, de grados de libertad del modelo factorial</i> .....	90
<b>Tabla 25</b> <i>Suma de cuadrados medios</i> .....	91
<b>Tabla 26</b> <i>Análisis de varianza</i> .....	93
<b>Tabla 27</b> <i>Coefficientes de regresión no codificado</i> .....	104
<b>Tabla 28</b> <i>Optimización de la concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral para la mejora de % de extracción del oro</i> .....	106
<b>Tabla 29</b> <i>Resumen de resultados del diseño factorial</i> .....	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Esquema del proceso de lixiviación en bateas</i> .....	13
<b>Figura 2</b> <i>Equipo de cianuración en batea</i> .....	14
<b>Figura 3</b> <i>Cianuración por agitación con dos sistemas de agitación mecánica y neumática</i> .....	16
<b>Figura 4</b> <i>Diagrama de flujo para proceso carbón en pulpa</i> .....	17
<b>Figura 5</b> <i>Configuración de un circuito con columnas de carbón actividad</i> .....	18
<b>Figura 6</b> <i>Representación del Proceso de Cianuración CIL</i> .....	19
<b>Figura 7</b> <i>Diagrama Eh-pH para el sistema CN-H<sub>2</sub>O, concentración de cianuro 10<sup>-3</sup> molar</i> .....	22
<b>Figura 8</b> <i>Diagrama Eh - pH para el Sistema Oro - Agua a 25°C</i> .....	26
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama Eh - pH para el Sistema Oro - Cianuro, a 25°C</i> .....	26
<b>Figura 10</b> <i>Diagrama Eh - pH para el Sistema de Oro - Cianuro - Agua, a 25°C</i> .....	27
<b>Figura 11</b> <i>Diagrama de estabilidad Potencial - pH para el Sistema Au-H<sub>2</sub>O-Cl a 25°C</i> .....	29
<b>Figura 12</b> <i>Disolución del oro en medio cianuro</i> .....	31
<b>Figura 13</b> <i>Representación Esquemática de una Celda de Corrosión Local en la Superficie del Oro en Contacto con una Solución que Tiene <math>i_a =</math> Corriente anódica, <math>i_b =</math> Corriente Catódica</i>	32
<b>Figura 14</b> <i>Empresa Minera FIDAMI S.A. - Sancos Ayacucho</i> .....	42
<b>Figura 15</b> <i>Diagrama de flujo del procedimiento experimental</i> .....	54
<b>Figura 16</b> <i>Gráfica de dispersión % de extracción de Au Vs Tiempo de lixiviación</i> .....	76
<b>Figura 17</b> <i>Gráfica tiempo de residencia VS % de extracción de oro</i> .....	77
<b>Figura 18</b> <i>Gráfico de combinación de los factores A y B, en el diseño 3x3</i> .....	82
<b>Figura 19</b> <i>Caja negra del proceso</i> .....	84
<b>Figura 20</b> <i>Gráfica normal de residuos</i> .....	95
<b>Figura 21</b> <i>Gráfica de varianza constante</i> .....	96

<b>Figura 22</b> <i>Diagrama de Pareto de los efectos, con un error de 5 %</i> .....	97
<b>Figura 23</b> <i>Diagrama de efectos principales de Y</i> .....	98
<b>Figura 24</b> <i>Gráfica de interacción (medias ajustadas)</i> .....	99
<b>Figura 25</b> <i>Gráfica de superficie</i> .....	100
<b>Figura 26</b> <i>Gráfica de contornos</i> .....	101
<b>Figura 27</b> <i>Determinación de la optimización de la extracción del oro</i> .....	106

## RESUMEN

Para lograr el proceso de extracción del oro existen diferentes métodos de extracción, no obstante, uno de los procesos donde se obtiene un mayor porcentaje de extracción para metales con alto valor comercial como es el oro, es el proceso de lixiviación por agitación. El cual permite la disolución del metal utilizando agentes lixiviantes altamente agresivos, en un tiempo corto y con mayor extracción del metal, considerando el proceso de molienda para obtener un resultado con mayor eficiencia. Dentro del trabajo de investigación, el objetivo es incrementar el abalengo de oro por medio de la optimización por la concentración de cianuro y granulometría del mineral mediante la transformación de lixiviación por agitación en la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho. Mediante la técnica de muestreo manual, método Damero, se captura una muestra de 100 kg de mineral del blending de 480 TMS, donde se obtiene muestras representativas de menor peso de 27 kg. Seguidamente, se somete a molienda durante una hora para evaluar las condiciones del mineral y la optimización de la variable de investigación como son la concentración de cianuro en el rango de 1000, 1500 y 2000 ppm y la granulometría del mineral entre 80%, 85% y 90% malla -200. Así mismo, se procede a realizar el proceso de lixiviación en botellas roladas de volumen operativo de 1000 ml y pH 11. Considerando un tiempo de residencia de 72 horas, con el propósito de realizar pruebas metalúrgicas, sumado a ello, para analizar la cinética del proceso se considera 48, 60 y 72 horas, ejecutando 09 pruebas para la experimentación. Durante esta simulación, las variables de concentración cianuro y granulometría del mineral se alteran mientras que las demás variables se mantienen constantes. Finalmente, obteniendo como resultado la concentración de cianuro de sodio óptimo de 2000 ppm y la granulometría óptima de 85% malla -200, con la optimización de estas dos variables se llega a una extracción del 96.35%.

Palabras Clave: **Extracción de oro, cianuro de sodio, cianuración y granulometría del mineral.**

## ABSTRACT

To achieve the gold extraction process, there are different extraction methods, however, one of the processes where a higher percentage of extraction is obtained for metals with high commercial value such as gold, is the destruction leaching process. Which allows the dissolution of the metal using highly aggressive leaching agents, in a short time and with greater metal extraction, considering the grinding process to obtain a more efficient result. Within the research work, the objective is to increase the extraction of gold by optimizing the cyanide concentration and granulometry of the mineral through the leaching process by increase in the Mining Company FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho. By means of the manual sample technique, Checkerboard method, a sample of 100 kg of ore is taken from the blending of 480 TMS, where representative samples of less than 27 kg are obtained. Next, it is subjected to grinding for one hour to evaluate the conditions of the mineral and the optimization of the research variables such as the cyanide concentration in the range of 1000, 1500 and 2000 ppm and the granulometry of the mineral between 80%, 85%. and 90%. Likewise, the leaching process is carried out in rolled bottles with an operating volume of 1000 mL and pH 12. Considering a residence time of 72 hours, with the purpose of carrying out metallurgical tests, added to this, to analyze the kinetics of the process is considered 48, 60 and 72 hours, produced 09 tests for experimentation. During this simulation, the cyanide concentration and ore granulometry variables vary while the other variables remain constant. Finally, obtaining as a result the optimum sodium cyanide concentration of 2000 ppm and the optimum granulometry of 85% -200 mesh, with the optimization of these two variables an extraction of 96.35% is reached.

**Keywords:** Gold extraction, sodium cyanide, cyanidation and mineral granulometry.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los metales con tendencia de cotización alta es el oro, este crecimiento trae consigo que las plantas de beneficio metálicas de diferentes yacimientos a nivel internacional de oro busquen recuperar la mayor cantidad del metal valioso. A nivel nacional, el Perú cuenta con diversidad de yacimientos mineros auríferos, los cuales se sitúan en diversas localidades dentro del interior del país aportando al crecimiento del PBI. Sin embargo, esta actividad se realiza comúnmente de forma artesanal e informal y de igual forma el proceso de extracción del oro. Esta situación se debe a la falta de conocimiento de nuevas tecnologías de extracción y trae consigo la baja extracción de oro.

De misma forma, se evidencia en el yacimiento de la Empresa FIDAMI S.A. ubicado en la región Ayacucho, provincia de Sancos, distrito de Lucanas, un porcentaje de extracción muy bajo siendo el rango entre 70% a 75 %, a causa de la falta de optimización de variables. Por ende, se plantea la optimización de dos variables del proceso carbón en lixiviación, la concentración de cianuro y granulometría del mineral, con el propósito de aumentar el porcentaje de extracción de oro del mineral a procesar, dando como resultado un proceso de extracción más rentable y eficiente para la empresa minera.

**SIMBOLOGÍA**

g: Gramos

C°: Grados centígrados

g/cm<sup>3</sup>: Gramos por centímetro cubico

g/L: Gramos por litro

g/Tm: Gramos por tonelada métrica

H: Horas

kg: Kilogramos

μ: Micrones

mg: Miligramos

mg/L: Miligramos por litro

mL: Mililitros

ppm: Partes por millón

W: Peso

PH: Potencial de hidrogeniones

Rpm: Revoluciones por minuto

Tms: Toneladas métricas secas

PBI: Producto bruto interno

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 Planteamiento del Problema

La variedad de minerales en la corteza terrestre da como resultado diferentes tipos de procesamiento, donde es inevitable el análisis en factores operacionales, las cuales nos determinan parámetros eficientes para la optimización del proceso, en ese sentido en la empresa minera FIDAMI S.A. no se dio debida importancia a la optimización de las variables del proceso, por lo tanto, su porcentaje de extracción del oro fluctúa entre 70- 75%

En vista que, existe mayor actividad extractiva dedicada a la pequeña y mediana minería, el procesamiento de mineral se realiza en plantas metalúrgicas convencionales propias del lugar, o se realizan procesos de extracción no adecuados lo cual repercute en bajas extracciones del oro, esto influye directamente a la rentabilidad del proceso, por lo tanto, se hizo las pruebas de optimización de las variables del proceso ( concentración de cianuro y granulometría del mineral), para incrementar el porcentaje de extracción del oro, los parámetros óptimos con los cuales se logra el objetivo son concentración de cianuro 2000 ppm y granulometría del mineral 85% malla -200.

La planta de beneficio Datelli 6 de FIDAMI S.A. inicio sus operaciones el año 2008, tiene una capacidad de 20 tms/día, la extracción se realiza mediante el proceso de cianuración por agitación, y la recuperación por carbón activado para luego realizar la desorción y la electrodeposición. La problemática actual del proceso es la baja extracción de oro debido a que no se cuenta con un parámetro óptimo de concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral por lo que el oro se pierde en el ripio. Teniendo en cuenta este panorama, se plantea la

presente investigación, donde se pretende incrementar la extracción del oro en la minera FIDAMI S.A. ajustando las variables del proceso de cianuración (concentración de cianuro de sodio y granulometría), después de haber realizado las pruebas pertinentes se incremento el porcentaje de extracción de oro a 96.48% generando mayor ganancia o utilidad a la empresa.

## **1.2 Formulación de Problema.**

### **1.2.1 Problema General.**

¿Cuáles serán los parámetros óptimos de la concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral para incrementar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

- ¿Cómo mejorar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho?
- ¿Cómo influye la concentración de cianuro de sodio en el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho?
- ¿Cuál será la granulometría óptima del mineral que permita el mejor porcentaje de extracción del oro para el método carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho?



## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Determinar los parámetros óptimos de la concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral para incrementar el porcentaje de extracción del oro por el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Determinar la granulometría del mineral para el proceso carbón en lixiviación (CIL), a fin de liberar la mayor cantidad posible de oro del material de la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.
- Determinar la concentración de cianuro de sodio para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.
- Determinar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación de la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.

## **1.4 Justificación**

Al realizar esta investigación lograremos comprender que tan importante es la optimización de las variables para el proceso de cianuración (concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral), para determinar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.

La reciente investigación tiene como objetivo establecer los datos óptimos para incrementar la extracción de oro, de esa manera aumentar la rentabilidad del proceso carbón en lixiviación (CIL). En la actualidad, las empresas que procesan minerales auríferos presentan problemas en la

extracción de oro, con bajos porcentajes de extracción por no optimizar sus variables operacionales. Así mismo, la determinación de las variables antes mencionadas proporcionara a los interesados contar con una herramienta básica de apoyo, para el entendimiento de las variables más influyentes en el proceso de cianuración.

#### ***1.4.1 Conveniencia***

En la extracción del oro por el proceso de cianuración por agitación, el agente lixivante con mayor consumo es el cianuro de sodio, el cual, incurre a un mayor costo económico en relación con otros reactivos que se usan. De tal manera, su optimización tiene demasiada influencia en la rentabilidad económica del proceso. Por lo tanto, con la presente investigación, se espera optimizar el consumo del cianuro de sodio a su vez aumentar la extracción del oro que se viene perdiendo en los rípios.

#### ***1.4.2 Relevancia Social***

La minería formal del oro aporta gran desarrollo a la sociedad brindando mejor calidad de vida, con creación de empleos directos e indirectos, también con proyectos de inclusión social, creación de infraestructuras de salud y educación.

Dentro de esta investigación indicará que la labor que se ejecuta, en un futuro promulgará puestos de trabajo para los pobladores de la zona de influencia distrital, provincial y departamental.

#### ***1.4.3 Relevancia Tecnológica***

El presente proyecto de tesis busca una alternativa de mejora de la extracción de oro utilizando la tecnología con la que cuenta la empresa, el cual es, el proceso carbón en lixiviación (CIL). Pretendiendo dar solución a la baja extracción que se tiene en la actualidad. Para este trabajo

de investigación se está tomando la iniciativa de optimizar las siguientes variables: Concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral, quedando por optimizar las variables faltantes, puesto que, aún no se ha desarrollado una tecnología que desplace al proceso de cianuración y con el cual se obtengan altos porcentajes de extracción del oro.

#### ***1.4.4 Utilidad Metodológica***

Con el presente tema de estudio se pretende encontrar la concentración óptima de cianuro de sodio (NaCN), como también la granulometría óptima del mineral, el cual, nos permita incrementar el porcentaje de extracción del oro, esto solamente se consigue realizando las pruebas metalúrgicas pertinentes, ajustando las variables del proceso y haciendo investigaciones en el laboratorio químico y metalúrgico de la minera FIDAMI S.A.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1 Antecedentes Locales

Morales (2018), en su tesis “*Evaluación del Proceso de Cianuración por Agitación de Minerales de Oro y Plata de la Zona Minera de Malco en el Distrito de Puyo-Ayacucho, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna*”, donde el objetivo a estudiar fue evaluar el proceso de cianuración por agitación para minerales auríferos de la zona minera de malmo, el cual se realizó a escala de laboratorio. Las dos muestras de estudio molidas a 25 y 35 minutos se sometieron a un proceso de cianuración por agitación, con dosis variables de pH (10,3 a 10,5), CaO de 1,0 a 1,5 g/kg, NaCN varía de 1,9 gramo a 9,0 gramos y el tiempo de cianuración varía de 0 a 24 horas. Como resultado se observó, que la ley de mineral máxima de oro 9,3 g/Tn, presenta 89,5 % de recuperación de oro y 61,4 % de extracción de plata las cuales se obtuvieron pasando las 24 horas, con dosificación de cianuro de sodio (NaCN) hasta 9,0 gramos a un pH 10,3 y 10,5. También se pudo observar que, cuando el mineral es lixiviado a diferentes granulometrías se extrajeron, 76.3% de Au y 48.1% de Ag a las 24 horas de tiempo de contacto con una granulometría 60% -200 malla, la extracción se mejora con una granulometría de 71% -200 malla extrayendo 89.5% de oro y 61.4 % de plata a las 24 horas de tiempo de contacto.

##### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Apaza (2022), en su tesis “*Optimización de los Parámetros del Proceso de Cianuración para Mejorar la Recuperación del Oro en la Planta de Beneficio CIA Minera Jerusalén S.A.C. - Chala, de la Universidad Nacional Altiplano de Puno*”, tuvo como objetivo, desarrollar las

barreras de cianuración para optimizar la reautorización del oro y lograr mejores beneficios económicos para la compañía. La metodología fue cuantitativo pre-experimental con un diseño pre-prueba/post-prueba, por lo tanto se llevó a cabo un análisis a las pruebas antes y después de la cianuración determinándose que la granulometría adecuada está por encima de los 85 % pasante malla # 200 con 39 min de tiempo de residencia para la molienda, en el transcurso de cianuración se trabajó con pH 11 auxiliándose la cinética de lixiviación con tiempos mayores a 48 horas y la acumulación de cianuro que se utilizó fue de 0.15 % o 150 ppm. Determinándose que la recuperación del oro se incrementó de 87 % a 91.24 %, optimizándose en un 4.24 % la capacidad productiva sea el beneficio económico; así mismo se dictaminó que la optimización de parámetros de molienda y lixiviación van de manera conjunta y prueba de ello es que al incrementar el grado de liberación en molienda ayuda drásticamente a disminuir el consumo de cianuro.

Machaca (2019), en su tesis "*Optimización de la Recuperación de Oro Mediante el Control de la Densidad y el pH por el Método Carbón en Pulpa en la Procesadora NEAL SAC. Chala-Arequipa, de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno*", cuyo objetivo, fue, optimizar la recuperación del oro mediante el control de densidad, pH por el método carbón en pulpa. Utilizando como tipo de investigación el método experimental, se concluye y determina en las pruebas realizadas en laboratorio. En esta etapa la Molienda y remolienda juega un papel muy importante en el que se alcanza el 85% -200 malla (parámetro mínimo que se controla), se tolera que la variación de las pruebas de optimización de densidad, la pulpa regulada a un pH 11 -12 con un depósito de agua de 150 m<sup>3</sup>, 200 kg de CN<sup>-</sup> y 100 kg NaOH por día. Como condiciones de trabajo. El aumento del tiempo optimizará el proceso de recuperación de oro a 94% en beneficio de la Empresa NEAL. Después de hacer un análisis granulométrico general se obtuvo como resultado la fuerza del cianuro 0.19% y el pH en 11.

### **2.1.3 Antecedentes Internacionales**

Poblete (2019), “en su tesis *Lixiviación Cianurada de Mineral de Oro en Columnas a Nivel Planta Piloto, de la Universidad Técnico Federico Santa María de Santiago-Chile*”, su finalidad principal fue, emplear la lixiviación por cianuración en columnas, a nivel de Planta Piloto en Minera Pullalli, para la extracción del oro desde su mineral. Mediante esta memoria de título se desea estimar la tecnología de lixiviación en pilas del mineral de oro de menor ley, a través de ensayos de lixiviación en columnas a nivel de planta piloto, para señalar las condiciones óptimas de las principales variables (consumo estándar de cianuro de sodio, permeabilidad líquida, tasa de riego, entre otras) que acceden la máxima extracción de oro.

Después de a ver realizados las pruebas pertinentes, se pudo encontrar las mejores condiciones de las variables que ejercen una influencia significativa en el proceso, las cuales permiten la máxima extracción de oro, estas son: Granulometría de alimentación a la columna de lixiviación F80 -3/4”, concentración de NaCN en la solución de riego es 0.7 g/L, altura de lecho de mineral 4 metros, dosis de NaCN en el curado es 50% del consumo máximo de NaCN.

Para Huamaní et al. (2019) en su trabajo acerca de las *Contribución al conocimiento sobre la minimización del consumo de Cianuro en la minería del Oro; Sales oxidantes, Aireación y Sobre molienda para minerales Cianicidas*, concluye que una vez identificado de minerales sulfuros mediante el microscopio, se llevaron a una remolienda y su posterior tratamiento de cianuración con el uso de un oxidante nitrato de plomo y sin oxidante, con lo que se obtuvo del 97.78% de recuperación de oro en 24 horas y sin oxidación de una recuperación de 84.5%. después, con una pre-oxidación con aire se posee un recobro del orden del 93% y son sin pre-oxidación del 80%.

## 2.2 El Oro

El oro es un metal amarillo brillante por la luz reflejada, su símbolo es Au. Es el metal más maleable, dúctil y apreciado por sus propiedades. Se alea con metales como plata, cobre, etc. Este elemento no reacciona con la mayoría de las sustancias químicas, y es insoluble en  $H_2SO_4$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ , HCL o  $FeCl_3$ ; sin embargo, es sensible y soluble en cianuro de sodio, mercurio, agua regia (ácido nítrico y clorhídrico concentrados) y en ácido selénico. También en soluciones de ácido sulfúrico que contienen cloruros y bióxidos de manganeso, en tiosulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio. El oro no se oxida a temperatura ambiente y no se combina con el azufre libre, pero forma aleaciones con mayor parte de los metales, como: mercurio, formando amalgama de oro.

## 2.3 Propiedades del Oro

### 2.3.1 Propiedades Físicas

**Tabla 1**

*Propiedades físicas del oro*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS DEL ORO</b>	
Número Atómico	79
Densidad	19.32 g/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión	1063 °C
Punto de Ebullición	2970 °C
Dureza	2.5-3 (Escala de Mohs)

Nota: Bautista, P. Química y su impacto en la salud y medio ambiente, 2013.

### 2.3.2 Propiedades Químicas

Según la tabla periódica elaborada por Dmitri Mendeléyev, “el oro se ubica en el grupo IB del sistema periódico con la configuración electrónica  $4f^{14}5d^{10}6s^1$ . Se comporta con la valencia

+1, y +3. Su potencia normal de reducción a 25°C, es 1.50V. Es el de menor electronegatividad de todos los metales debido a su gran estabilidad del único electrón periférico de su átomo”. ( Dmitri Mendeléyev, 1834)

## **2.4 Lixiviación**

“Lixiviación es el proceso selectivo de la disolución de los metales desde cualquier especie mineralógica sólida, por medio de un agente extractor que se encuentra en una disolución acuosa” (Domic, 2001).

También se puede definir como una operación unitaria que consiste en una extracción sólido-líquido empleada para separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente. El proceso completa de extracción suele comprender la recuperación por separado del solvente y del soluto. (Aduviri, 2009, p. 36)

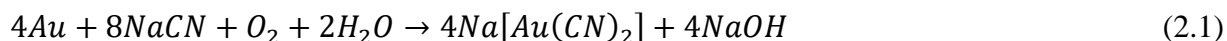
## **2.5 Proceso de Cianuración**

“La tecnología cianuración de minerales auríferos es bien conocida y tiene la ventaja de evitar el uso de mercurio, además esta técnica deja aprovechar mejor los recursos porque permite la recuperación de oro aun de minerales marginales. Los montos de inversión son bajos si se les compara con la inversión en plantas de cianuración por agitación. El costo de operación es mucho más bajo, y el control de la operación muy sencilla” (domic, 2001).

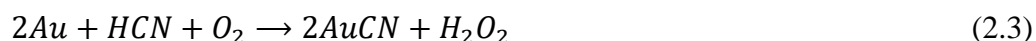
“En la extracción de oro, la forma de lixiviación más ampliamente utilizada es la lixiviación cianurada. Esto debido a que las soluciones de cianuro de potasio o sodio tienen una disolución preferencial por las partículas de oro metálico. Esta forma de extracción de oro tuvo una aceptación generalizada debido a razones económicas y metalúrgicas en comparación con el proceso utilizado anteriormente, la amalgamación.”. (Misari, 2010, p. 15)



Dentro de las reacciones que ocurren en el proceso de lixiviación cianurada de oro se destaca la ecuación de Elsner, la cual forma la base de todos los procesos de lixiviación cianurada del oro:



Otras reacciones que pueden ocurrir durante el proceso de lixiviación cianurada son:



“A un cuando la efectividad del cianuro para disolver el oro presente en el mineral, esta disolución está restringida por factores físicas. Debido que el cianuro debe entrar en contacto directo con el oro a lo largo de su paso por la pila de lixiviación para alcanzar diluir el contenido metálico, la granulometría y permeabilidad del mineral influyen directamente en este proceso. Si la granulometría es muy fina y por lo tanto con una baja permeabilidad, no se da una correcta percolación de la solución cianurada; ocasionando compactación en la base de la pila, estancamiento y fallas en el proceso. Con la finalidad de solucionar este problema, se utiliza un pretratamiento llamado aglomeración, que se basa esencialmente en unir los finos en torno a partículas más gruesas y de esta manera mejorar la permeabilidad del material”. (Misari, 2010, p. 16).

## 2.6 Métodos de Cianuración

“En la mayoría de los casos, según se entiende hoy en día se, los procesos de cianuración se aplican directamente sobre los minerales por un ataque químico. Para mejorar el rendimiento

cinético de estos procesos se considera el uso de reactivos, agitación, temperatura y presión cuando el caso lo requiera. El factor más importante a la hora de seleccionar el método de cianuración más rentable para un determinado mineral es el tiempo,” (Portal, 2006, p. 179)

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

- Método de cianuración en botaderos.
- Método de cianuración en pilas.
- Método de cianuración en bateas inundadas.
- Método de cianuración tipo agitación.

“En todos los métodos de cianuración del oro se va a obtener una solución cargada de oro, la recuperación o captación del oro en soluciones se logra en dos formas una es utilizando Carbón Activado y la otra forma de recuperar el oro en solución es la del Merrill Crowe, que es la precipitación del oro con polvo de Zinc.” (Aduviri, 2009, p. 34).

“La importancia de elección del método de cianuración parte directamente por factores de períodos de tiempo, en la disolución del oro, esto iniciando por la mineralogía del mineral, con el objetivo de llegar a recuperaciones elevadas de oro, y sobre todo la rentabilidad al momento de optar un método de cianuración” (Aduviri, 2009, p. 34).

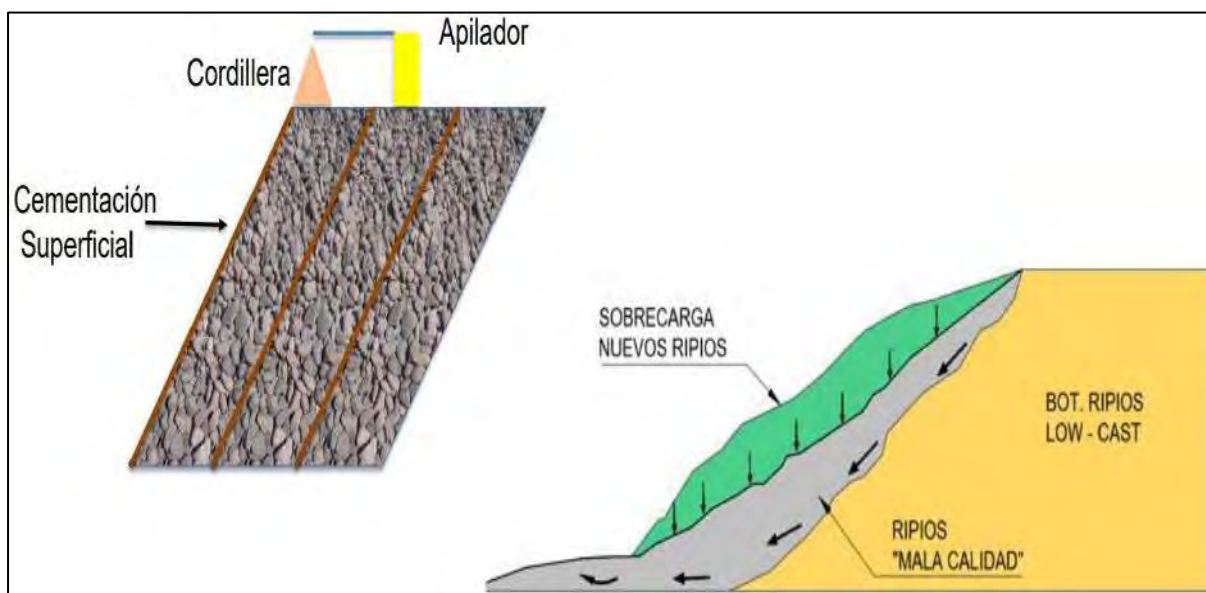
### **2.6.1 Método de Cianuración en Botaderos (*Dump Leaching*)**

(Salcedo Laura, 2015). “Consiste en el amontonamiento del mineral tal como sale de la mina, con el menor manipuleo del mineral, se procesan en gran volumen (millones de toneladas) con camas de una altura de más de 80 metros, su procedimiento de riego es por goteo con

soluciones cianuradas de mínima concentración, los contenidos de oro en los minerales son bajos alrededor de 1 gramo por tonelada de mineral. La recuperación de oro en solución lo efectúa utilizando Merrill Crowe, el cemento de oro y plata obtenido lo funden y lo comercializan”. En la figura 1, se puede observar el esquema de la lixiviación en botaderos.

### Figura 1

*Esquema del proceso de lixiviación en bateas*



Nota: Alarico Tomey (2014)

#### 2.6.2 Método de Cianuración en Pilas (Heap Leaching).

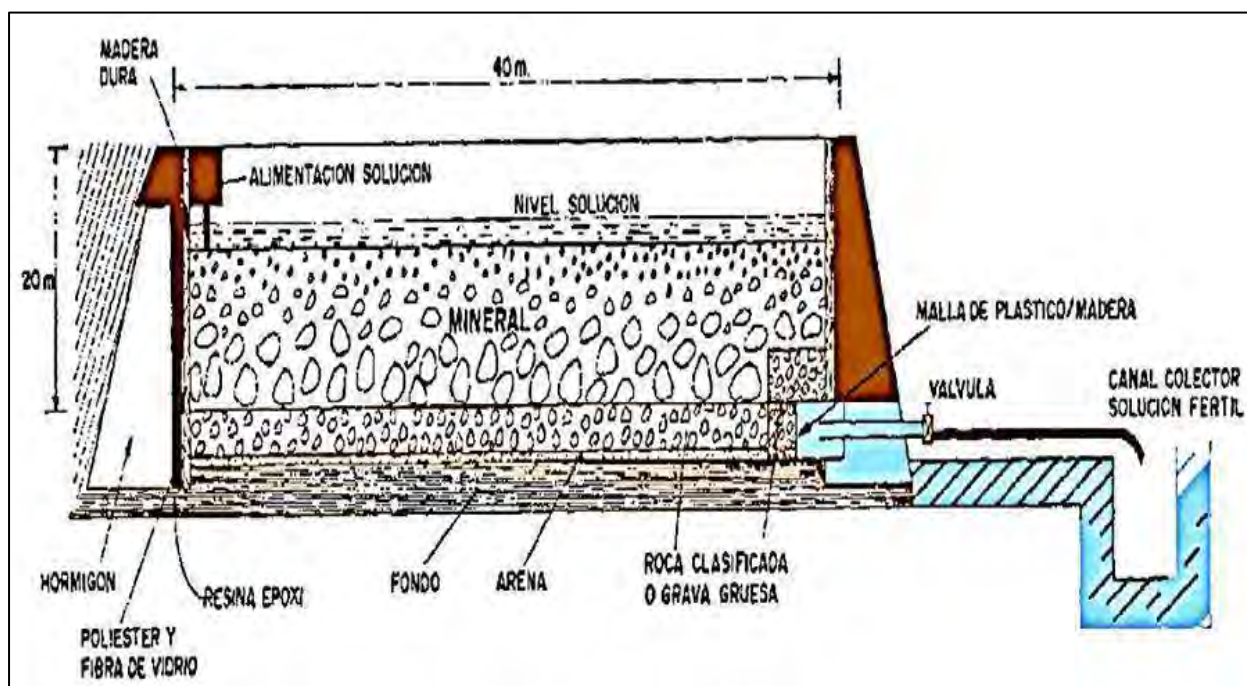
(Mamani Q., 2015) Expone “El procedimiento es similar al proceso de cianuración en botaderos, es el apilamiento o lo que es la conformación de pilas de mineral para ser regados con soluciones cianuradas por la técnica de goteo o aspersion. El volumen de mineral es inferior que en el proceso de cianuración en botaderos, pero los contenidos de oro son mayores a 1 gr/tn, lo que permite en gran parte, que, el proceso de cianuración en pilas requiera una granulometría de chancado a un tamaño de  $\frac{1}{4}$  de pulgada ”. (Azañero Ortíz, 2001)

### 2.6.3 Método de Cianuración en Bateas Inundadas (Vat Leaching).

“El nombre del método esta referido a que el mineral esta en un recipiente tipo batea, por ende, este proceso consiste en el acumulamiento de mineral en una batea, también pueden ser pozas de concreto o mantas transportables, en el que se agrega las soluciones cianuradas por inundación las operaciones pueden ser de diversos tamaños, las leyes en oro deben justificar la molienda, anticipadamente a los riegos de soluciones cianuradas, se realiza una aglomeración al material molido” (Aduviri, 2009, p. 34). Este método mayormente se aplicó a los relaves de amalgamación, por los costos mínimos y la metodología casi empírica, en el sistema de mantas transportables”. (Mamani Quispe, 2015). Para el caso de minerales frescos se evalúa el costo beneficio frente a una operación continua de agitación carbón en pulpa.

**Figura 2**

*Equipo de cianuración en batea*



Nota: Alarico Tomey (2014)

#### **2.6.4 Cianuración por Agitación**

“La cianuración por agitación se emplea para minerales de alta ley, cuando los minerales generan un alto contenido de finos en la etapa de chancado o cuando el mineral deseado está bien diseminado que es necesario molerlo para liberar sus valores y exponerlos a la solución lixiviaste. Este proceso también se utiliza para cianurar calcinas de tostación y concentrados. Se acude a la agitación mediante burbujeo o bien a la agitación mecánica para conservar la pulpa en suspensión hasta que se logra la disolución completa, el periodo de tiempo de contacto de los sólidos con la solución es del orden de varias horas en comparación con el proceso de cianuración en pilas, que requiere meses”. (Poblete Palma, 2019)

Sus ventajas semejantes con otros métodos de lixiviación son:

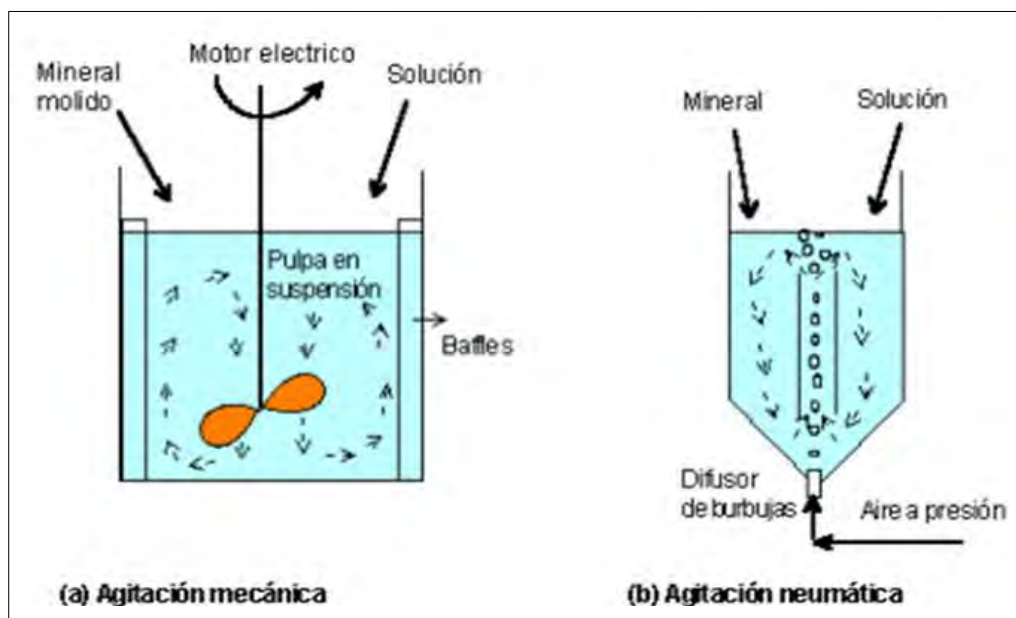
- Alta extracción del elemento a recuperar.
- Tiempos cortos de procesamiento (horas).
- Proceso continuo que permite una gran automatización.
- Facilidad para tratar menas alteradas o generadoras de finos.

Sus desventajas son:

- Un alto precio de financiamiento y operación
- Necesita una etapa de molienda y un periodo de disolución sólido líquido (espesamiento y filtración).

**Figura 3**

*Cianuración por agitación con dos sistemas de agitación mecánica y neumática*



Nota: Alarico Tomey (2014)

## 2.7 Métodos de Adsorción con Carbón Activado

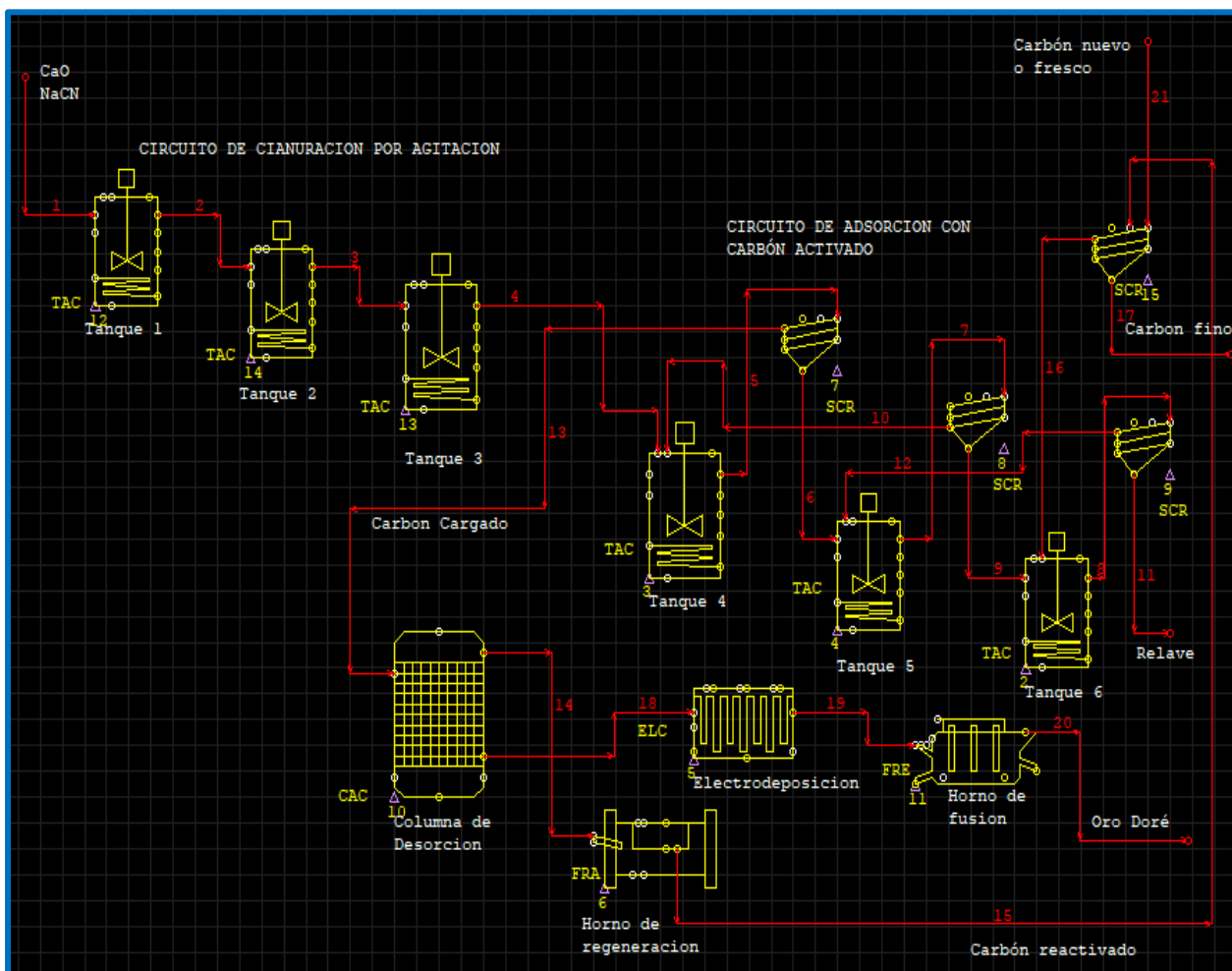
### 2.7.1 Proceso Carbón en Pulpa (CIP)

“En este proceso la recuperación por adsorción de carbón activado se ha convertido en una técnica exitosa de extracción de oro, después de ser molido el mineral se lixivia por la solución de cianuro en las mezclas alcalinas aireadas. Se compone de dos procesos principales las cuales son; lixiviación seguido de la adsorción de carbón, este fenómeno lo podemos ver en la figura 4. El carbón activado se mezcla directamente con la pulpa lixiviada y se adsorbe el oro de la solución, este proceso se usa generalmente para tratar menas de baja ley, alimentadas con carbón granular (6-28 mallas) en contracorriente con la pulpa cianurada. “El proceso CIP consiste en alimentar la solución cianurada conteniendo valores de oro en solución en tanque que contienen carbón activado, en donde tiene contacto la solución por una agitación mecánica del tanque, donde se realiza la adsorción de oro, posteriormente la pulpa pasará al siguiente tanque hasta el último

tanque, obteniéndose valores más pobres de oro en la solución en cada tanque, saliendo una solución barren pobre junto con desecho solido que será enviado a las relaveras.” (Vargas, 1990).

**Figura 4**

*diagrama de flujo para proceso carbón en pulpa*



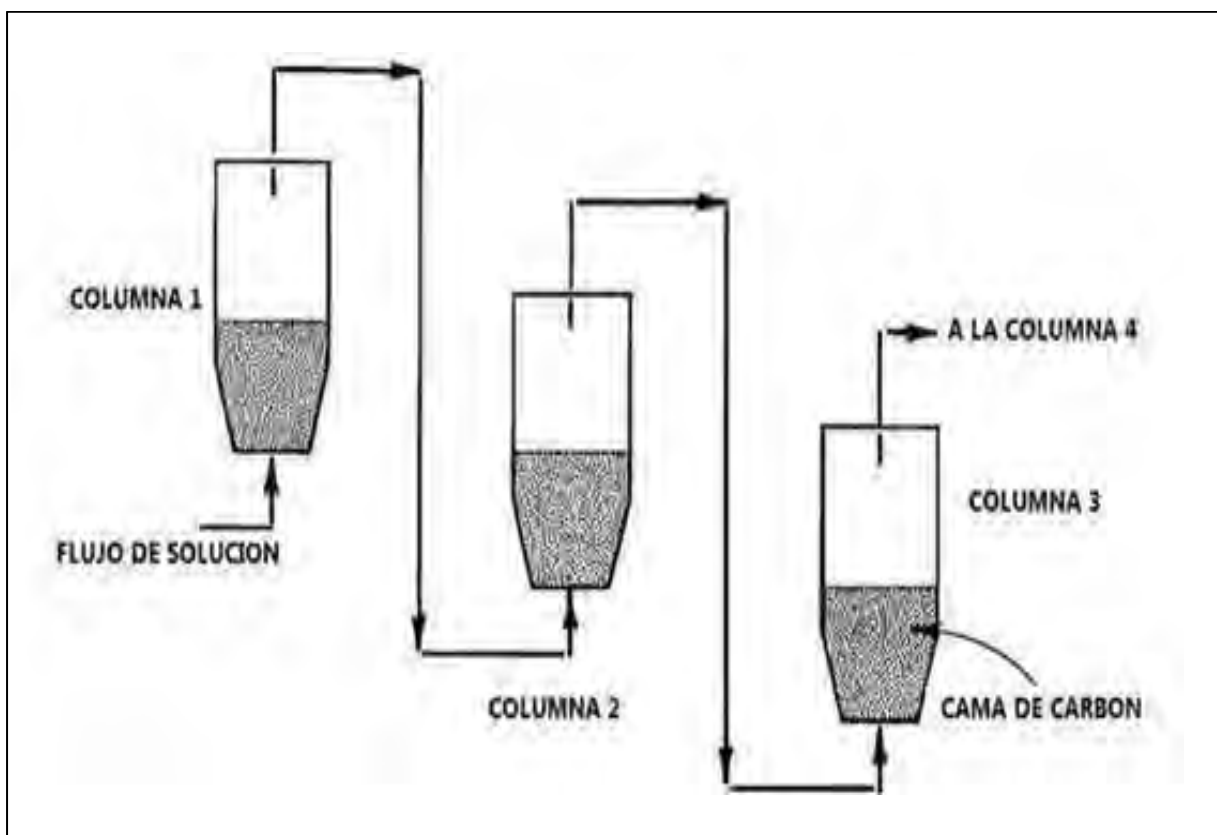
Nota: Cápac,2016.

### 2.7.2 Carbón en Columnas (CIC)

“En el transcurso de este proceso la solución lixiviada de cianuro transcurre a través de columnas llenas de mineral. El proceso es eficaz para extraer el oro de un mineral de baja ley” (Vargas, 1990).

**Figura 5**

*Configuración de un circuito con columnas de carbón actividad.*



Nota: Cáceres A. G. Hidrometalurgia, 2014

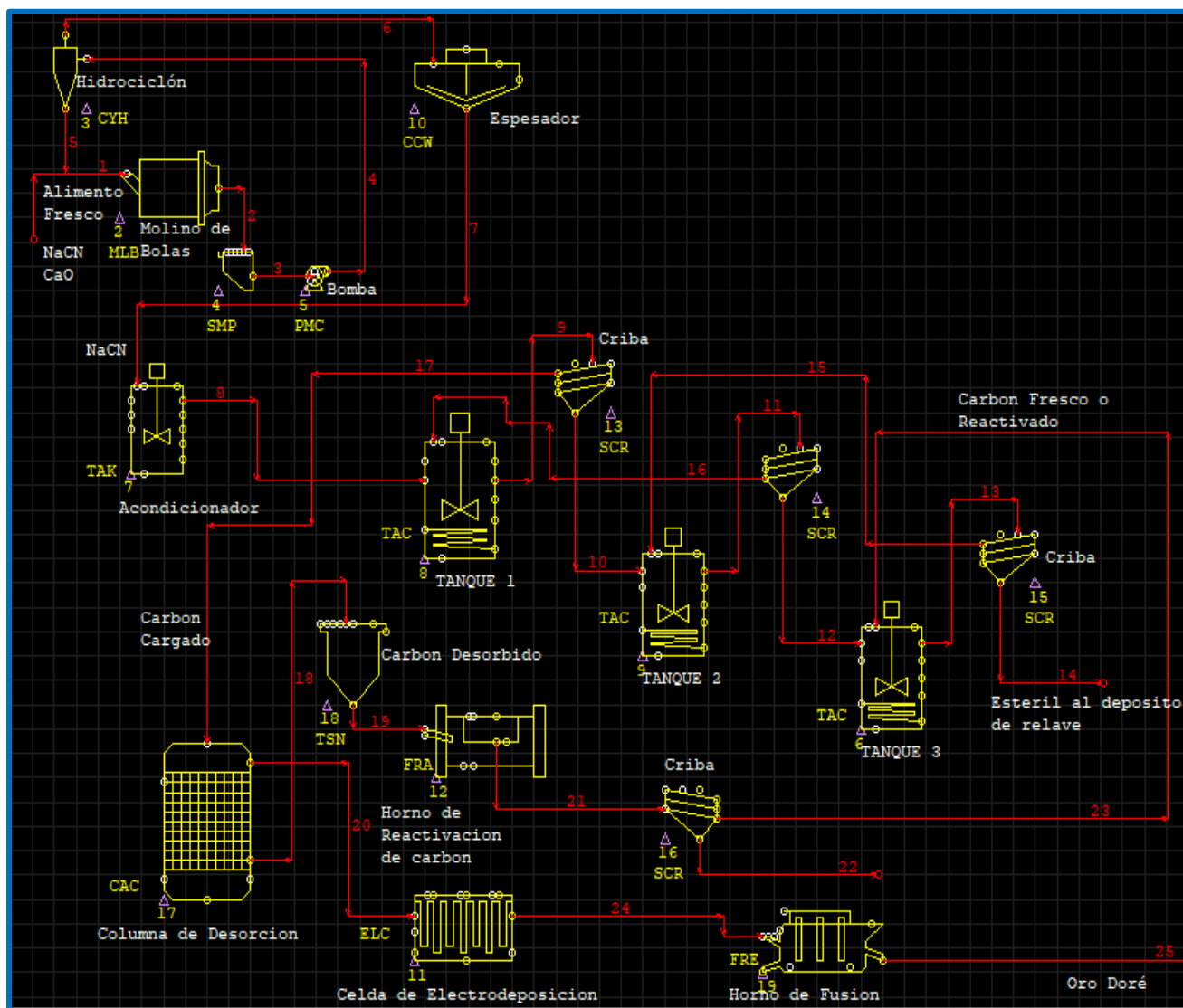
### **2.7.3 Carbón en Lixiviación (CIL)**

“Este proceso es muy parecido al proceso carbón en pulpa (CIP), sin embargo, la principal diferencia, es que, en el proceso carbón en lixiviación (CIL), el carbón es agregado directamente al circuito de disolución con cianuro y la lixiviación-adsorción son efectuadas simultáneamente en los tanques de lixiviación, por otra parte, en este proceso, el carbón se mueve en contracorriente a la pulpa de mineral que avanza en una serie de estanques agitados. Una vez terminada el ciclo de cianuración la pulpa es descartada. El carbón cargado con oro y plata se extrae desde los primeros estanques, se lava el resto de la pulpa y se envía al proceso de elusión”. (Vargas, 1990).



Figura 6

Representación del Proceso de Cianuración CIL



Nota: <http://docplayer.es/10211823-Ing-juan-vega-gonzalez>

## 2.8 Factores que Influyen en el Proceso CIL

Según Misari & Franco (1993). “Dentro del proceso de recuperación del oro en el proceso carbón en lixiviación (CIL), los factores importantes que influyen en el proceso de adsorción son”:

- Contenido de oro en la solución alimentada
- Densidad de pulpa
- Efecto del pH
- Presencia de otros iones (sales solubles)
- Presencia de arcilla
- Consumo del carbón -desgaste por abrasión
- Tiempo de residencia.

## **2.9 Variables del Proceso CIL**

“En la cianuración de los minerales por agitación mecánica , con cianuro de sodio intervienen un conjunto de variables en el proceso, los más importantes tenemos:

- Concentración de cianuro de sodio
- pH
- Densidad de pulpa
- Granulometría o tamaño
- Concentración de oxígeno
- Constituyentes mineralógicas” (Vargas, 1990).
- Tiempo de residencia

### **2.9.1 Concentración de Cianuro de Sodio**

En la cianuración de los minerales es necesario determinar la concentración del agente que permite disolver el oro y la plata. “En los trabajos realizados a lo largo de su invención para el cianuro de sodio se puede describir como es el caso de White la máxima disolución del cianuro de sodio es de 0.020% en un medio donde el cianuro de sodio es saturado con oxígeno, mientras que

Barsky, Swainson y Hedley la fuerza de la disolución del cianuro de sodio es del orden del 0.05%, para una disolución adecuada.” (Misari, 2010).

“A presión atmosférica, la cianuración no depende de la concentración de cianuro en solución. A temperatura ambiente y presión atmosférica es factible disolver 8,1 mg/l de oxígeno, equivalentes a  $0,2 \times 10^{-3} \frac{mol}{L}$ . De tal manera, la concentración mínima de cianuro de sodio en solución (PM = 49), debería ser por lo menos 4 veces la concentración de oxígeno presente, es decir,  $4 \times 0,26 \times 10^{-3} \times 49 = 0,05 \text{ g/L}$ . Concentraciones de NaCN mayores a 0,05 g/l, no afectan la velocidad de disolución del oro, ya que a presión atmosférica esto está controlado primordialmente por la concentración de oxígeno en la solución.” (Misari, 2010).

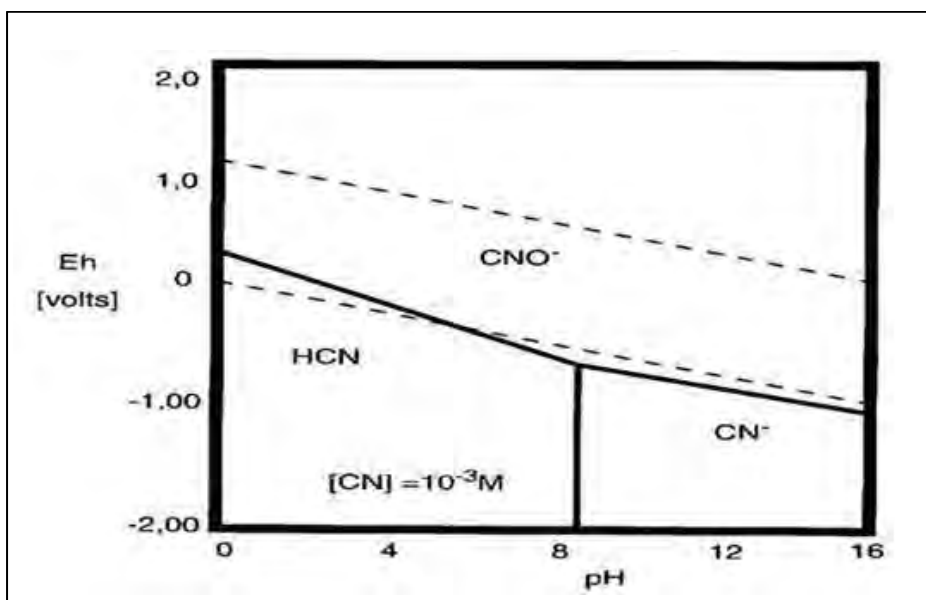
### **2.9.2 Alcalinidad o pH**

“El proceso de cianuración se realiza en un medio básico, con la finalidad de que no se pierda el cianuro, ya que en un medio ácido se forma un gas cianógeno, que es altamente mortal para los seres vivos, por lo que es necesario mantener un pH entre 10.5 a 11.0, con la finalidad de no perder el cianuro por hidrólisis.” (Domic, 2001).

Álcali, requerido para el control y modificación del pH de la mezcla, siempre debe ser añadido antes a la adición de cianuro para proveer protección de alcalinidad, por lo tanto, previene la pérdida excesiva de cianuro por hidrólisis. El hidróxido de calcio (cal apagada,  $Ca(OH)_2$ ) o hidróxido de sodio pueden emplearse para la modificación de pH.

**Figura 7**

Diagrama Eh-pH para el sistema CN-H<sub>2</sub>O, concentración de cianuro 10<sup>-3</sup> molar



Nota: Domin, (2001)

### 2.9.3 Densidad de la Pulpa

Habitualmente, la lixiviación se efectúa a una densidad de pulpa de 1250 a 1300 g/L, y a un porcentaje de sólidos de entre 35% y 50%, dependiendo de la gravedad específica de los sólidos, el tamaño de la partícula y la presencia del mineral afectan la viscosidad de la pulpa (arcilla). El fenómeno de transferencia de masa se maximiza a densidades bajas de la pulpa. El fenómeno de transporte de masa se maximiza con bajas densidades de la mezcla; no obstante, el periodo de tiempo de retención de sólidos en un volumen fijo en el equipo de lixiviación aumenta su densidad.

### 2.9.4 Granulometría o Tamaño

La liberación del mineral debe ser lo suficientemente fina que permita liberar el oro y plata que se encuentran asociados a otros minerales, la finalidad es liberar y un tamaño adecuado que pueden estar en suspensión durante la cianuración por agitación mecánica, esta liberación podría estar menor a la malla 65, con una dilución de 2.5 (Arrau, 2006). Otros trabajos en la realidad es

por el agotamiento de las reservas de alta ley, por lo que el oro se encuentra en una granulometría más fina, de tal manera, es necesario que se debe realizar una liberación del 80% pasante a la malla -200. La disolución de oro de acuerdo a los estudios realizados es de  $3.25\text{mg}/\text{cm}^2/\text{horas}$  con ello, para una granulometría de oro del orden de 44 micrones tarde 14 horas, mientras que de 140 micrones tarda 44 horas en disolver el oro (Mendez, 2009).

### ***2.9.5. Concentración de Oxígeno***

En la cianuración de los minerales de oro y plata, se requiere la presencia del oxígeno y sin ello no puede ocurrir la disolución de oro y plata, para ello es necesario introducir a la pulpa de lixiviación dinámica por medio de agitación, inyección forzada tanto de aire u oxígeno puro, para que exista una adecuada cianuración debe tener una concentración de oxígeno en un nivel de saturación de concentración de 8.2 mg/L, con lo permite tener una adecuada cianuración a una temperatura de 25°C (Mardden & Lain, 2006).

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

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

“En algunos casos, individualmente cuando se tratan menas que contienen minerales consumidores de oxígeno, se agrega oxígeno puro o peróxido de hidrógeno para aumentar la concentración de oxígeno disuelto por encima de aquellos alcanzables con sistemas de aspersion

de aire simple. El criterio sobre el mejor método para introducir aire en los tanques de lixiviación varía” (Aduviri, 2009, p. 41), lo cual influye la aspersión de aire:

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

El mejor sistema de aspersión depende de la geometría de los tanques de lixiviación. Es común en el proceso convencional de cianuración, mantener una agitación que permita la aireación continua de la pulpa de lixiviación.

#### ***2.9.6. Constituyente de la Mineralogía***

“Los minerales que constituyen la mineralogía del yacimiento a procesar, es necesario su identificación para una cianuración adecuado, por lo que, estos minerales en el proceso van a consumir la solución cianurada como el cobre, plomo, hierro, zinc, etc. De igual manera los sulfuros también tienden a consumir, junto a los carbonatos, y telurios.” (Stanley, 2000).

#### ***2.9.7. Tiempo de Residencia***

“Los requisitos de tiempo de residencia cambian dependiendo de las características de lixiviación del material que está tratándose y deben determinarse mediante pruebas metalúrgicas. Los tiempos lixiviación aplicados en la práctica varían de unas horas a varios días. La lixiviación a menudo se realiza de 4 a 10 etapas, con el volumen de la etapa individual y el número de etapas dependiendo de la velocidad de flujo de la pulpa, tiempo de residencia requerido y eficiencia del equipo de mezcla utilizado” (Stanley, 2000).

### 2.9.8. Efecto de pH y Eh en la Cianuración del Oro

“La química redox de la lixiviación de oro con solución de cianuro está representadas por diagramas de Eh vs. pH para tres sistemas, los que fueron presentados en sus inicios por Finkelstein en 1982.

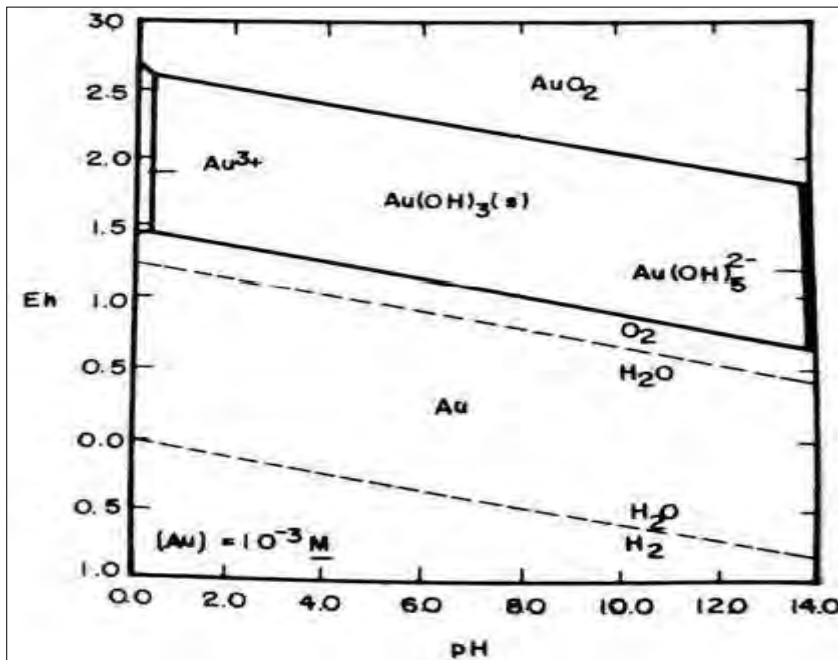
- Oro – Agua.
- Cianuro – Agua.
- Oro – Cianuro – Agua.

Como se puede ver en la (Figura 8), los iones áuricos ( $Au^{3+}$ ) pueden estar en equilibrio con oro metálico ( $Au^0$ ) en el sistema oro – agua, o con iones auro – cianuro ( $Au(CN)_2^-$ ) en el sistema oro – cianuro – agua hasta pH 11” (Poblete Palma, 2019).

“De la misma forma se puede observar en la (figura 9), que los iones de oro predominantes son áuricos ( $Au^{3+}$ ), y no aurosos ( $Au^+$ ), esto debido principalmente a que la reacción  $Au^0 \rightarrow Au^{3+}$  se encuentra muy por debajo del límite de estabilidad de la reacción  $Au^0 \rightarrow Au^+$ ” (Poblete Palma, 2019).

**Figura 8**

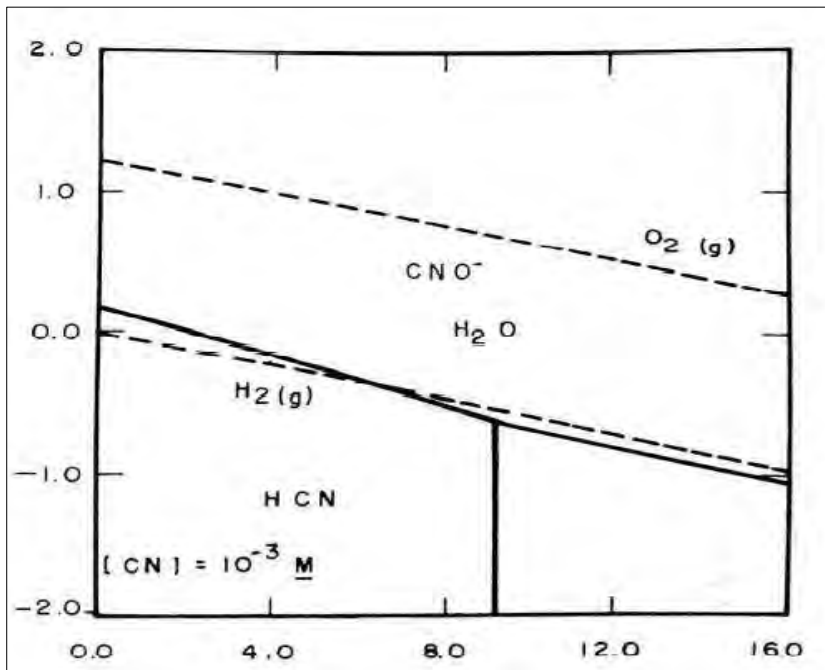
Diagrama Eh - pH para el Sistema Oro - Agua a 25°C



Nota: Ipinza (2019)

**Figura 9**

Diagrama Eh - pH para el Sistema Oro - Cianuro, a 25°C

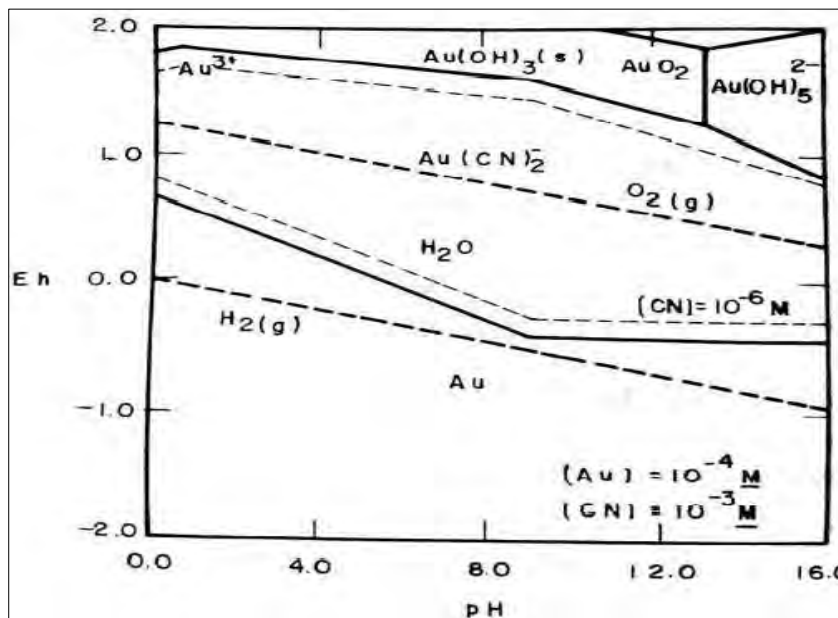


Nota: Ipinza (2019)



**Figura 10**

Diagrama Eh - pH para el Sistema de Oro - Cianuro - Agua, a 25°C.



Nota: Ipinza (2019)

Además, “como se puede observar en la Figura 8 y la Figura 10, el campo de estabilidad del oro metálico, a potenciales de reducción relativamente bajos, cubre la totalidad del rango de pH, al igual como ocurre con la estabilidad del agua. De igual forma, el oro es capaz de formar especies de óxidos insolubles a potenciales relativamente altos, por ejemplo, óxido áurico hidratado,  $Au_2O_3 \cdot 3H_2O \leftrightarrow 2Au(OH)_3$ , o peróxido de oro  $AuO_2$ , los cuales son termodinámicamente inestables, por tanto, fuertes oxidantes. Además, se puede observar, que la fuerza oxidante o potencial de estos óxidos depende de la acidez que presenta el sistema y decae cuando incrementa el pH. El ácido cianhídrico (HCN) y los iones cianuro ( $CN^-$ ) son las especies que se mantienen estables a potenciales bajos, donde el  $CN^-$  es predominante a pH mayores a 9,24, también que a potenciales elevados el ion cianato ( $CNO^-$ ), es la única especie estable, mientras que, en la Figura 9. Se observa que a pesar de que en la literatura se ha reportado el cianuro auroso sólido ( $AuCN$ ) y el complejo áurico de cianuro ( $[Au(CN)_4]^-$ ) como estables, el

complejo auroso de cianuro ( $[Au(CN)_2]^-$ ) es el único complejo de cianuro que permanece estable durante la cianuración, por otra parte, haciendo una comparación entre la Figura 8 y la Figura 10, es posible indicar que, al introducir cianuro al sistema acuoso, se reduce drásticamente la zona de estabilidad del oro metálico y sus respectivos óxidos” (Poblete Palma, 2019). “El complejo auroso de cianuro ( $[Au(CN)_2]^-$ ) tiene una amplia zona de estabilidad (ver Figura 10), la cual se extiende por una gran área de la zona de estabilidad agua/oro. Debido a la extensa zona de estabilidad del oro – cianuro, sobre todo a pH mayor a 9, donde la formación de ácido cianhídrico (HCN) puede ser completamente evitada, hace que la lixiviación de menas de oro sea un método factible de extracción de este metal” (Stanley, 2000).

## 2.10. Termodinámica de la Cianuración (CIL)

“En los sistemas acuosos hidrometalúrgicos es primordial conocer su comportamiento termodinámico, para su interpretación se dispone de diagramas de Pourbaix o Eh-pH. Los diagramas Eh-pH (Potencial de electrodo), han sido desarrollados para describir los equilibrios en un sistema de corrosión metálico.

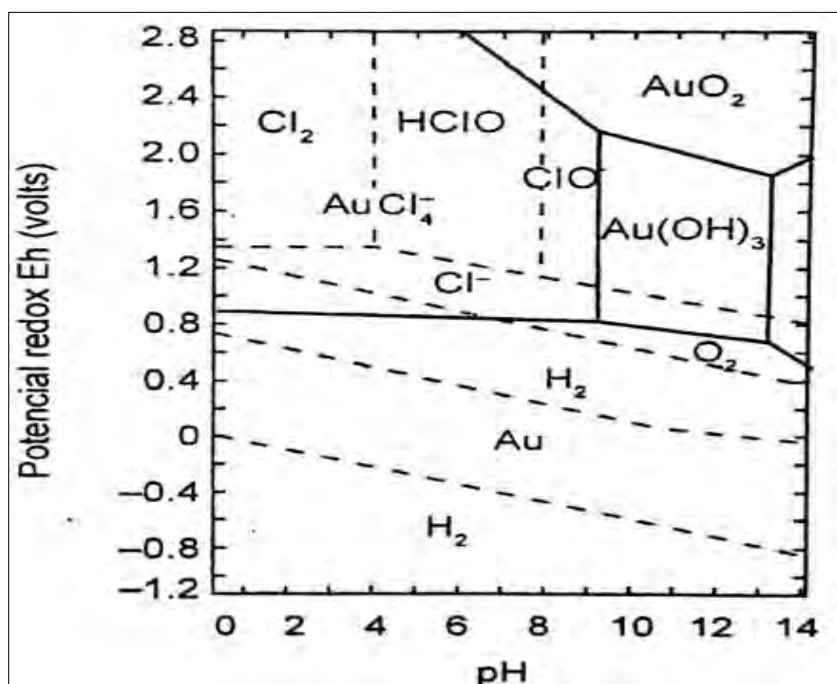
Representadas clásicamente en los diagramas de pourbaix (figuras 10 y 11) que relacionan el potencial de óxido - reducción (Eh) de metal con el pH del medio. Estos diagramas muestran que compuestos como  $Au(OH)_3$ ,  $AuO_2$ ,  $Au(OH)_3^{-2}$  así mismo el ion  $Au^{+3}$ , requieren altos potenciales redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. La lixiviación del oro metálico es, por lo tanto, muy difícil a causa de la gran estabilidad de este último”. (Misari, 2010, p. 15).

“En el diagrama  $Au - H_2O - CN^-$ , la reacción  $Au(OH)_2^- + e^- = Au + 2CN^-$ , se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad agua.

El campo de estabilidad del complejo de aurocianuro está delimitado por una línea recta que principalmente muestra una pendiente pronunciada. (efecto del hidrolisis del cianuro a pH menor a 9), tomándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico; hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por formación de aurocianuros. En el mismo grafico se puede ver que los compuestos  $Au(OH)_3$ ,  $AuO_2$ ,  $Au(OH)_3^{-2}$  son reducidos por la introducción del cianuro”. (Misari, 2010, p. 15)

### Figura 11

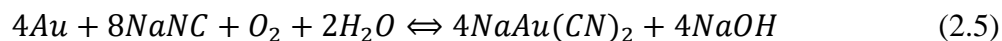
Diagrama de estabilidad Potencial - pH para el Sistema Au-H<sub>2</sub>O-Cl a 25°C.



Nota: Misari (2010)

### 2.11. Naturaleza Electroquímica de la Cianuración (CIL)

“El desarrollo en el entendimiento de la química de la cianuración de oro fue realizado por Kudryk y Kellog en 1954, aquellos que demostraron la naturaleza electroquímica de la cianuración del oro. La reacción de disolución de oro, denominada ecuación de Elsner (Misari, 2010, p. 15), es lo siguiente:



Esta reacción consiste de dos medias reacciones anódicas y catódicas.

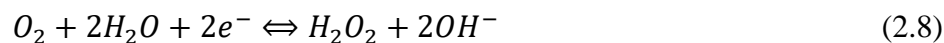
### a) Reacción Anódica

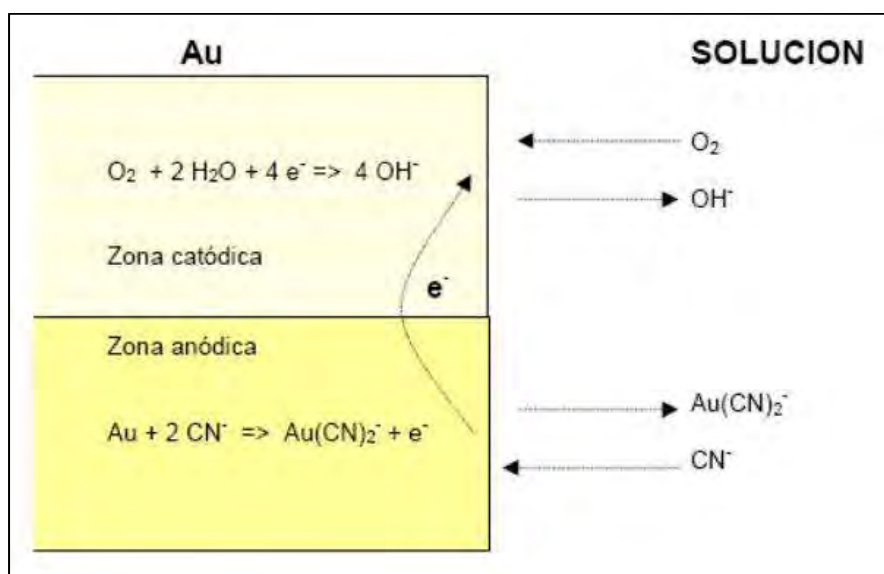
La reacción anódica involucra la oxidación del  $Au^0$  a  $Au^{+1}$  a través de dos etapas: la reacción de oro con un ion de cianuro para formar un compuesto superficial que puede ser  $AuCN$  y luego la formación del complejo de cianuro de  $Au^{+1}$   $(AuCN)_2$   $(AuCN)_2$  Como se observa en las siguientes reacciones (Matthew, 1997):



### b) Reacción Catódica

Las anteriores reacciones están acompañadas por la reducción catódica del oxígeno en la superficie del metal. En la superficie del oro, las reacciones muestran la reducción del oxígeno a peróxido y la reducción del peróxido a hidróxido (Matthew, 1997), esto lo podemos ver en la figura 12.



**Figura 12***Disolución del oro en medio cianuro*

Nota: Misari, F. 1993

#### 2.11.4. Cinética del Proceso de Cianuración

“El proceso de dilución de oro y plata en soluciones cianuradas involucra reacciones heterogéneas en la interfase sólido – líquido. La velocidad de dilución del oro, es controlada por la difusión del oxígeno disuelto hacia la partícula de oro. De tal forma, las condiciones que permiten acelerar o catalizar la reacción de disminución del oxígeno disuelto sobre el oro, son: agitación, temperatura, pH, etc., son bastante convenientes para la disolución del oro presente en el mineral” (Matthew, 1997).

“De esta manera, los pasos a seguir pueden ser tomados como primordiales para la lixiviación de estos metales nobles:

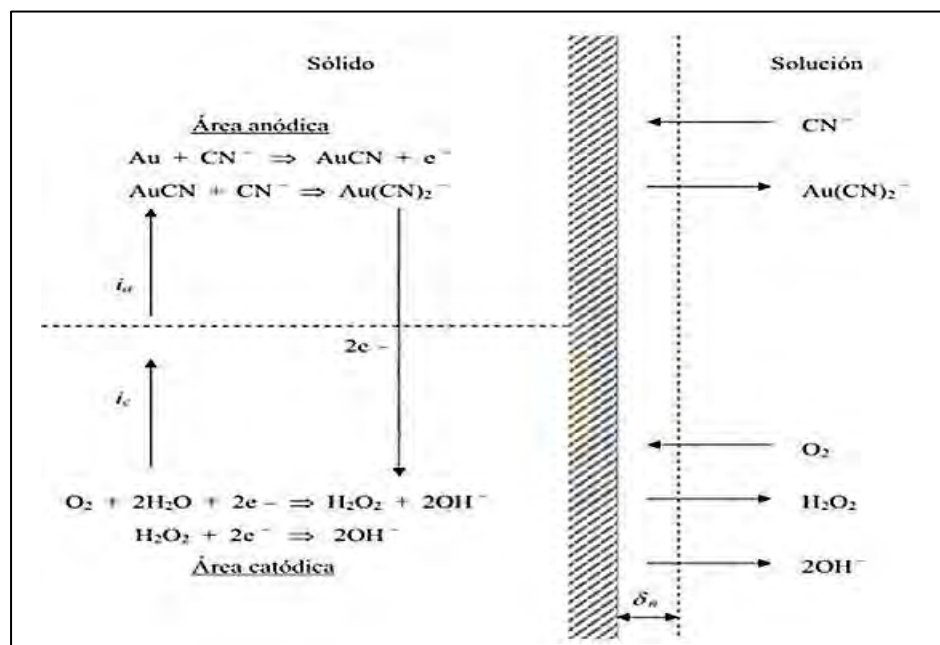
- Absorción de oxígeno en la solución.
- Transporte de cianuro y oxígeno disuelto a la interfase sólido – líquido.
- Adsorción de los reactantes ( $CN^-$  y  $O_2$ ) en la superficie sólida.

- Reacción electroquímica.
- Desorción de los complejos solubles de oro – cianuro, plata – cianuro y otros productos de reacción desde la fase sólida.
- Transporte de los productos desorbido a la solución (Matthew, 1997).

“Este método de cianuración está en función de distintos parámetros como disponibilidad de oxígeno en la interfase sólido – líquido, concentración de cianuro en la solución, temperatura de pulpa, pH y Eh, de la suspensión sólido – solvente, área superficial disponible y velocidad de agitación”. (Rojas, 2003). “En general la cinética la lixiviación con cianuro sobre el oro y la plata es lenta debido principalmente a la solubilidad baja del O<sub>2</sub>, que es fundamental en la reacción química “ (Misari, 2010, p. 15).

### Figura 13

*Representación Esquemática de una Celda de Corrosión Local en la Superficie del Oro en Contacto con una Solución que Tiene  $i_a =$  Corriente anódica,  $i_b =$  Corriente Catódica*



Nota: Marsden, 1992.

“La cianuración está gobernada por las leyes de Fick, expresadas matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{d(O_2)}{dt} = \frac{DO_2 A_1 ([O_2] - [O_2]_s)}{\delta} \quad (2.10)$$

$$\frac{d(CN^-)}{dt} = \frac{DCN^- A_2 ([O_2] - [O_2]_s)}{\delta} \quad (2.11)$$

Donde:

$\frac{d(O_2)}{dt}$  y  $\frac{d(CN^-)}{dt}$  son velocidades de difusión de  $O_2$  y  $CN^-$  respectivamente, expresada en moles/seg.

- $DO_2$  y  $DCN^-$  son los coeficientes de difusión en  $cm^2/seg$ .
- $A_1$  y  $A_2$ , el espacio anódica y catódica sobre ellas se ejecuta la reacción, ambas medidas en  $cm^2$ .
- $\delta$ , es el ancho de la capa límite de Nernst en  $cm$ .
- $[O_2]$  y  $[CN^-]$ , concentración de oxígeno y cianuro en la solución en moles/ml
- $[O_2]_s$  y  $[CN^-]_s$ , concentración sobre la superficie de reacción.

Si en las dos anteriores ecuaciones se considera que la reacción química es muy veloz, se tiene  $[O_2]_s = [CN^-]_s = 0$ , si se acepta asimismo que la velocidad de disolución del metal es dos veces la del oxígeno y sólo la mitad de la del cianuro, se obtiene la siguiente igualdad:

$$\frac{2DO_2 A_1 ([O_2] - [O_2]_s)}{\delta} = \frac{1/2DCN^- A_2 ([O_2] - [O_2]_s)}{\delta} \quad (2.12)$$

Tomar en consideración que para el área totales  $A = A_1 + A_2$ , resolviendo este sistema de ecuaciones se deduce que la velocidad de cianuración” (Rojas, 2003), es:

$$V = \frac{2A DCN^- DO_2 [O_2] [O_2]}{\delta(DCN^- [CN^-] + 4DO_2 [O_2])} \quad (2.13)$$

“Para obtener esta ecuación se considera dos posibilidades; cuando las concentraciones de cianuro son bajas, el primer término del denominador es despreciable respecto del segundo, con lo cual de la expresión anterior” (Stanley, 2000). se tiene:

$$V = \frac{1/2 DCN^- A [CN^-]}{\delta} \quad (2.14)$$

$$V = K_1 [CN^-] \quad (2.15)$$

Por consiguiente, “teniendo en cuenta las condiciones, la velocidad de cianuración es función de la concentración de cianuro, lo cual ha sido demostrado experimentalmente” (Matthew, 1997). La segunda posibilidad es que las concentraciones de este compuesto sean elevadas; En este caso, el segundo término del denominador es insignificante comparado con el primero, por lo que la ecuación se convierte en:

$$V = \frac{2 DO_2 A [O_2]}{\delta} \quad (2.17)$$

$$V = K_2 [O_2] \quad (2.18)$$

Quiere decir que, a altas concentraciones de cianuro, “la velocidad de disolución depende principalmente de la concentración de oxígeno. Esta previsión teórica también fue confirmada por experimentos.

Para determinar el límite en el predominio de una de las concentraciones permite el paso al de la otra en el control de la velocidad de lixiviación, se retorna a la ecuación general, cuando dicha ecuación se cumple “(Vargas, 1990).:

$$DCN^- [CN^-] = 4DO_2 [O_2] \quad (2.19)$$



o lo que es lo mismo:

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = \frac{4 DO_2}{DCN^-} \quad (2.20)$$

Y se asume que  $\frac{DO_2}{DCN^-} = 1.5$  (promedio implantado a partir de distintas pruebas experimentales) se determina que el límite referido se alcanza cuando  $[CN^-] = 6 [O_2]$

## 2.12. Carbón Activado

“Es un término genérico que describe una familia de adsorbentes de carbonáceos altamente cristalinos con una porosidad interna muy desarrollada. Existe una amplia gama de productos de carbón activado, que muestran diferentes características, dependiendo del material de partida y la técnica de activación utilizada en su fabricación.

Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad grande de microporos (poros menores a 1 nanómetro de radio). En efecto de su enorme microporosidad, un solo gramo de carbón activado puede poseer un área superficial de 500 m<sup>2</sup> o más.

El carbón activado se usa para la extracción de metales, la purificación de agua potable (tanto para la potabilización para el público como domestico), en medicina para casos de intoxicación, en el procesamiento de aguas residuales, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en máscaras antigás, en filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles” (Stanley, 2000)., entre otros.

Las propiedades más importantes del carbón activado, para la extracción de oro son:

- Capacidad de adsorción de oro.
- Velocidad de adsorción de oro.

- Esfuerzo mecánico y resistencia al uso.
- Características de reactivación.
- Distribución del tamaño de partícula

### 2.13 Cianuro de Sodio (NaCN)

“Conocido como cianuro sódico (NaCN), es un insumo químico fiscalizado, se define como una sal sódica del ácido cianhídrico (HCN). Se trata de un compuesto sólido e incoloro extremadamente peligroso que se hidroliza con facilidad en contacto con el agua y óxido de carbono (IV) para dar carbonato de sodio y ácido cianhídrico (Rojas. 2003), es el compuesto más utilizado como agente lixivante en el proceso cianuración de oro y plata.

Según, (Aduviri, 2009, p. 34). Sus propiedades fisicoquímicas son:

- Fórmula: NaCN
- Masa molecular: 49,01 g/mol
- Punto de fusión: 563,7 °C
- Punto de ebullición: 1.496 °C
- Densidad: 1,60 g/ml
- N° CAS: 143-33-9 (Aduviri, 2009, p. 34).
- Soluble en agua

## **2.14 Diseño Experimental**

Es la agrupación de técnicas estadísticas activas clásicas, la cual busca la influencia algunos factores que ingresan a un proceso en la variable de respuesta o interés, y si ocurre poder cuantificarlas. Mediante el diseño experimental podemos obtener información necesaria para proponer mejoras en el proceso, existen dos maneras de obtener información necesaria: una es la de observar o monitorear por medio de herramientas estadísticas planteadas y otra manera consiste en experimentar, la cual se refiere a cambios estratégicos en el proceso”. (Hernández, et al., 2007)

En efecto, en el diseño experimental se pueden manipular intencionalmente una o más variables independientes, para analizar el efecto o la variable dependiente (causa–consecuencia) (Hernández, et al., 2007)

“Sirve para describir los acontecimientos experimentales, mediante el establecimiento del procedimiento adecuado que permita las comparaciones de interés; el análisis de los resultados obtenidos, mediante la utilización de técnicas y herramientas estadísticas que permiten la valoración probabilística de los resultados; y predecir situaciones futuras a través de la obtención de modelos de correlacionales de significación estadística que describan el comportamiento de las variables de importancia” .

## **2.15 Objetivo del Diseño Experimental**

“Es estudiar si cuando se utiliza un determinado tratamiento se produce una mejora en el proceso o no. Para ello, se debe experimentar aplicando el tratamiento. Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la influencia del uso del tratamiento cuando éste produzca cambios grandes en relación con el error de observación” (Zapata A., L., 2020 p. 88).

El diseño experimental busca “medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en la posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas, 2013, p.272). Con el fin de optimizar y mejorar el rendimiento del proceso.

“Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación. (Gutiérrez. P.H, 2008, p.5). La técnica del diseño de experimentos analiza cómo variar las situaciones usuales de realización de un proceso empírico para incrementar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta manera se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés” (Zapata A., L., 2020 p. 88).

## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS

#### 3.1 Hipótesis General

Se logra incrementar el porcentaje de extracción del oro, optimizando la concentración de cianuro y granulometría del mineral para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.

#### 3.2 Hipótesis Específica

- La concentración de cianuro influye en la mayor o menor dilución del metal de interés.
- La variación de la granulometría del mineral repercutirá en la mayor o menor disolución del oro.

#### 3.3 Variables e Indicadores

##### *3.3.1 Variables Dependientes*

- % de extracción

##### *3.3.2 Variables Independientes*

- Concentración de cianuro (ppm)
- Granulometría del mineral (80%-85%-90% malla -200)

##### *3.3.3 Variables Intervinientes*

- Característica del mineral
- Temperatura del ambiente

#### 3.4 Indicadores

- Granulometría (80%-85%-90% malla -200)
- Concentración de cianuro (ppm)

**Tabla 2***Operacionalización de variables.*

VARIABLE NOMINAL	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NIVELES	UNIDAD	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
% de extracción	Dependiente	Cantidad del metal (Oro), extraído a partir del mineral, en el proceso carbón en lixiviación.	Cuantificar porcentualmente el Oro extraído mediante balances metalúrgicos, obtenidos en el proceso carbón en lixiviación.	0 a 90	%	Gramo/tonelada	Análisis de laboratorio
Granulometría	Independiente	Distribución por tamaños de las partículas de un mineral. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de mineral.	Realizar pruebas metalúrgicas de diferente tamaño de mineral que se ajusta a diferentes procesos de extracción, que tiene una variación de micrones	80-85-90 malla -200	%	Tamaño	Tamices
Concentración de cianuro	Independiente	Cantidad de reactivo (en peso) que se halla disuelto en una cantidad dada de solución.	Determinar la acumulación de cianuro de sodio que se sitúa disuelto en cierta cantidad de solución acuosa.	1000-1500-2000	ppm	Gramo de reactivo/kg de mineral	Titulación

Nota: Elaboración Propia, con revisión de (Poblete Palma, 2019)

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Delimitaciones de la Investigación

##### *4.1.1 Delimitación Espacial*

Este proyecto se desarrollará en la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.

##### *4.1.2 Delimitación Temporal*

El presente trabajo de investigación tecnológica se desarrollará en ocho meses.

##### *4.1.3 Viabilidad del Estudio*

“La ejecución de la presente investigación es viable, dado que se tiene los conocimientos teóricos, y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; del mismo modo se cuenta con la autorización correspondiente del gerente general de la Empresa Minera FIDAMI S.A. así mismo del jefe de laboratorio y del jefe de planta de dicha empresa, en donde se llevará a cabo el trabajo de investigación” (Hernández, et al., 2007).

#### 4.2 Localización

Políticamente el asiento de la Empresa Minera FIDAMI S.A. se encuentra ubicado en el anexo de Nuevo Jerusalén en el centro poblado de Santa Filomena, distrito de Sancos, Provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Sus coordenadas geográficas y la elevación son:

- a) Ubigeo: 050619
- b) Latitud Sur: 15° 21' 40" S (15.36109930000)
- c) Longitud Oeste: 74° 16' 29.3" W (74.27481432000)

d) Altitud: 2450 m. s. n. m.

### Figura 14

*Empresa Minera FIDAMI S.A.- Sancos Ayacucho*



Nota: Elaboración propia.

### 4.3 Rutas de Acceso

El acceso desde la ciudad de Cusco puede realizarse por vía aérea o terrestre hacia ciudad de Arequipa, desde esta última puede llegarse al centro poblado de Santa Filomena donde se encuentra ubicada la Empresa Minera FIDAMI S.A. siguiendo la carretera Panamericana desde Arequipa, Camaná, Chala y Yauca con un recorrido de 443 km. Posteriormente, se toma la ruta de Yauca a Santa Filomena por una carretera trocha durante 2 horas un recorrido de 60 km.



### 4.3.1 Vía Terrestre

**Tabla 3**

*Vía Terrestre*

<b>Desde</b>	<b>Hacia</b>	<b>Longitud (Km)</b>	<b>Carretera</b>	<b>Tiempo Hora</b>
Cusco	Arequipa	513	Asfaltada	9.14
Arequipa	Yauca	443	Asfaltada	7.37
Yauca	Santa Filomena	60	Trocha	2.00
<b>Total</b>		<b>1016</b>		<b>18.51</b>

Nota: Elaboración propia.

## 4.4 Política de Seguridad, Salud y Medio Ambiente

La Minera FIDAMI S.A. es una empresa privada dedicada a la industria de pequeña minería, a la exploración, explotación, planta de beneficio y comercialización, tiene como misión alcanzar y sostener un alto nivel de seguridad salud ocupacional para cada uno sus accionistas y colaboradores, realizando una gestión responsable con los recursos naturales y protección del medio ambiente. Consciente de su responsabilidad social se compromete a mantener un elevado grado de bienestar psicofísico en sus accionistas y colaboradores, a través del desempeño en la gestión de Seguridad, Salud Ocupacional, por lo tanto, asume los siguientes compromisos.

- Mejorar continuamente los procedimientos y estándares de Seguridad, Salud Ocupacional en las actividades que realiza la empresa minera FIDAMI S.A. y cumpliendo con las regulaciones vigentes.
- Proteger el medio ambiente, vivir amigablemente con el ecosistema, y tener un ambiente de trabajo seguro.
- Fomentar la cultura preventiva en Seguridad Salud Ocupacional, conservando un control sobre todas las actividades de gestión y operacionales rutinarias y no rutinarias.

- Ejecutar programas de capacitación y sensibilización en Seguridad, Salud Ocupacional para aumentar el nivel de responsabilidad de nuestros trabajadores.

#### **4.5 Geografía**

“La superficie sub andina, inicialmente comenzó a formarse en el terciario medio por acción marina y a una altura menor a la presente, determinando las rocas del Batolito, que han quedado al descubierto por la intensa erosión modeladora del que sólo una parte está cubierta en pequeñas áreas por depósitos cuaternarios. La cota más inferior es 1,305 m.s.n.m. en el lugar de Laytaruma, en el lecho del río y la más alta es 2,452 m.s.n.m. en el punto conocido como San Luis, al NE” (Lazo H., 2019, p. 60).

#### **4.6 Hidrología**

“Los primordiales recorridos fluviales de la zona están dados por los ríos Acarí, Yauca. El río Acarí, inicia en Puquio que recorre en nuestra área una distancia de 32 km. pero en muy poco caudal. El río Yauca nace en la laguna de Ancascocha, distrito de Chaviña y toma distintos nombres, tales como Sangarara en su curso superior, Lampalla en su curso medio y Yauca en su curso inferior hasta su desembocadura. Como afluentes recibe, en su margen derecha a los ríos Puchcoyaco, Huilcane, Para, Sancos y Paramayo, y en su margen izquierda a los ríos Tastamayo, Acros, Tampa y Acaville; este último nace en las alturas de Malco, pero sólo tiene agua en épocas de lluvia”. (Lazo H., 2019, p. 60)

#### **4.7 Clima y Vegetación**

“El clima que presenta la zona es seco y cálido, casi igual a las zonas desérticas de la costa peruana con pocas precipitaciones pluviales se ha establecido que en los meses de invierno (julio a setiembre) debido al descenso de la temperatura se presenta una densa neblina, de vez en cuando

una luminosidad muy baja a diferencia de la mayoría de los otros meses del año en que existe muy buena luminosidad. Según ONERN se considera como clima de la zona baja, influenciado por nubes de origen marino con un índice hídrico negativo y precipitaciones reducidas, que no llegan para satisfacer las necesidades agrícolas, por ende, presenta temperaturas altas con grandes fluctuaciones y baja concentración durante toda la época estival. Así mismo con el comportamiento térmico se ha establecido que el verano se extiende de diciembre a abril, en tiempos normales la temperatura es superior a 21° C y de mayo a noviembre 16° C, de temperatura media del 2016 en la localidad de Santa Filomena” (SENAMHI, 2020).

#### **4.8 Mineralogía**

“La Mina FIDAMI S.A. es un yacimiento filoniano, que produce principalmente oro y como subproducto plata que no es considerado dentro de su producción, afloran predominantemente rocas intrusivas de composición granodiorítica con variaciones tona-líticas y cuarzo monzoníticas”. (Lazo H., 2019, p. 61)

“Las estructuras mineralizadas presentan internamente estrechos halos (0.10 a 0.15 m) de alteración argílica (sericita) y en el borde externo predomina la alteración propilítica. La mineralización característica es cuarzo-óxidos de Fe-pirita con valores de oro y calcita-cuarzo-óxidos, en profundidad esto gradan débilmente a cuarzo-pirita con indicios de minerales de cobre. Las potencias van de 0.10 m a 0.20 m el objetivo de la presente investigación es estimar los recursos y reservas de las diferentes estructuras presentes en la mina FIDAMI S.A., estableciendo para ello las características geológicas y geoeconómicas de las estructuras mineralizada”. (Lazo H., 2019, p. 60).

## 4.9 Tipo de Investigación y Alcance

### 4.9.1 *Explicativo, Descriptivo y Correlacionales*

La investigación para presentar es de tipo explicativo y descriptivo.

**Se dice que es explicativo** porque determina la causa de la manipulación de las variables, concentración de cianuro, granulometría del mineral y observar el efecto.

**Es descriptivo** porque permite describir todo el proceso de cianuración, carbón en lixiviación a la vez describe todo el procedimiento de las pruebas metalúrgicas.

**Correlacionales** por que se estudia la relación que existe entre variables dependientes e independientes, donde se analiza la correlación entre dos variables

## 4.10 Diseño y Método de la Investigación

### 4.10.1 *Experimental*

“Se manipula variables independientes como la concentración de cianuro y granulometría del mineral para mejorar la extracción en el proceso CIL, donde tendrá consecuencias en la variable dependiente. (causa-efecto)” (Hernández, et al. 2014).

“Las variables independientes son manipuladas para monitorear el cambio que tiene en la variable dependiente. Cuando es experimental, el investigador no solo identifica las características que se estudian, sino que las controla, las altera o manipula con el fin de observar los resultados al tiempo que procura evitar que otros factores intervengan en la observación” (Hernández, et al. 2014).

## **4.11 Metodología de la Investigación**

Es de carácter tecnológico aplicativo de carácter cuantitativo porque permitirá captar datos cuantitativos para concluir con una interpretación de los datos para ello recurre al método inductivo para generalizar los resultados del experimento a través de la observación y el análisis crítico, “La investigación ejecutada busca el conocimiento para hacer, para actuar, para construir, para modificar, Se caracteriza porque busca el estudio o utilización de los conocimientos que se adquieren” (Hernández, et al. 2014).

## **4.12 Población y Muestra**

### ***4.12.1 Población***

La población de estudio es el blending de 480 tms de minerales auríferos que se encuentran preparados en la cancha de fino, con un tamaño de  $\frac{1}{2}$  pulgada que son preparados para procesar cada mes, estos minerales son provenientes de las labores mineras de la empresa FIDAMI S.A. del distrito de Sancos, provincia de Lucanas, región Ayacucho, que está compuesto principalmente de cuarzo en mayor cantidad.

### ***4.12.2 Muestra***

Para el presente tema de investigación con el fin de analizar y evaluar experimentalmente la muestra representativa es de 100 kg, para luego extraer una muestra representativa 27 kg, al final, para las pruebas de laboratorio se obtuvo 09 muestras de 3 kg de mineral aurífero.

### ***4.12.3 Selección de la Muestra***

Para la selección de muestra del blending presente en la cancha de finos de la planta de beneficios Datelli 6-Minera FIDAMI S.A., se realizó el muestreo con una pala, usando el método

damero o muestreo por puntos para extraer la muestra de 100 kg de mineral oxidado, para su posterior muestreo de 27 kg , posteriormente se realizó el secado del mineral en una cocina industrial para proceder con el polveo en los molinos pulverizadores de capacidad de 27 kg/hr, para luego descargar y hacer el cuarteo en mesa aplicando el método damero o por puntos para reducir el tamaño de la muestra, se realiza el cuarteo en mesa de los 27 kg obteniendo, 09 muestras de 3 kg, de mineral aurífero que proviene del blending preparado para procesar cada mes.

#### **4.13 Técnica e Instrumentos para la Recolección de Datos**

- **Observación Sistemática Directa**

Se empleó esta técnica para ver el proceso de investigación durante el desarrollo ejecutado.

- **Observación Sistemática Indirecta**

“Mediante esta técnica se pudo analizar y estudiar los diversos publicaciones que contiene datos sobre el tema de investigación” (Matthew, 1997).

- **Observación Experimental**

“Con esta técnica se pudo conocer los datos óptimos de las variables del proceso de cianuración CIL, concentración de cianuro y granulometría del mineral en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos -Ayacucho. “(Lazo H., 2019, p. 60)

#### **4.14 Otras Técnicas.**

##### ***4.14.1 Técnica de Cuestionario***

##### **Instrumento de Recolección de Datos**

- Apunte de datos – en cuaderno diario de campo y block de notas.

- Trabajo y observación directa en campo.
- Recopilación y compilación de información, donde se consultaron fuentes confiables primarias y secundarias.

#### **Fuentes Primarias:**

- Libros de hidrometalurgia
- Páginas web
- Artículos de investigación científica

#### **Fuentes Secundarias:**

- Diccionarios de la especialidad
- Folletos de la especialidad

### **4.15 Equipos, Materiales y Reactivos**

#### ***4.15.1 Equipo***

- Molino polvador de bolas (cap. 30 kg).
- Pulverizador de anillos Cap. 500gr.
- Balanza electrónica Mettler Toledo.
- Balanza analítica digital.
- Cocina eléctrica.
- pH metro panpeha.
- Equipos de protección personal (EPP).
- Laptop.
- Cámara fotográfica.

#### ***4.15.2 Materiales***

- Tamiz de la serie ASTM -200
- Espátulas.
- Bolsas SIPLOP.
- Papel filtro.
- Recipientes con tapa para muestras de solución PLS o rica.
- Instrumentos de laboratorio (matraz, vaso precipitado, pipetas, , etc.).
- Plumones indelebles.
- Fichas de control.
- Saquillos
- Cinta masking.

#### ***4.15.3 Reactivos***

- Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ).
- Yoduro de potasio (IK).
- Cianuro de sodio ( $\text{NaCN}$ - )
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )
- Agua destilada.

### **4.16 Procesamiento y Análisis de Datos**

La técnica que se utilizó para el procesamiento de datos, la estadística, con el cual se realizará el procesamiento de datos, nos ayudará a determinar el promedio, la varianza estándar, proyección, análisis y varianza, etc. (Silvetre & Huaman, 2019). Con la finalidad de contrastar la



hipótesis. Por otro lado, se ejecuta el procesamiento de texto para redactar el contenido de la información. Entre los paquetes que se pretende usar se tiene:

- Word, pdf, Excel.
- Tablas, gráficos, figuras y programas informático

#### **4.17 Procedimiento Experimental**

La parte experimental del tema de investigación se ejecutó respetando los procedimientos previos a la elaboración de la presente prueba metalúrgica. Se detalla a continuación el procedimiento realizado para la ejecución de las pruebas experimentales, se puede observar en la figura 15.

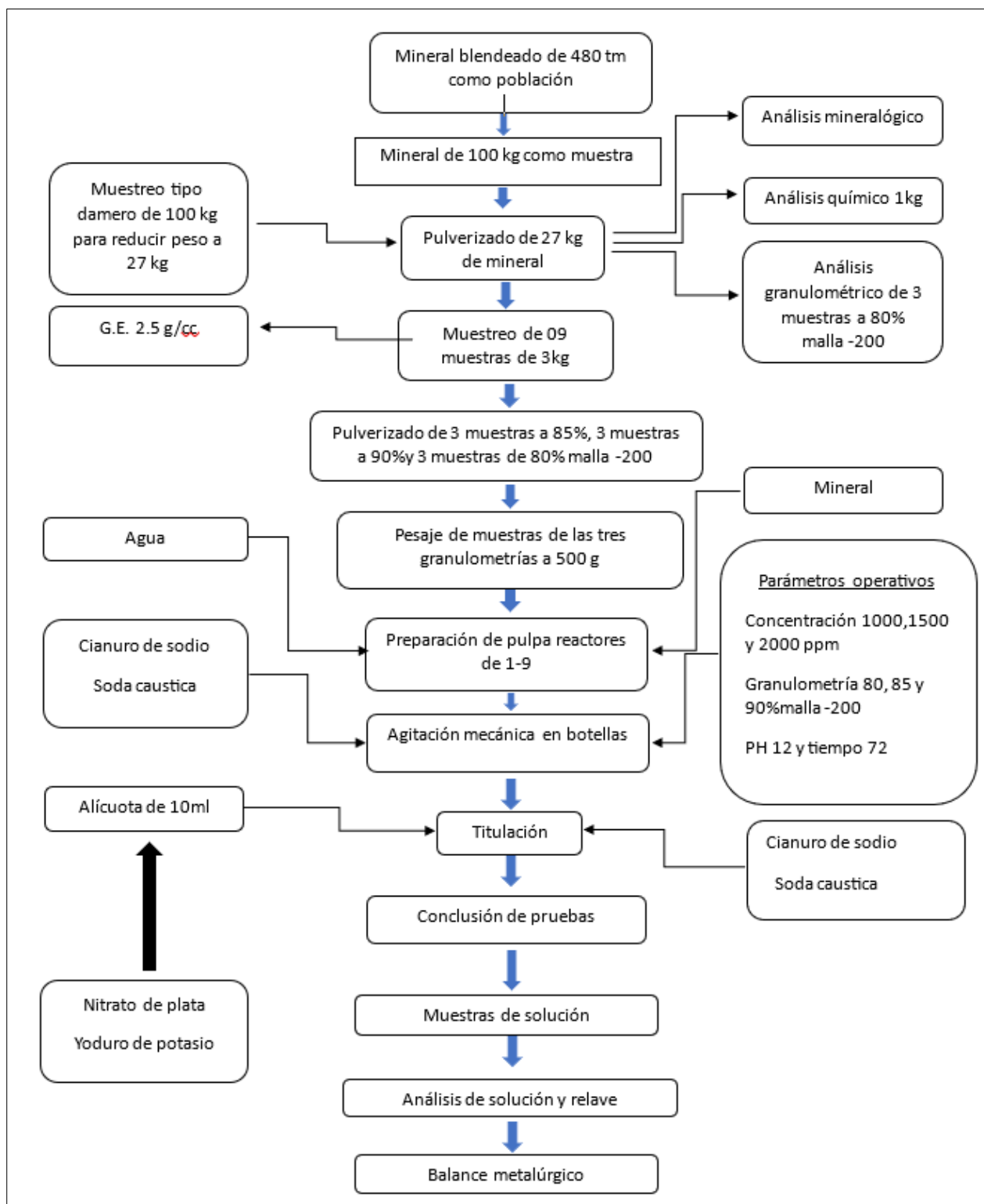
##### ***4.17.1 Preparación Mecánica del Mineral***

El mineral aurífero chancado de -1/2 pulgada, blendeado de 480 Tms preparado en la cancha de finos de la planta de beneficios Datelli 6- minera FIDAMI S.A., se tomó una porción aproximada de 100 kg, del blending de 480 Tms que tiene un tamaño máximo de -1/2 pulgada. La reducción de tamaño y la liberación de la mena se ejecuta mediante las siguientes etapas:

- Homogenización del mineral blendeado de 480 tms para su posterior estirado y muestreo por puntos. “Obteniendo una muestra representativa de 100 kg para la etapa posterior y de los 100 kg se sacó una muestra representativa de 1kg para análisis químico con el fin de obtener la ley de cabeza del mineral importante para contrastar los resultados” (Stanley, 2000)..
- Una vez obtenida la muestra de 100 kg se realiza como cuarteo, para reducir el volumen del mineral a 27 kg, luego se procede con el secado del mineral en una cocina industrial antes de que entre a los molinos polveadores, se seca el mineral para que no se pegue a las paredes de los molinos y no contamine los lotes que están stock.

**Figura 15**

*Diagrama de flujo del procedimiento experimental.*



Nota: Elaboración propia

- Seguidamente se procede con la etapa de molienda de los 27 kg de mineral, utilizando los molinos polveadores de capacidad de 30 kg, llegando a una granulometría de 80% malla -200, en 1 hora de molienda, este dato de 1 hora es estándar en la planta de beneficios Dattelli 6 - minera FIDAMI S.A.
- Una vez pasado la hora se procede con la descarga del mineral molido por 5 min, hasta que descargue por completo el mineral.
- Por último, se lleva el mineral descargado en saco para el área de preparación de muestras para realizar el cuarteo utilizando el método damero o puntos. Obteniendo 09 muestra de 3 kg cada uno para realizar las pruebas metalúrgicas.

#### ***4.17.2 Tiempo de Molienda de Mineral***

Se denomina al tiempo de permanencia del material aurífero en el interior del molino, con el fin de alcanzar una granulometría óptima propuesto que permita llegar al mayor grado de liberación para la cianuración por agitación.

Se trabajó con tres granulometrías diferentes, (80%, 85% y 90%) a una malla de -200, en la primera etapa de molienda ya se obtuvo 09 muestras de 3 kg a 80 % malla -200, por ende, la primera granulometría ya no requiere molienda.

Para llegar a 85% y 90% malla -200 se utilizó pulverizador de anillos, el tiempo fue de 45 segundos para 85% y 1 minuto para 90%, con eso se inicia las pruebas metalúrgicas en el laboratorio de la planta de beneficios Dattelli 6-minera FIDAMI S.A.

### 4.17.3 Parámetros Operativos para Cianuración

Para iniciar con las pruebas de cianuración debemos de tomar en cuenta los parámetros operativos con los cuales se desea trabajar las muestras en cianuración, ver tabla 4.

**Tabla 4**

*Parámetros operativos para el proceso*

<b>Parámetros Operativos</b>
➤ Granulometría: 80%, 85% y 90% - 200 mallas
➤ Concentración de cianuro de sodio 1000,1500 y 2000 ppm
➤ pH:10.5 – 11.
➤ Velocidad de agitación: 45 rpm
➤ % de sólidos: 32.5
➤ Tiempo de agitación (horas): 72
➤ Densidad de pulpa (g/l) 1250 – 1300.
➤ Gravedad específica 2.5

Nota: Elaboración propia con aporte de (Vargas, 1990).

Teniendo las combinaciones de las variables a tratar en este tema de investigación, las cuales se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Variables operativas para la prueba de cianuración (tiempo, concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral)*

<b>Pruebas</b>	<b>Tiempo (H)</b>	<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Granulometría (% malla -200)</b>
PM-1	72	1000	80 %
PM-2	72	1500	80%
PM-3	72	2000	80%
PM-1	72	1000	85 %
PM-2	72	1500	85%
PM-3	72	2000	85%
PM-1	72	1000	90 %
PM-2	72	1500	90%
PM-3	72	2000	90%

Nota: Elaboración propia

#### ***4.17.4 Peso de Mineral y Volumen de Agua en Pulpa***

Para realizar las pruebas metalúrgicas, se trabajó con pesos fijos para las nueve pruebas metalúrgicas, las cuales son:

- Peso del mineral 500gr
- Volumen del agua 1 litro
- Volumen del reactor 2000ml al 100%
- Volumen útil 1600 ml al 80 %

Cabe mencionar que estos mismos datos se usaron para las 09 pruebas metalúrgicas, solo se varió la concentración de cianuro de sodio y la granulometría del mineral.

- Poner 500 gr del mineral molido de la etapa de molienda que tiene un tamaño de 80%, malla - 200, en el reactor de agitación(botella) y agregar 1 litros de agua, es decir dilución de 2/1 (L/S).
- Encontrar el pH natural de la pulpa (mineral más agua) moviendo por 6 minutos.
- Ajustar la alcalinidad de pulpa, añadiendo soda caustica para lograr un pH de 11. Anotando lo añadido.
- Comenzar la agitación de la pulpa durante un periodo tiempo de 8 minutos, hasta lograr que el pH se estabilice a un pH 11, registrando como valor de trabajo del proceso de cianuración.
- Agregar la cantidad de cianuro de sodio necesaria. La concentración de NaCN es 1000 ppm inicialmente.
- “Realizar controles periódicos de la concentración de cianuro de sodio, y pH, adicionando la cantidad necesaria de cianuro de sodio, para que la concentración inicial permanezca constante. Adicionar soda caustica si hay deficiencia, evitando que el pH baje de 11” (Poblete Palma, 2019).

- Extraer una muestra de solución de 10 ml de pulpa para titular y determinar el consumo de cianuro, este control se realiza en tiempo de 4 , 8 , 12 , 24 , 36 y 48 horas, hasta llegar a 72 horas como tiempo máximo.
- “Una vez terminada la prueba de 72 horas de agitación, filtrar la pulpa al recipiente para tener la torta y la solución; extraer la solución, determinar el volumen y tomar una muestra para análisis químico por oro” (Poblete Palma, 2019).
- “Una vez concluido se lava la torta de mineral contenida con cianuro, para luego secar en una estufa, enfriar, luego se homogeniza, se cuartea y se toma una muestra para análisis químico, por ensayo a fuego. realizar el mismo paso para cada prueba de cianuración. En este tema de investigación solo se está considerando la variación de concentración de cianuro de sodio a 1000 ppm, 1500ppm, 2000ppm y granulometría del mineral 80%, 85%,90% malla -200, los demás datos son fijos para las 09 pruebas metalúrgicas realizadas” (Poblete Palma, 2019).

#### ***4.17.5 Cálculo y Preparación de Reactivos***

##### **a) Cálculo de la Soda Cáustica Inicial**

Iniciamos a calcular la soda cáustica inicial para la muestra número 1 donde es necesario seguir los siguientes pasos:

- Al inicio se agarra una probeta para aforar 100 ml de agua.
- Pesar una muestra representativa de 50 g del mineral molido.
- Seguidamente poner en el reactor (botella), el agua y el material ya pesado, y ponerlos en la banca de rodillos y hacerlo girar el reactor por 10 minutos para que se homogenice la pulpa.
- Medir el pH y anotar el inicial.

Añadir la soda cáustica a la pulpa poco a poco hasta lograr un pH adecuado para nuestro proceso de investigación que debe tener pH 11. Para el peso del mineral molido, así como se presenta en la siguiente relación:

0.2 g de soda cáustica..... 50 g de mineral molido

x (g) de soda caustica ..... (g) de mineral en la prueba

y preparamos para 500 g de mineral molido a malla -200:

0.2 g de soda caustica..... 50 g de mineral molido

x (g) de soda caustica ..... 500 g de mineral en la prueba

$$\text{Soda caustica inicial} = \frac{0.2 \text{ g} \times 500 \text{ g}}{50 \text{ g}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Soda caustica inicial} = 2 \text{ g}$$

Entonces según el resultado para 500 g de la muestra de mineral molido necesitamos adicionar 2 g de soda caustica a la pulpa para el proceso de cianuración, para cada muestra se ejecuta el mismo cálculo matemático, como el peso del mineral es 500g para cada uno de las 09 muestra la cantidad de soda caustica inicial es el mismo para las 09 pruebas metalúrgicas.

### **b) Cálculo del Reactivo Cianuro de Sodio**

Teniendo las concentraciones fijas de cianuro de sodio para el tema de investigación que son: 1000ppm, 1500ppm, 2000ppm se procede a realizar el cálculo para añadir el reactivo cianuro de sodio con la presente relación matemática: se realiza el siguiente calculo para la primera concentración de 1000 ppm

$$1\text{ppm} \dots\dots\dots 0.001 \text{ g/l}$$

1000ppm.....X g. NaCN-

$$\text{Cianuro de sodio inicial} = \frac{1000 \text{ ppm} \times 0.001 \text{ g/l}}{1 \text{ ppm}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Cianuro de sodio inicial} = 1 \text{ g/l}$$

Lo cual nos indica que requerimos de 1 g/l de cianuro de sodio para iniciar con el proceso de cianuración con la muestra N°1, dicho cálculo se ejecuta de la misma forma para cada muestra, se observa en la tabla 6, la cantidad inicial para soda caustica y reactivo lixiviante cianuro de sodio que requerimos para cada prueba a ejecutar:

**Tabla 6**

*Componentes iniciales para las pruebas de cianuración*

Pruebas	Peso del mineral (g)	Volumen del agua (Lt)	Peso soda cáustica (g)	Peso cianuro de sodio (g)	Granulometría (%)	Concentración de NaCN (ppm)
PM-1	500	1	2	1	80	1000
PM-2	500	1	2	1	85	1000
PM-3	500	1	2	1	90	1000
PM-1	500	1	2	1.5	80	1500
PM-2	500	1	2	1.5	85	1500
PM-3	500	1	2	1.5	90	1500
PM-1	500	1	2	2	80	2000
PM-2	500	1	2	2	85	2000
PM-3	500	1	2	2	90	2000

Nota: Elaboración propia

#### **4.17.6 Reposición de Reactivos**

##### **a) Soda Caustica:**

Al inicio se ejecuta la medición del pH con el (pH metro), este paso se ejecuta según el tiempo establecido, por lo tanto, para la reposición de soda caustica consumida en el proceso de cianuración se ejecuta la presente ecuación matemática:



(g) de soda caustica inicial..... 11 pH

x (g) de soda caustica reposición ..... X pH (final lectura) x(g) de

$$\text{soda caustica reposición} = \frac{(\text{g}) \text{ de soda caustica } \times (\text{X}) \text{ pH (final lectura)}}{11 \text{ pH}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Para lo cual, se toman los pesos utilizados al inicio de la soda caustica para lograr un pH 11, tomando el dato de la disminución del pH, lo relacionamos y obtenemos el resultado de la soda caustica que se debe añadir a la prueba este paso se ejecuta según el periodo de tiempo determinado para cada muestra. Pero en este caso no hubo ninguna reposición de soda caustica debido a que el pH de todas las pruebas realizadas se mantenían en pH 11 durante las prueba metalúrgica.

#### **b) Cianuro de Sodio**

Para reponer el reactivo debemos tomar en cuenta la secuencia que se realiza es de cuidado, donde se debe de seguir los procedimientos de manera rígida para no obtener falsos datos y poder cambiar dichos datos en las ecuaciones matemáticas utilizadas, en seguida, se indican los procedimientos a seguir:

- Preparar una solución de nitrato de plata de 4.33 g en 1000 ml de agua destilada que es nuestro titulante.
- Preparar una solución de yoduro de potasio al 5 % que es el indicador, se diluye 5 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua destilada.
- Sacar una alícuota de 10 ml del reactor para titular.
- Añadir 3 gotas de yoduro de potasio.

- Iniciar aforando la bureta anotando el volumen inicial soltar gota a gota hasta que la solución cambie de color blanco lechoso.
- Anotar el gasto del titulante y realizar los cálculos matemáticos.
- El factor de corrección es de (250)

Gasto de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ )  $V_g = V_o - V_f$

$$\text{Rp. de NaCN} = \frac{C_1 - (V_g \times f)}{1000} \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

V: volumen alícuota es de 10 ml

Vg: volumen gastado

F: factor de corrección para 10 ml de muestra es de 250

C1: concentración inicial de la prueba

Rp: reposición de cianuro de sodio

Para realizar el control de consumo de cianuro de sodio se sacó muestra cada 4 horas durante un día y el resto de los controles cada 12 horas hasta completar el tiempo de la prueba que es de 72 horas de tiempo de residencia de las pruebas metalúrgicas realizadas.

#### ***4.17.7 Variables de Cianuración***

En la tabla 7 se muestra los rangos de las variables de estudio, las cuales tendrán diferentes combinaciones según el número de muestra y son la base del análisis estadístico.

**Tabla 7***Variables del proceso de cianuración*

<b>Variables</b>	<b>Niveles</b>		
	<b>Bajo</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Alto</b>
Concentración de cianuro de sodio (ppm)	1000	1500	2000
Granulometría del mineral (% malla -200)	80	85	90

Nota: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 5.1 Resultados del Reporte del Análisis Químico de las Soluciones PLS

“Obtenemos como resultados de las muestras enviadas para su análisis químico de las 09 pruebas de cianuración ejecutadas con distintos parámetros de cianuración, según el diseño experimental propuesto, que determino la extracción en función de miligramos por litro, para luego ser operados matemáticamente para ejecutar un balance metalúrgico, donde se determinara las respuestas del tema de investigación, los datos del laboratorio son los siguientes” (Misari, 2010, p. 15) ver tabla 8.

**Tabla 8**

*Reporte de contenido de fino y porcentaje de extracción de oro*

Pruebas	Granulometría (%) malla-200	Concentración de cianuro de sodio (ppm)	Contenido de fino en solución rica (mg)	Contenido de fino en relave (mg)	Extracción de oro (%)
PM-1	80	1000	7.299	1.214	85.74
PM-2	80	1500	8.021	1.055	88.38
PM-3	80	2000	8.521	0.797	91.45
PM-1	85	1000	6.945	0.596	92.10
PM-2	85	1500	8.959	0.346	96.29
PM-3	85	2000	8.989	0.342	96.33
PM-1	90	1000	7.559	0.368	95.36
PM-2	90	1500	8.575	0.345	96.14
PM-3	90	2000	8.768	0.343	96.24

Nota: Elaboración propia

#### 5.2 Balance Metalúrgico de Pruebas de Cianuración

Es la base fundamental para determinar el porcentaje de extracción de las pruebas de cianuración ejecutadas, estos datos serán calculados matemáticamente utilizando los resultados de los análisis químicos emitidos por el laboratorio siguiendo el procedimiento:

El siguiente balance metalúrgico se hizo con 72 horas de tiempo de residencia para las 09 pruebas metalúrgicas.

### 5.2.1 Balance Metalúrgico para la Muestra 1

#### a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 1.

$$\text{Cabeza: } W \text{ g} \times \text{Ley de cabeza} \frac{g}{tm} \times \frac{1 Tm}{1000000 g} \times \frac{1000 mg}{1 g} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Pls: } Lt \times \text{Ley de sol. Rica} \frac{g}{m3} \times \frac{1 m3}{1000 Lt} \times \frac{1000 mg}{1 g} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Ripios: } W \text{ g} \times \text{ley de relave} \frac{g}{tm} \times \frac{1 Tm}{1000000 g} \times \frac{1000 mg}{1 g} \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

$$\text{Cabeza calculada: } \text{mg de Au en Pls} + \text{mg de Au en Relave} \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{\text{Au Pls. mg}}{\text{cab.calc. mg}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W: Peso del mineral utilizado en la prueba

Lt: Litros de agua utilizado en la prueba

Pls: solución rica

Para todos los cálculos se utilizó las ecuaciones principales mencionados líneas arriba.

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{g}{tm} \times \frac{1 Tm}{1000000 g} \times \frac{1000 mg}{1 g} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 7.299 \frac{g}{m3} \times \frac{1 m3}{1000 Lt} \times \frac{1000 mg}{1 g} = 7.299 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 2.428 \frac{g}{tm} \times \frac{1 Tm}{1000000 g} \times \frac{1000 mg}{1 g} = 1.214 \text{ mg}$$

Cabeza calculada:  $7.299 \text{ mg} + 1.214 \text{ mg} = 8.513 \text{ mg}$

**b) % de extracción para muestra 1**

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{7.299 \text{ mg}}{8.513 \text{ mg}} \times 100 = 85.74 \%$$

**Tabla 9**

*Balance metalúrgico de la prueba 1*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino mg	Extracción de Au %	[NaCN] (ppm)	(% malla - 200)
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>				
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	1000	80
Sol. Rica	-	1000	-	7.299	7.299	85.74		
Relave	0.5	-	2.428	-	1.214	14.26		
Cabez. Calc.	0.5	-	17.026	-	8.513			

% recuperación ensayada Au	84.39
----------------------------	-------

% recuperación calculada Au	85.74
-----------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

**5.2.2 Balance Metalúrgico para la Muestra 2**

**a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 2.**

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.021 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.021 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 2.109 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.055 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 8.021 \text{ mg} + 1.055 \text{ mg} = 9.076 \text{ mg}$$

### b) % de Extracción para Muestra 2

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{8.021 \text{ mg}}{9.076 \text{ mg}} \times 100 = 88.38 \%$$

**Tabla 10**

*Balance metalúrgico de la prueba 2*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino mg	Extracción de Au %	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	gAu/ m <sup>3</sup>				
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	1500	80
Sol. Rica	-	1000	-	8.021	8.021	88.38		
Relave	0.5	-	2.109	-	1.055	11.62		
Cabez. Calc.	0.5		18.151		9.076			

% recuperación ensayada Au	86.44
----------------------------------	-------

% recuperación calculada Au	88.38
-----------------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

### 5.2.3 Balance Metalúrgico para la Muestra 3

#### a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 3.

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.521 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.521 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 1.593 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.797 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 8.521 \text{ mg} + 0.797 \text{ mg} = 9.318 \text{ mg}$$

### b) % de Extracción para Muestra 3

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{8.521 \text{ mg}}{9.318 \text{ mg}} \times 100 = 91.45 \%$$

**Tabla 11**

*Balance metalúrgico de la prueba 3*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino mg	Extracción de Au %	[NaCN] (ppm)	% malla (-200)
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>				
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	2000	80
Sol. Rica	-	1000	-	8.521	8.521	91.45		
Relave	0.5	-	1.593	-	0.797	8.55		
Cabez. Calc.	0.5	-	18.635	-	9.318			

% recuperación ensayada Au	89.76
----------------------------------	-------

% recuperación calculada Au	91.45
-----------------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

### 5.2.4 Balance Metalúrgico para la Muestra 4

#### a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 4.

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 6.945 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 6.945 \text{ mg}$$



$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 1.191 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.596 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 6.945 \text{ mg} + 0.596 \text{ mg} = 7.541 \text{ mg}$$

### b) % de Extracción para Muestra 4

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{6.945 \text{ mg}}{7.541 \text{ mg}} \times 100 = 92.10 \%$$

**Tabla 12**

*Balance metalúrgico de la prueba 4*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino	Extracción de Au	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/TM	g Au/m <sup>3</sup>	Mg	%		
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	1000	85
Sol. Rica	-	1000	-	6.945	6.945	92.10		
Relave	0.5	-	1.191	-	0.596	7.90		
Cabez. Calc.	0.5		15.081		7.541			

% recuperación ensayada Au	92.34
----------------------------	-------

% recuperación calculada Au	92.10
-----------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

### 5.2.5 Balance Metalúrgico para la Muestra 5

#### a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 5.

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.959 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.959 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 0.691 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.346 \text{ mg}$$

Cabeza calculada:  $8.959 \text{ mg} + 0.346 \text{ mg} = 9.305 \text{ mg}$

### b) % de Extracción para Muestra 5

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{8.959 \text{ mg}}{9.309 \text{ mg}} \times 100 = 96.29 \%$$

**Tabla 13**

*Balance metalúrgico de la prueba 5*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino mg	Extracción de Au %	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>				
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	1500	85
Sol. Rica	-	1000	-	8.959	8.959	96.29		
Relave	0.5	-	0.691	-	0.346	3.71		
Cabez. calc.	0.5	-	18.609	-	9.305			

% recuperación ensayada Au	95.56
----------------------------------	-------

% recuperación calculada Au	96.29
-----------------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

### 5.2.6 Balance Metalúrgico para la Muestra 6

#### a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 6.

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.989 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.989 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 0.684 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.342 \text{ mg}$$

Cabeza calculada:  $8.989 \text{ mg} + 0.342 \text{ mg} = 9.331 \text{ mg}$

**b) % de Extracción para Muestra 6**

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{8.989\text{mg}}{9.331\text{mg}} \times 100 = 96.33 \%$$

**Tabla 14**

*Balance metalúrgico de la prueba 6*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino mg	Extracción de Au %	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	gr Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>				
Cabeza	0.5	—	15.554	—	7.777	100.0	2000	85
Sol. Rica	-	1000	-	8.989	8.989	96.33		
Relave	0.5	-	0.684	-	0.342	3.67		
Cabez. Calc.	0.5		18.662		9.331			

% recuperación ensayada Au	95.60
----------------------------------	-------

% recuperación calculada Au	96.33
-----------------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

**5.2.7 Balance Metalúrgico para la Muestra 7**

**a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 7.**

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 7.559 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.559 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 0.735 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.368 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 7.559 \text{ mg} + 0.368 \text{ mg} = 7.927 \text{ mg}$$

**b) % de Extracción para Muestra 7**

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{7.559\text{mg}}{7.927\text{mg}} \times 100 = 95.36 \%$$

**Tabla 15**

*Balance metalúrgico de la prueba 7*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino	Extracción de Au	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>	mg	%		
Cabeza	0.5	.	15.554	.	7.777	100.0	1000	90
Sol. rica	-	1000	-	7.559	7.559	95.36		
Relave	0.5	-	0.735	-	0.368	4.64		
Cabez. calc.	0.5		15.853		7.927			

% recuperación ensayada Au	95.27
----------------------------	-------

% recuperación calculada Au	95.36
-----------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

**5.2.8 Balance Metalúrgico para la Muestra 8**

**a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 8.**

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.575 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.575 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 0.689 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.345 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 8.575 \text{ mg} + 0.345 \text{ mg} = 8.920 \text{ mg}$$

**b) % de Extracción para Muestra 8**

$$\text{Porcentaje de extracción} = \frac{8.575 \text{ mg}}{8.920 \text{ mg}} \times 100 = 96.14 \%$$

**Tabla 16***Balance metalúrgico de la prueba 8*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont. fino	Extracción de Au	[NaCN] (ppm)	% malla -200
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	gAu/m <sup>3</sup>	mg	%		
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	1500	90
Sol. rica	-	1000	-	8.575	8.575	96.14		
Relave	0.5	-	0.689	-	0.345	3.86		
Cabez. calc.	0.5		17.839		8.920			

% recuperación ensayada Au	95.57
----------------------------	-------

% recuperación calculada Au	96.14
-----------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

**5.2.9 Balance Metalúrgico para la Muestra 9****a) Cálculo del Contenido Metálico para la Muestra 9.**

$$\text{Cabeza: } 500 \text{ g} \times 15.554 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 7.777 \text{ mg}$$

$$\text{Pls: } 1 \text{ Lt} \times 8.768 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8.768 \text{ mg}$$

$$\text{Ripios: } 500 \text{ g} \times 0.685 \frac{\text{g}}{\text{tm}} \times \frac{1 \text{ Tm}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.343 \text{ mg}$$

$$\text{Cabeza calculada: } 8.768 \text{ mg} + 0.343 \text{ mg} = 9.111 \text{ mg}$$

**b) % de Extracción para Muestra 9**

$$\text{porcentaje de extracción} = \frac{8.768 \text{ mg}}{9.111 \text{ mg}} \times 100 = 96.24 \%$$

**Tabla 17***Balance metalúrgico de la prueba 9*

Descripción	Cantidad		Ley		Cont.	Extracción	[NaCN]	% malla
	Peso (kg)	Vol. (ml)	g Au/Tm	g Au/m <sup>3</sup>	fino mg	de Au %	(ppm)	-200
Cabeza	0.5	-	15.554	-	7.777	100.0	2000	90
Sol. rica	-	1000	-	8.768	8.768	96.24		
Relave	0.5	-	0.685	-	0.343	3.76		
Cabez. calc.	0.5		18.221		9.111			

% recuperación ensayada Au	95.60	% Recuperación calculada Au	96.24
----------------------------------	-------	-----------------------------------	-------

Nota: Elaboración propia

En la tabla 18 se indica los resultados de los balances metalúrgicos, el porcentaje de extracción de las 9 muestras, donde podemos ver los porcentajes de extracción de cada una de ellas.

**Tabla 18***Resumen del porcentaje de extracción a concentraciones y granulometrías diferentes*

Número de muestras	Pruebas	Granulometría (%) malla-200	Concentración de cianuro de sodio (ppm)	Extracción de oro (%)
M1	PM-1	80	1000	85.74
M2	PM-2	80	1500	88.38
M3	PM-3	80	2000	91.45
M4	PM-1	85	1000	92.10
M5	PM-2	85	1500	96.29
M6	PM-3	85	2000	96.33
M7	PM-1	90	1000	95.36
M8	PM-2	90	1500	96.14
M9	PM-3	90	2000	96.24

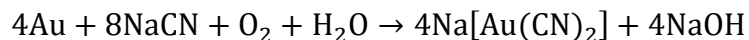
Nota: Elaboración propia

**5.3 Cinética de Lixiviación.**

El modelo matemático para la cinética del proceso de cianuración, se determina según el modelo núcleo no reaccionado y desde el punto de vista fenomenológico del mineral (oro nativo), que esta liberado presentando una superficie limpia y de tamaños charpa, oro fino y ultrafina; se supondrá que son pequeñas esferas (superficie esférica), que por la reacción química redox el tamaño de la esfera se ira reduciendo y que la etapa mas lenta de la cinética es la reacción química en la interfase solido – liquido en la superficie del Oro siendo esta etapa de la cinética la que gobierna, por tal motivo el modelo matemático FOPOQUIMICO será la que utilizaremos para determinar la cinética del proceso de cianuración mediante el método carbón en lixiviación del mineral aurífero de este trabajo. Este modelo es predictivo.

A continuación, se muestra los pasos a seguir para el desarrollo del modelo.

- Reacción química



**Tabla 19:** *Condiciones Operativas.*

Peso de muestra (g)	Porcentaje de solidos (%)	pH	Ley de cabeza del mineral (g/tm)	Peso específico (g/cc)
500	32.5	11	15.554	2.5

Nota: Elaboración propia

- Preparación de la Pulpa

Del dato porcentaje de solidos igual a 32.5%, concluimos que: 32.5 gramos es el peso del salido (mineral), y el 67.5 litros es liquido (solución lixivante), sumando hacen el 100% correspondiente a la pulpa (solido + liquido), con estos datos calculamos el volumen de la solución lixivaste. Como sigue.

- Determinación del volumen de la solución lixivante

$$\text{Sol. lixivante} = \frac{500 \text{ g}}{32.5 \text{ g}} \times 67.5 \text{ cc}$$

$$\text{Sol. lixivante} = 1038.4615 \text{ cc} = 1.0385 \text{ l}$$

- Determinación del contenido metálico del mineral de cabeza.

$$\text{cont. metalico} = \text{peso} \times \text{ley}$$

$$\text{Cont. Metalico} = \frac{500 \text{ g} \times 15.554 \text{ g/tm}}{1000} = 7.777 \text{ mg de Oro}$$

- Data de la cinética



**Tabla 20: Data de la Cinética**

Muestra	Tiempo	[Au]: mg/L	Cont. Metálico (mg)	E (%)	$\alpha$	$1-\alpha$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$	K
M0	0	0	0	0	0	1	0	
M1	1	1.4	1.4538	18.6942	0.1869	0.8131	0.0667	0.0333
M2	2	2.2	2.2846	29.3766	0.2938	0.7062	0.1095	0.0274
M3	3	3.2	3.3231	42.7295	0.4273	0.5727	0.1696	0.0212
M4	4	4.2	4.3615	56.0825	0.5608	0.4392	0.2399	0.0150
M5	5	5.6	5.8154	74.7767	0.7478	0.2522	0.3669	0.0115
M6	6	7.1	7.3731	94.8062	0.9481	0.0519	0.6269	0.0098
M7	7	7.22	7.4977	96.4085	0.9641	0.0359	0.6701	0.0093

Nota: Elaboración propia

- Determinamos los contenidos metálicos para cada muestra

$$\text{Cont. Metalico M1} = 1.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 1.4538\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M2} = 2.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 2.2846\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M3} = 3.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 3.3231\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M4} = 4.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 4.3615\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M5} = 5.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 5.8154\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M6} = 7.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 7.3731\text{mg}$$

$$\text{Cont. Metalico M7} = 7.22 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1.03846\text{L} = 7.4977\text{mg}$$

- Determinación del % de extracción para cada muestra (E).

$$\%E \text{ para M1} = \frac{1.4538\text{mg}}{7.777\text{mg}} \times 100 = 18.6942\%$$

$$\%E \text{ para M2} = \frac{2.2846\text{mg}}{7.777\text{mg}} \times 100 = 29.3766\%$$

$$\%E \text{ para M3} = \frac{3.3231\text{mg}}{7.777\text{mg}} \times 100 = 42.7295\%$$

$$\%E \text{ para M4} = \frac{4.3615\text{mg}}{7.777\text{mg}} \times 100 = 56.0825\%$$

$$\%E \text{ para } M5 = \frac{5.8154mg}{7.777mg} \times 100 = 74.7767\%$$

$$\%E \text{ para } M6 = \frac{7.3731mg}{7.777mg} \times 100 = 94.8062\%$$

$$\%E \text{ para } M7 = \frac{7.4977mg}{7.777mg} \times 100 = 96.4085\%$$

- Determinamos ( $\alpha$ )

$$\alpha \text{ para } M1 = \frac{18.6942}{100} = 0.1869$$

$$\alpha \text{ para } M2 = \frac{29.3766}{100} = 0.2938$$

$$\alpha \text{ para } M3 = \frac{42.7295}{100} = 0.4273$$

$$\alpha \text{ para } M4 = \frac{56.0825}{100} = 0.5608$$

$$\alpha \text{ para } M5 = \frac{74.7767}{100} = 0.7478$$

$$\alpha \text{ para } M6 = \frac{94.8062}{100} = 0.9481$$

$$\alpha \text{ para } M7 = \frac{96.4085}{100} = 0.9481$$

- Determinamos el valor de K

$$K \text{ para } M1 = \frac{0.0667}{2} = 0.0333$$

$$K \text{ para } M2 = \frac{0.1096}{4} = 0.0274$$

$$K \text{ para } M3 = \frac{0.1696}{8} = 0.0212$$

$$K \text{ para } M4 = \frac{0.2399}{16} = 0.0150$$

$$K \text{ para } M5 = \frac{0.3682}{32} = 0.0115$$

$$K \text{ para } M6 = \frac{0.6269}{64} = 0.0098$$

$$K \text{ para } M7 = \frac{0.6701}{72} = 0.0093$$

- Determinamos el tiempo promedio

$$t \text{ promedio} = 2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64 + 72 = 198$$

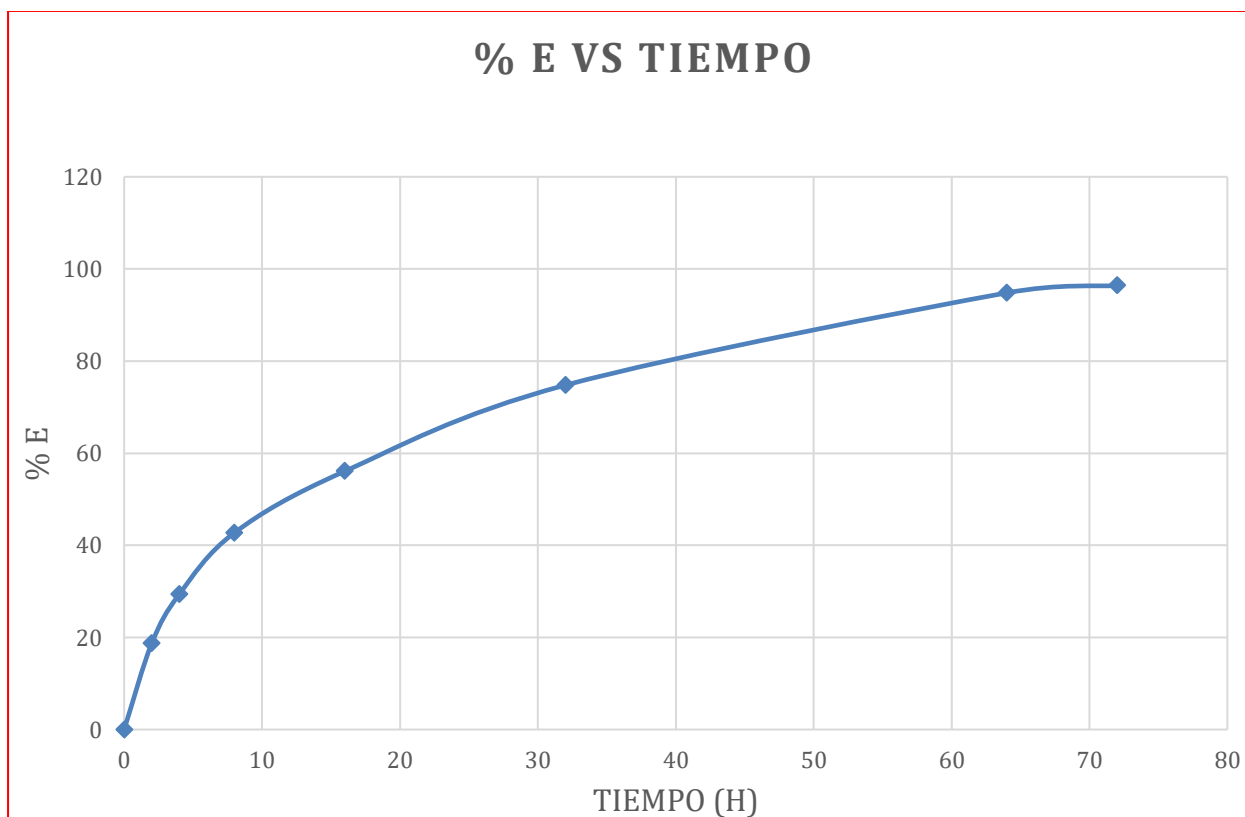
- Determinación de K Ponderada

$$K \text{ ponderada} = (2 \times 0.0333 + 4 \times 0.0274 + 8 \times 0.0212 + 16 \times 0.0150 + 32 \times 0.0115 + 64 \times 0.0098 + 72 \times 0.0093) / 198$$

$$K \text{ ponderada} = 0.0114$$

**Figura 16**

Grafica de dispersión % de extracción de Au Vs Tiempo de Lixiviación



Nota: Elaboración Propia

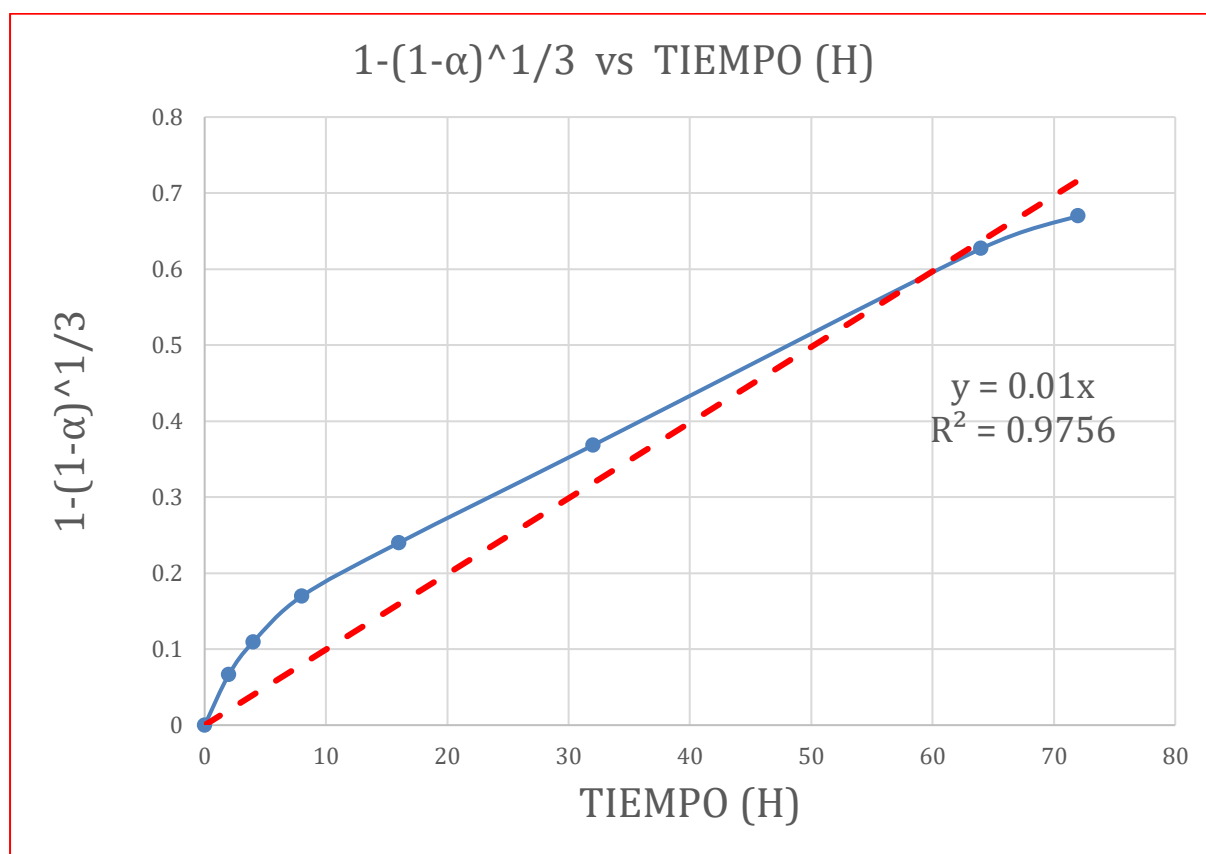
“En la figura 16, se nota la curva de lixiviación del porcentaje de extracción de Oro según tiempos determinados, se puede apreciar que en los primeros 8 horas le extracción del oro es

rápida, pasadas las 16 horas la extracción es más lenta, pasadas las 30 horas la extracción ya no varía, debido a que, la pulpa tiene bajo contenido de oro, la mayor parte del oro ya ha sido extraído” (Matthew, 1997). También cabe mencionar mientras el tiempo de residencia llega a las 70 horas el porcentaje de extracción se va haciendo constante, por ende, es importante el análisis de la cinética para ver la velocidad de disolución del oro.

“Para determinar el tiempo de residencia estimado para porcentajes de extracción mayores a 96% de oro extraído, se realizó el ajuste lineal de la gráfica anterior para obtener la ecuación matemática lineal de la forma  $Y = mx$ ” (Matthew, 1997), como se muestra en la figura 17.

### Figura 17

Gráfica tiempo de residencia VS % de extracción de oro



Nota: Elaboración propia

Pendiente = K ponderada            0.01

$R^2$                                     0.941

Asemejando la ecuación lineal y el valor obtenido en el ajuste lineal tenemos:

$Y = mx \dots \dots \dots$  Ecuación 10

$Y = 0.01x$

- Resultado del modelo matemático para el proceso de cianuración

$1-(1-\alpha)^{1/3} = kt \dots \dots \dots$  Ecuación 11

$k = 0.0114$

$1-(1-\alpha)^{1/3} = 0.0114 t \dots \dots \dots$  Ecuación 12

#### 5.4 Diseño Experimental para el Proceso CIL

Se ejecutó un diseño factorial con el objetivo de obtener el efecto de dos variables: granulometría del mineral y concentración de cianuro. Estas variables fueron aplicadas en valores de varios niveles. “Para la construcción del modelo matemático se requiere de una herramienta poderosa, como son los diseños experimentales, las que constituyen una estrategia más adecuada” (Molina Valdez, 2021). Para:

- Lograr modelos matemáticos, con una cantidad mínima de experimentos.
- Reducir el tiempo de experimentación y su correspondiente análisis estadístico.
- Mejorar el rendimiento del proceso de extracción del oro, de una manera robusta.
- Evaluar la experimentación considerando tolerancias o ajustes de las variables.

#### **5.4.1 Tratamiento de las Pruebas Experimentales**

Sen ha realizado el diseño factorial 3x3 con 9 tratamientos y 18 corridas dispuestas en dos replicas, considerando dos factores. “Las variables tratadas fueron la granulometría como factor A, concentración de cianuro como factor B, cabe mencionar que otras variables operativas se mantuvieron constantes”. (Lara Velásquez, 2021).

El análisis experimental se rigió con 95% de nivel de confianza, “Para procesar los datos experimentales se realizaron con dos softwares que fueron Minitab 19 y Excel. Donde se extrajo todos los resultados finales, de esta manera se pudo analizar la interacción de las variables independientes” (Molina Valdez, 2021).

Con el análisis estadístico se busca contrastar y verificar las hipótesis planteadas y sometidas mediante pruebas experimentales, para encontrar determinados resultados que fueron validados sobre los efectos de interés, en este caso el porcentaje de extracción.

Con las hipótesis de investigación, se formuló la hipótesis estadística, para analizar los datos recogidos en el laboratorio de lixiviación y posteriormente encontrar una combinación de niveles donde la recuperación del mineral de oro sea máxima,

#### **5.4.2 Modelo Estadístico Experimental**

En un diseño 3x3, con 9 experimentos y dos replicas, presenta una interacción de segundo orden, AB que será evaluada, entonces este diseño factorial es necesaria para estimar la significancia de A, B y AB. El modelo estadístico utilizado es lineal para posibilitar el análisis de datos experimentales, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = f(A, B, AB) + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

A, B = Factores o variables del experimento (granulometría, concentración de cianuro), con tres niveles cada uno.

AB = Factor de interacción dobles

$\epsilon_{ijk}$  = Error aleatorio  $ijk$ -ésimo (agrupa a los demás factores no controlados en el experimento).

$3 \times 3 = 9$  tratamientos, con dos replicas

### 5.4.3 Construcción de la Matriz de Diseño

“La matriz de diseño es la relación que define el valor que deben tomar los factores en cada uno de los experimentos a realizar” (CourseHero, 2023). En la tabla 20, se indica las variables independientes y son aquellas cuyo valor no dependen de otras variables. Las variables independientes, están con sus unidades y sus correspondientes niveles, y se representa de la forma siguiente:

$$Y = f(X_1 + X_2 + X_3)$$

**Tabla 20**

*Factores y niveles codificados de las variables independientes*

Variable	Unidad	Niveles		
		(-)	0	(+)
A = Granulometría malla -200	%	80	85	90
B = Concentración de NaCN	ppm	1000	1500	200

Nota: Elaboración propia

“La variable respuesta (criterio de optimización) es el porcentaje de recuperación de oro en solución, la tabla 21 muestra la planificación del diseño experimental” (Molina Valdez, 2021), el cual refleja la relación de condiciones experimentales para realizar el diseño 3x3, nótese que no falta otra posible combinación.

**Tabla 21**

*Planificación del diseño factorial en escala natural*

Granulometría malla -200	Concentración de NaCN (%)		
	1000	1500	2000
80	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>
	Y' <sub>11</sub>	Y' <sub>12</sub>	Y' <sub>13</sub>
85	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>23</sub>
	Y' <sub>21</sub>	Y' <sub>22</sub>	Y' <sub>23</sub>
90	Y <sub>31</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>33</sub>
	Y' <sub>31</sub>	Y' <sub>32</sub>	Y' <sub>33</sub>

Nota: Elaboración propia

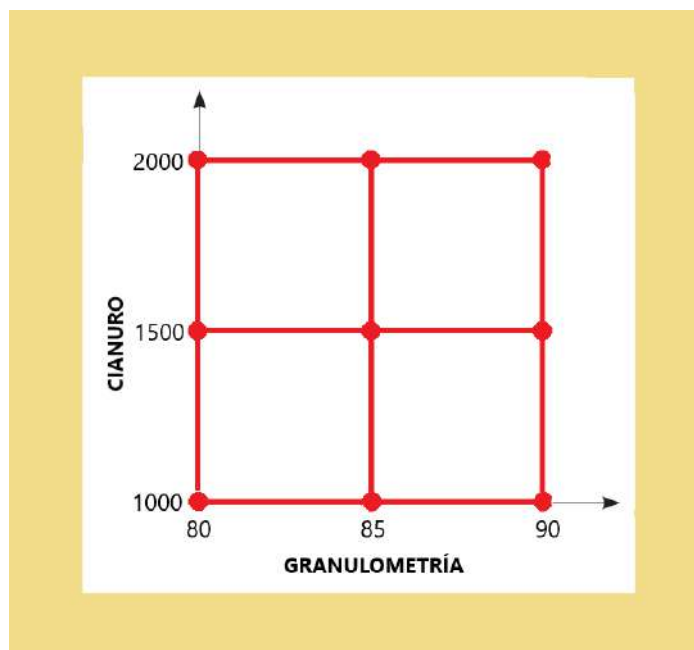
#### ***5.4.4 Representación Geométrica de las Combinaciones***

El proceso del experimento consiste en aplicar pruebas experimentales que producen cambios en la recuperación del oro intencionada, es decir, se puedan observarse cambios en la variable respuesta a la salida del proceso CIL de recuperación de oro (ver figura 18). Para determinar si los factores seleccionados (A y B) son significativos y posteriormente encontrar una combinación de niveles donde la recuperación del oro sea máxima.



**Figura 18**

*Gráfico de combinación de los factores A y B, en el diseño 3x3*



Nota: Software estadístico Minitab 19

La figura anterior muestra una zona experimental plana con nueve vértices, representando a nueve tratamientos, que coinciden con la combinación 3x3. Esta figura, también muestra la asociación a las combinaciones de los factores sus vértices.

## 5.5 Formulación Estadística de la Hipótesis de Investigación

Los investigadores formulan siempre la hipótesis más simple de contrastar y que represente la realidad observada, en este caso el porcentaje de extracción del oro para el proceso CIL. La hipótesis planteada en este trabajo, permite contrastar “comparando sus predicciones con la realidad: si coinciden, dentro del margen de error admisible, mantendremos la hipótesis; en caso contrario, la rechazaremos” (Course Hero, 2023). La afirmación principal que se hace para aceptarle o rebatir es el siguiente enunciado:

### **Hipótesis General de Investigación:**

Se logrará incrementar la extracción del oro, con una adecuada concentración de cianuro y granulometría del mineral aurífero, para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la empresa FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO.

La hipótesis anterior se formula como hipótesis estadística considerando que “la denominada "hipótesis" estadística alternativa (HA) expresa exactamente el resultado esperado si nuestra hipótesis de investigación es correcta, mientras que la "hipótesis" estadística nula (H0) representa uno de los resultados esperados posibles si nuestra hipótesis de investigación es falsa” (Fernández Bao, 2020).

### **Hipótesis General de Investigación:**

$$H_o: \mu_Y = \mu_o$$

$$H_A: \mu_Y > \mu_o$$

## **5.6 Variables Examinadas en el Proceso Experimental CIL**

Aplicaremos el método de los diseños experimentales en escala natural para ordenar los datos y analizarla como consecuencia del proceso experimental para recuperar oro de los minerales provenientes del Sancos-Ayacucho. Como consecuencia de la combinación de los factores es que se obtienen resultados que deben ser sometidos a pruebas de hipótesis y validar sus objetivos

**Factores controlables**, estas variables se encargan de regentar el proceso carbón en lixiviación para determinar las condiciones de la máxima recuperación de oro, y son las siguientes:

A = Granulometría en %: (80, 85, 90) malla -200

B = Concentración de NaCN en ppm (1000, 1500, 2000)

**Variable de Interés**, es la variable que agrupa a los datos registrados como consecuencia de procesar los minerales por lixiviación y son de interés para optimizar el proceso de recuperación del oro, está dado por:

$Y = \text{Extracción (\% de rescate de oro)}$ .

**Figura 19**  
*Caja negra del proceso*



Nota: Elaboración propia

En el proceso metalúrgico visto como una caja negra; donde se observan (ver figura 19) flujos de materiales, uso de equipos, herramientas y flujos energéticos, con el propósito optimizar un proceso o la obtención máxima de un material. Para alcanzar estos propósitos, se recurren a los diseños experimentales, en que se manipulan a las variables controlables en laboratorio experimental. En esta etapa los diseños de primer orden son los más recomendables y dentro de ellos se utiliza el diseño factorial 3x3.

## **5.7 Determinación y Análisis de los Efectos de las Variables de Proceso**

Seguidamente estimamos efectos para cada uno de los factores y observamos los valores para cada uno de estos factores cuantitativos A, B, y AB para estimar sus valores, y ubicarlos en sus rangos de importancia y sobre las hipótesis de investigación, específicamente sobre las estadísticas de prueba.

Se tiene una jerarquización de la importancia de los efectos para los nueve tratamientos y dos replicas, para correr el experimento aleatorio en sus posibles combinaciones, en el laboratorio metalúrgico, se usó tres niveles para cada uno de los factores independientes.

Cada efecto responde a la pregunta: ¿Los factores tienen algún efecto en la extracción del oro a partir de los minerales en la Empresa Minera FIDAMI S.A.? La respuesta a esta pregunta se obtiene al examinar los resultados experimentales, y obtenidos con el programa Minitab 19.

### ***5.7.1 Significancia de los Efectos***

Cuando en la experimentación el valor de un factor hacemos variar de un nivel bajo a un nivel alto, entonces, se podrá apreciar su efecto, en este caso para el porcentaje de extracción del oro para el proceso CIL, se realiza el análisis factorial, a fin de estimar los efectos y su significancia tanto de las interacciones y sus factores principales.

### ***5.7.2 Cálculo de los Efectos***

Es un paso necesario calcular los efectos principales y de interacción. “El cálculo de efectos nos permitirá determinar cuánto afecta las variables independientes en la variable dependiente. Los efectos se definen entre la diferencia de los valores medios de las respuestas, cuando en el proceso

las variables participantes se encuentren en su nivel más bajo y más alto, calculamos como sigue”.

(Inga P., A., 2020, p.80):

**Tabla 22**

*Contribución porcentual de los efectos*

<b>Fuente</b>	Valor computado	Valor nominal	Valor porcentual
A: Granulometría malla -200	81.93	81.93	83.30
B: Cianuro de sodio	10.99	10.99	11.17
AB	5.44	5.44	5.53
Error	5.44	- - -	- - -
<b>Total</b>	100	98.36	100

Nota: Elaboración propia

De los cálculos efectuados y resumidos en la tabla 22, se observa mayor efecto en la variable A, y la variable B muestran las mejores condiciones (signo positivo). Revisando los resultados de los tratamientos, el que provoca mayor recuperación de oro en porcentaje es cuando se varia la granulometría del mineral y la concentración del cianuro.

A partir de valores de efectos obtenidos se obtiene las contribuciones porcentuales de los distintos factores que intervienen en la extracción del oro para el proceso CIL. Se observa que de estos efectos el más importante en el incremento del porcentaje de extracción del oro, es la granulometría en un 83.30 %, En cambio, los otros factores son despreciables. Los efectos B, A\*B son responsables del 11.17 % y 5.53 % del efecto de este proceso de cianuración de minerales de oro, explicando la variabilidad total.

## 5.8 Contribución de los Efectos

### **Efecto A: Granulometría del mineral**

Es muy importante para la recuperación de oro, los análisis indican que es un agente activador de la recuperación del oro, su incremento de 80, 85 y 90 malla -200 hace que se promueva intensamente en la recuperación del oro.

### **Efecto B: Concentración de cianuro**

El signo positivo del efecto del cianuro es típico de condición adecuada para la recuperación de oro, como se ve cuando se incrementa de 1000, 1500 y 2000 ppm se observa un porcentaje de extracción positiva, es decir, También, se observa que promueve la extracción de oro.

## 5.9 Análisis y Cálculo de los Cuadrados Medios y de ANOVA

El factor de la suma de cuadrados medios, “es la desviación de la media del nivel de factor estimado alrededor de la media general. Esto se conoce también como la suma de los cuadrados entre los tratamientos” (Zapata A., L., 2020, p55).

### ***5.9.1 Cálculo de los Efectos Principales y de Interacción***

Las sumas de cuadrados de las fuentes de variabilidad (A, B, AB) se calcular a partir de los efectos, considerando que cada efecto tiene un solo grado de libertad igual a 2 por tener tres niveles de variación para el diseño experimental de porcentaje de extracción de oro en el modelo de diseño factorial con dos replicas, los valores obtenidos en la suma de cuadrados del tratamiento, representan la variabilidad de cada factor originado en los efectos del tratamiento y se calculan y se resume en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Datos del experimento factorial 3x3 para el proceso CIL*

FACTORES		B: Concentración de NaCN									Totales		
		1000			1500			2000			(Y <sub>i.</sub> )	(Y <sub>i.</sub> ) <sup>2</sup>	
A: Granulometria	80	85.91	171.61	29450	86.44	174.82	30562.032	89.76	181.21	32837.064	527.64	278403.9696	
		85.7			88.38			91.45					
	85	92.34	184.44	34018.1	95.56	191.85	36806.423	95.6	191.95	36844.803	568.24	322896.6976	
		92.1			96.29			96.35					
	90	95.27	190.63	36339.8	95.57	191.71	36752.724	95.6	191.84	36802.586	574.18	329682.6724	
		95.36			96.14			96.24					
	Y <sub>j.</sub>	1670.06	546.68		558.38			565		Y <sub>...=</sub>	1670.06	(Y <sub>i.</sub> ) <sup>2</sup>	930983.34
	(Y <sub>j.</sub> ) <sup>2</sup>	929872.25	298859.022		311788.22			319225		(Y <sub>...)2=</sub>	2789100.4		
	Y <sub>ij.</sub>	310413.53		99807.9			104121.18					106484.45	

Nota: Elaboración propia

### 5.9.2 Cálculo de las Sumas de Cuadrados

Esta suma, considera la sumatoria de los residuos cuadráticos y las variaciones producida por los resultados experimentales de la variable predictora y se calcula mediante la siguiente expresión:

Este procedimiento nos muestra la significancia de los efectos, para calcular la variabilidad total en función la suma de cuadrados de los efectos y del error, recurrimos a la siguiente igualdad:

$$SC_{total} = SC_{efectos} + SC_{error} \dots\dots\dots\text{Ecuación 11}$$

Donde:

$$SC_{total} = \text{Suma total de los cuadrados corregidos.}$$

$$SC_{efectos} = \text{Suma de los cuadrados de los efectos (tratamientos).}$$

$$SC_{error} = \text{Suma de cuadrados por el error aleatorio.}$$

“La suma de cuadrados se emplea con el fin de efectuar una descomposición de la variabilidad total atribuible a la variable respuesta Y, en los diferentes componentes o factores

controlados o manipulados por el investigador” (CourseHero, 2023) y se calcula de la forma siguiente:

- **Suma de Cuadrados de Efecto de Granulometría (A)**

$$SC_A = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{N} \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

$$SC_A = \frac{(527.54^2 + 568.24^2 + 574.18^2)}{3 \times 2} - \frac{1670.06^2}{3 \times 3 \times 2}$$

$$SC_A = \frac{930983.34}{3 \times 2} - \frac{1670.06^2}{3 \times 3 \times 2} = 213.868$$

- **Suma de Cuadrados de Efecto de Concentración de NaCN (B)**

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{N} \dots\dots\dots \text{Ecuación 13}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{(546.68^2 + 558.38^2 + 565^2)}{3 \times 2} - \frac{1670.06^2}{3 \times 3 \times 2} = 28.685$$

- **Suma de Cuadrados del Efecto de Granulometría x Concentración de NaCN (AB)**

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_B - SC_A \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

$$SC_{AB} = \frac{(171.61^2 + 184.44^2 + \dots + 191.84^2)}{2} - \frac{1670.06^2}{3 \times 3 \times 2} - 28.685 - 213.868 = 14.192$$

- **Suma de Cuadrados Totales**

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N} \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$



$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 = 85.91^2 + \dots + 96.24^2 = 155211.05$$

$$SC_T = 155211.05 - \frac{1670.06^2}{3 \times 3 \times 2} = 261.024$$

- **Suma de Cuadrados del Error**

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} \dots \dots \dots \text{Ecuación 16}$$

$$SC_E = 261.024 - 213.868 - 28.685 - 14.192 = 4.280$$

### 5.9.3 Grados de Libertad del Diseño Experimental

El total de grados de libertad (GL) es un valor menos 1 de la cantidad de tratamientos en la muestra (ver tabla 24). “El análisis utiliza esa información para estimar los valores de parámetros de población desconocidos. Los GL de un término muestran qué tanta información usa ese término, para estimar la variabilidad de las estimaciones de los parámetros” (Soporte de Minitab20, 2023) se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 24**

*Total, de grados de libertad del modelo factorial*

Factor de variabilidad	Grado de libertad	
	Fórmula	Valor
A (Granulometría malla -200)	(a-1)	2
B (Concentración de NaCN)	(b-1)	2
AB	(a-1) * (b-1)	4
Error	a*b*(n-1)	9
<b>Total</b>	<b>N-1</b>	<b>17</b>

Nota: Elaboración propia

### 5.9.4 Cálculo de los Cuadrados Medios

Los cuadrados medios en el análisis de varianza “miden qué tanta variación explica un término o un modelo, asumiendo que todos los demás términos están en el modelo, independientemente de su orden en el modelo. A diferencia de las sumas de los cuadrados, los cuadrados medios consideran los grados de libertad. El cuadrado medio del error (también llamado CME) es la varianza alrededor de los valores ajustados, los cuadrados medios” (Soporte de Minitab20, 2023) para nuestro modelo tienen las cantidades siguientes y resumidas en la tabla 7:

- **Suma de Cuadrados Medios y del Error**

$$CM_A = \frac{SC_A}{a - 1} = \frac{213.868}{3 - 1} = 106.934$$

$$CM_B = \frac{SC_B}{b - 1} = \frac{28.685}{3 - 1} = 14.343$$

$$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{(a - 1)(b - 1)} = \frac{14.192}{(3 - 1)(3 - 1)} = 3.548$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{ab(n - 1)} = \frac{4.280}{3 \times 3 \times (2 - 1)} = 0.476$$

**Tabla 25**

*Suma de cuadrados medios*

<b>Fuente</b>	<b>Cuadrado medio ajustado</b>
A: Granulometría	106.934
B: Cianuro de sodio	14.343
Ab: Granulometría x Cianuro	3.548
E: Error	0.476

Nota: Software estadístico Minitab 19

### Cálculo de F de FISHER

Con las estimaciones, realizamos el análisis de varianza, pero, previamente se calcula la prueba de distribución estadística F de Fisher, con el cociente de la estimación de los efectos sobre los errores, expresada como la siguiente fórmula:

$$F_0 = \frac{CM_{Efectos}}{CM_{Error}} \dots\dots\dots Ecuación 17$$

El análisis de varianza (ANOVA) puede determinarse previo cálculo de F, para evaluar estadísticamente la igualdad de las medias, para el experimento CIL, se obtiene los siguientes resultados:

$$\text{Efecto de prueba A: } F_0 = \frac{CM_A}{CM_E} = \frac{106.934}{0.476} = 224.88$$

$$\text{Efecto de prueba B: } F_0 = \frac{CM_B}{CM_E} = \frac{14.343}{0.476} = 30.16$$

$$\text{Efecto de prueba AB: } F_0 = \frac{CM_{AB}}{CM_E} = \frac{3.548}{0.476} = 7.46$$

El valor estadístico de prueba resultante de la aplicación de la expresión anterior, nos conduce a la obtención del valor-p, y determina la validez del modelo del fenómeno investigado:

*Para el factor A: valor – p = 0.000*

*Para el factor B: valor – p = 0.000*

*Para el factor AB: valor – p = 0.006*

### 5.9.5 Formulación de ANOVA

El análisis de varianza (ANOVA), calcula la variación total, considerando a todas las variables consideradas de la experimentación de flotación de minerales auríferos, que afectan a las variables consideradas.

Para formular la tabla 8 de ANOVA, se siguió lo manifestado por (Zapata A., L., 2020):

“La prueba ANOVA o análisis de varianza es un método estadístico que permite descubrir si los resultados para el proceso CIL son significativos, es decir, permiten determinar si es necesario rechazar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alternativa. El uso apropiado de ANOVA en el análisis de los datos de la encuesta requiere que se cumplan algunos supuestos, incluyendo la distribución normal de la información, la independencia de los casos y la igualdad de varianza” (Zapata A., L., 2020 p. 88).

**Tabla 26**

*Análisis de varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	8	256.744	32.093	67.49	0.000
Lineal	4	242.553	60.638	127.52	0.000
Granulometría	2	213.868	106.934	224.88	0.000
Cianuro de sodio	2	28.685	14.343	30.16	0.000
Interacciones de 2 términos	4	14.192	3.548	7.46	0.006
Granulometría*cianuro	4	14.192	3.548	7.46	0.006
Error	9	4.280	0.476		
Total	17	1579.81			

Nota: Software estadístico Minitab 19

La tabla 26 muestra el análisis de varianza, obtenidos con los datos calculados anteriormente. En esta tabla vemos que la mayor significancia de cada uno de los factores considerado en el análisis factorial. No requiere ajuste, luego los datos experimentales se ajustan al modelo factorial 3x3 con dos factores independientes. Dado que el valor -p, encontrada en la

tabla ANOVA es inferior al nivel de significancia de 0.05, el modelo es apropiado para las condiciones del experimento del porcentaje de extracción de oro para el proceso CIL.

## **5.10 Verificación de Supuestos**

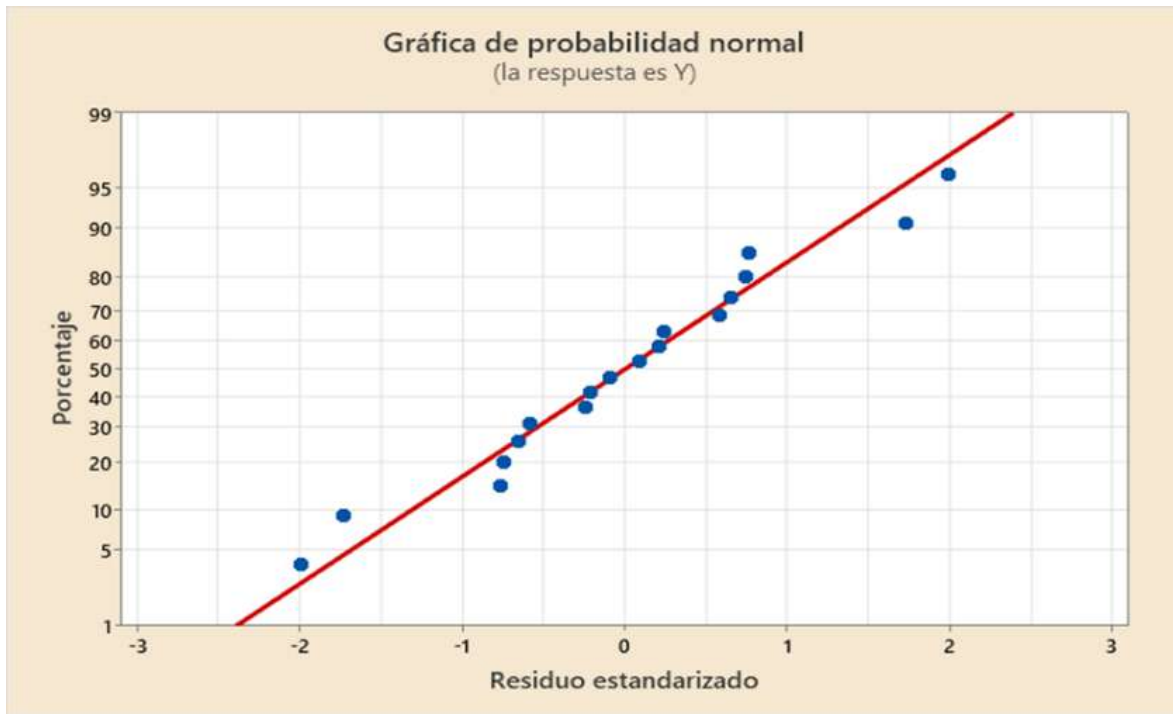
### ***5.10.1 Supuesto de Distribución Normal***

La gráfica normal de los residuos estandarizados (ver figura 20) nos sirve para “comparar la significancia de cada uno de los resultados experimentales. La línea roja que se muestra en el gráfico es llamada la línea ajustada, esta nos indica donde se esperaría que se situaran los residuos si estos fueran cero” (Lara Velásquez, 2021).

En la figura 21, los residuos de los “factores son mostrados en puntos de color azul con su respectiva denominación, cada punto corresponde a un residuo, y con se observa todas son significativas para verificar el supuesto de que los residuos están distribuidos normalmente” (Lara Velásquez, 2021).

Esta gráfica de probabilidad normal de los residuos como se observa sigue aproximadamente una línea recta, implicando que no hay distribución de valores atípicos por lo tanto los valores obtenidos en el ANOVA son válidos para este proceso CIL. En consecuencia, los intervalos de confianza y los valores p pueden resultar exactos para este proceso experimental.

**Figura 20**  
*Gráfica normal de residuos*

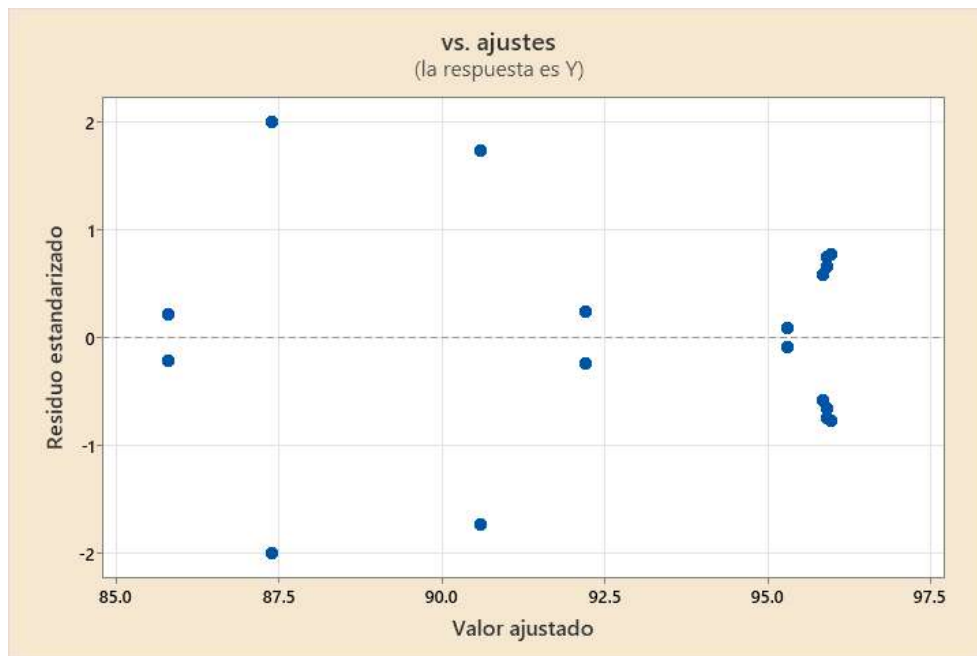


Nota: Software estadístico Minitab 19

### ***5.10.2 Supuesto de Varianza Constante***

Como se observa en la figura 21, muestra una varianza constante, esto nos permite afirmar que el modelo de diseño experimental de 3x3 con dos factores independientes es fiable.

**Figura 21**  
Gráfica de varianza constante



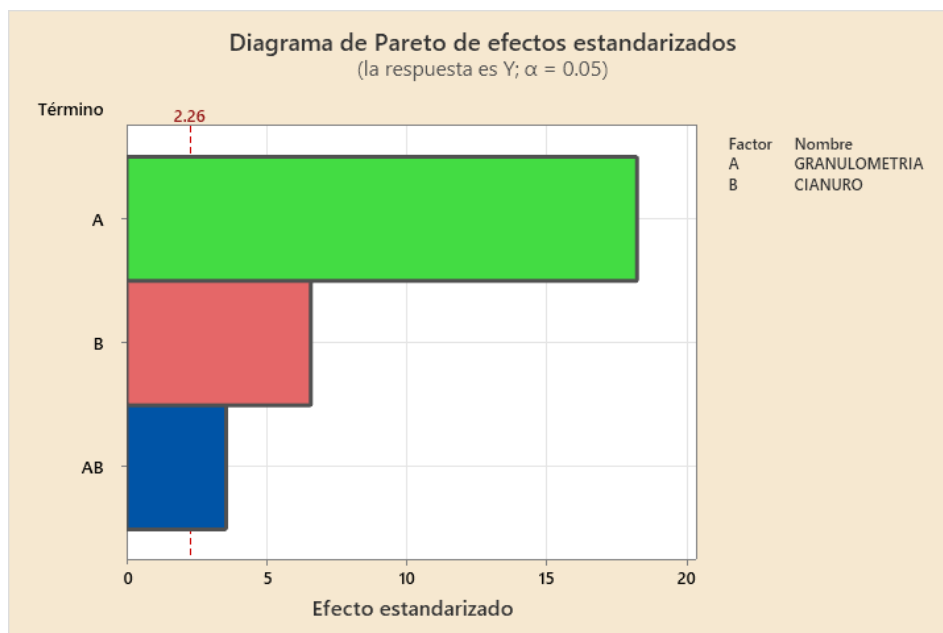
Nota: Software estadístico Minitab 19

### 5.11 Gráfica de Pareto de los Efectos

La gráfica de Pareto de los efectos al igual que la gráfica normal de los residuos nos “sirve para determinar los efectos significativos en el diseño experimental. En esta gráfica los efectos significativos de los factores son todas aquellas barras que sobrepasan la línea vertical de color rojo” (Lara Velásquez, 2021), que tiene un valor de 2.26. llamada línea de referencia. La figura 22, muestra significancia de la concentración de NaCN, la granulometría y su interacción.

**Figura 22**

*Diagrama de Pareto de los efectos, con un error de 5 %.*



Nota: Software estadístico Minitab 19

En el diagrama de Pareto se observan por orden, de mayor a menor efecto de los factores y su interacción. Los factores que superan la línea roja son factores con significancia positiva, (ver figura 22) la granulometría y la concentración de cianuro y su interacción superan la línea roja. sin embargo, se deben de tener en cuenta los valores que tienen mayor efecto que el resto es la granulometría. Al observar esta figura el efecto significativo en orden de importancia es la concentración de cianuro.

### 5.12 Determinación de los Efectos Significativos “Y”

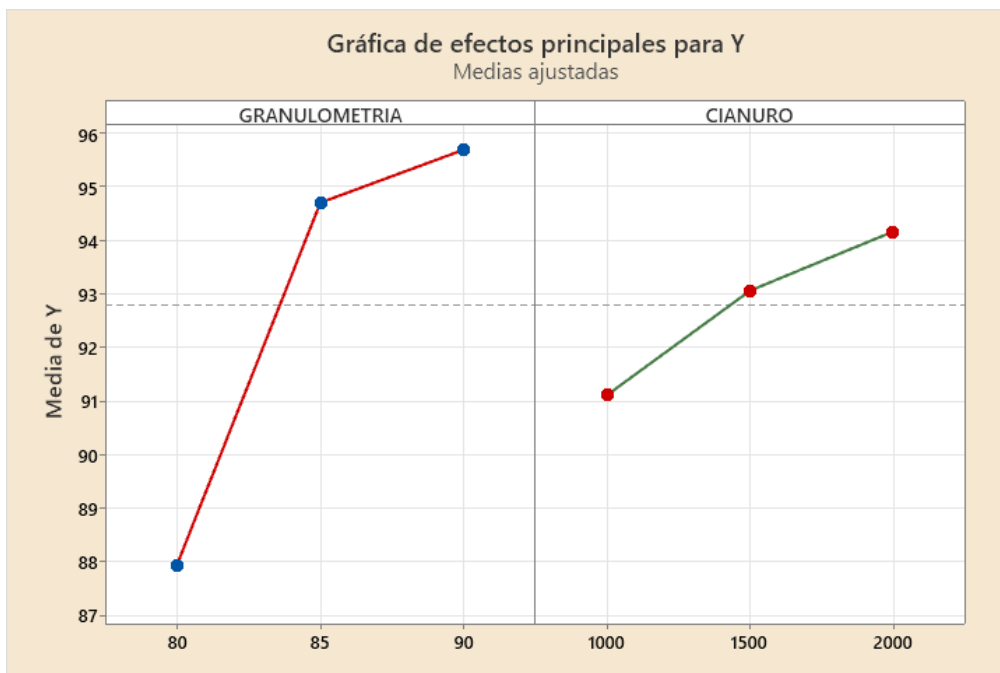
“En la determinación de los efectos significativos se utilizó el software Minitab 19 en español, la herramienta de analizar diseño factorial. La respuesta que proporciona el software es gráfica. Además, los datos del experimento es necesario elegir un porcentaje de error para este caso el porcentaje de error” (Lara Velásquez, 2021), es del 5 %. cuantitativamente observamos el



efecto de los parámetros independientes sobre la respuesta, el efecto de la granulometría es mayor respecto a la concentración del cianuro. Confirmando el cálculo efectuado para los efectos.

**Figura 23**

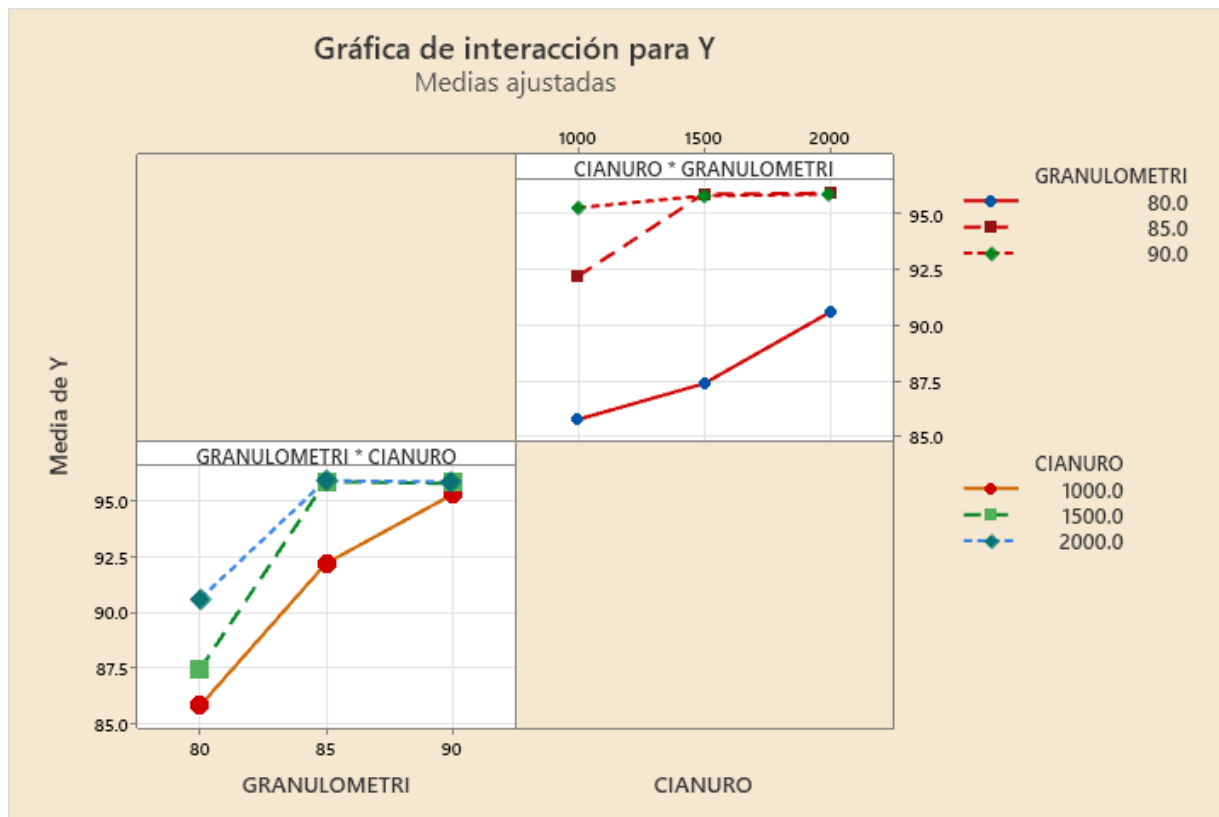
*Diagrama de efectos principales de Y*



Nota: Software estadístico Minitab 19

“Observando la gráfica determinamos que los efectos significativos son la concentración de NaCN y la granulometría del mineral. De la interpretación de la figura 24, podemos determinar que las variables que tienen efecto positivo sobre el porcentaje de extracción de oro” Lara Velásquez (2021), son la concentración de NaCN y la granulometría

“En el diagrama de Pareto se puede observar de manera clara los factores significativos que superan la línea de color rojo, por lo que es necesario mejorar el modelo depurando los factores no significantes, se recomienda hacer la depuración uno por uno iniciando de BD, CD, AB” (Lara Velásquez, 2021)

**Figura 24***Gráfica de interacción (medias ajustadas)*

Nota: Software estadístico Minitab 19

En la figura 24, se aprecia también, el eje vertical está en escala representada la magnitud de las variables respuesta, en este caso, constituye el porcentaje de extracción del oro, luego los otros factores independientes se representan en la dirección vertical con sus niveles correspondientes y se aprecia conforme los niveles aumentan, también aumenta la extracción de oro. Entonces, el efecto de la interacción es positiva.

Para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de recuperación del oro funciona muy bien para minerales con granulometría – 200 en un 90%, y con una concentración de 2000 ppm de reactivo cianuro existiendo operaciones que “trabajan con minerales a d80 inferiores a 45  $\mu\text{m}$ , efectivamente la figura 24 se puede observar como la extracción de oro aumenta cuando la granulometría y la concentración de cianuro aumenta. Para la concentración de cianuro, la

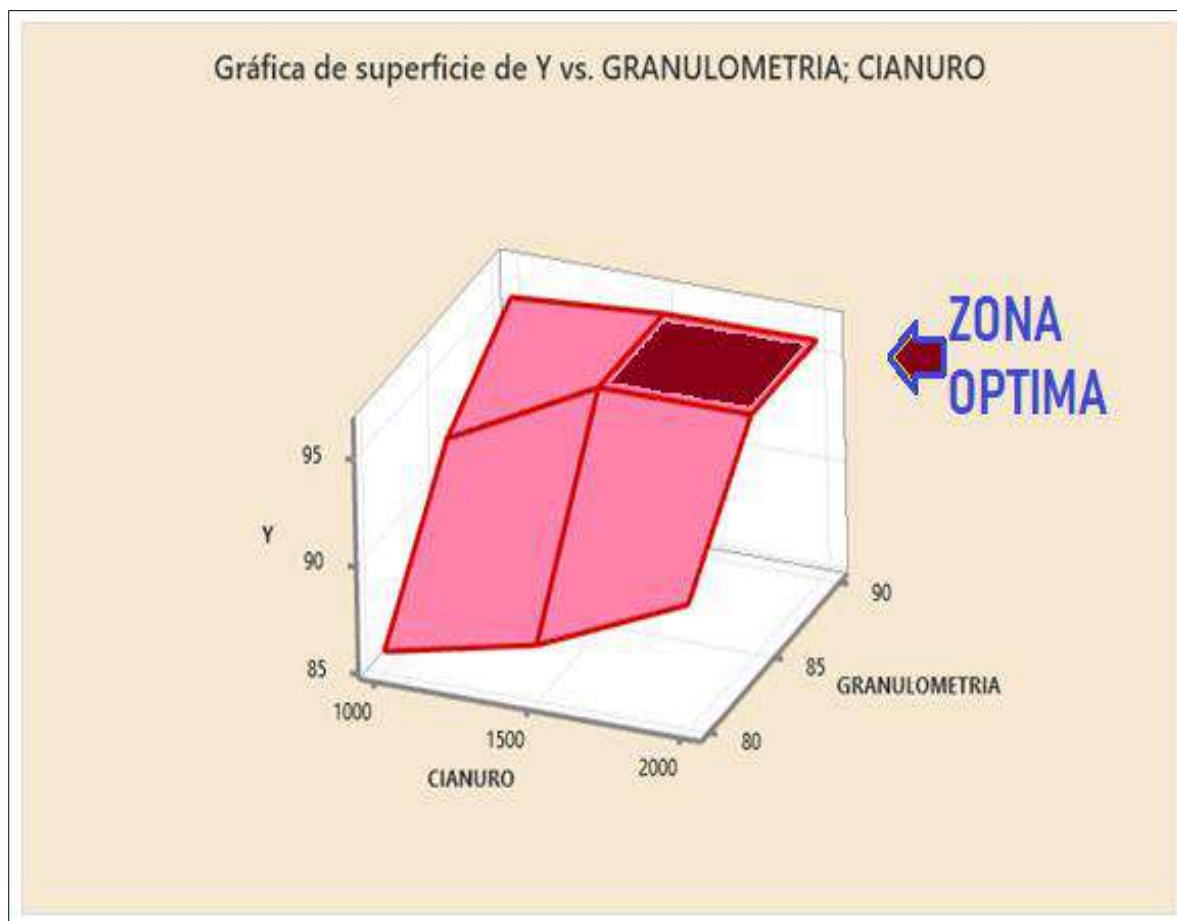
extracción de Au aumenta a mayor concentración de cianuro” (Lara Velásquez, 2021) hasta el valor de 2000 ppm.

### 5.13 Análisis de Graficas de Superficie y de Contorno

Para encontrar las condiciones óptimas de concentración de cianuro y granulometría del mineral, recurrimos a la metodología de la superficie de respuesta (ver figura 25) que producen la mayor extracción en dos dimensiones y se puede observar también el contorno (ver figura 26).

#### Figura 25

*Gráfica de superficie*



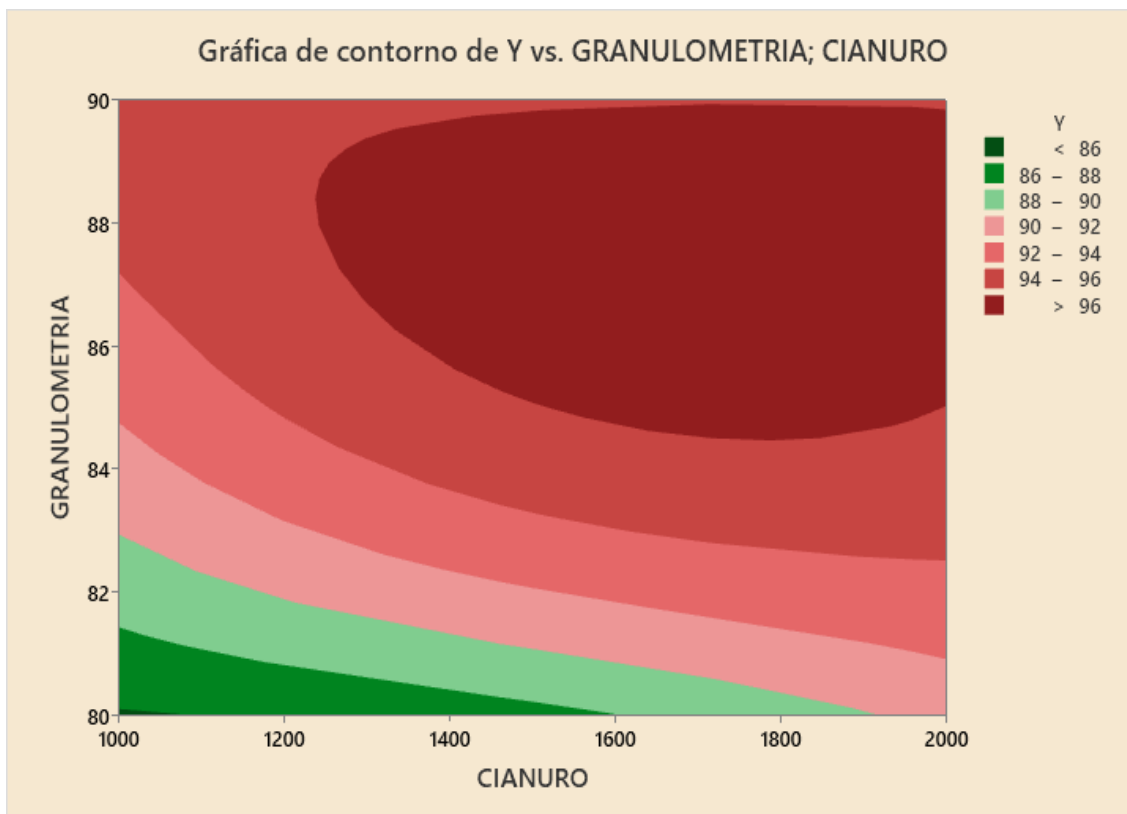
Nota: Software estadístico Minitab 19

En la figura 25, la gráfica de superficie muestra la granulometría (A) y la concentración de NaCN (C) cuando las demás variables se mantuvieron constante, apreciamos una zona óptima para

la concentración de NaCN y granulometría, se observa también concentraciones más bajas al valor óptimo donde las condiciones hacen que tengan poca influencia en la extracción del oro.

**Figura 26**

*Gráfica de contornos*



Nota: Software estadístico Minitab 19

En la figura 26, se observa el sector óptimo generado por las variables granulometría del mineral (A) y la concentración del cianuro (B), “cuando las demás variables se mantuvieron constante se puede observar que en mayores escalas de tiene mejores resultados” (Molina Valdez, 2021).

## 5.14 Ecuación Lineal Simple para Coeficientes

### 5.14.1 Modelo matemático

Teniendo en cuenta que la obtención de los efectos es muy significativa, el siguiente proceder es la obtención de un modelo matemático que represente al proceso metalúrgico investigado, con el diseño factorial a dos niveles siendo un modelo matemático a escala codificada lineal.

Una vez calculada los contrastes y los efectos de la variable imparcial en la variable principal Y, se observa en la ecuación de regresión lineal las influencias que resultan significativas. El modelo de regresión para predecir la recuperación del oro, es:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_{AB} AB + \varepsilon \dots \dots \dots \text{Ecuación 18}$$

Donde:

A = Granulometría

B = Concentración de cianuro

$\beta_0$  = Parámetro del modelo (ordenada en el origen).

$B_i$  = Efecto promedio de los i-ésimo factores, manteniéndose constantes el resto de variables.

$\varepsilon$  = Residuo o error

Para estimar los coeficientes  $\beta_0, \beta_A; \dots; \beta_P$ , se utilizan formulas deductivas de análisis de regresión. Luego, el modelo matemático queda evaluada y expresada en términos de los coeficientes de error.

### 5.14.2 Determinación de los Coeficientes de Regresión

La ecuación regresional contiene a la variable dependiente en función de las variables controladas en la extracción de oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) desde los minerales presentes, se formula linealmente considerando los dos niveles de las variables de proceso, los datos experimentales son procesados mediante Minitab 19 y se condensa en la tabla 26.

### 5.14.3 Formulación del Modelo de Regresión

Luego de hacer las regresiones para la extracción de oro; para determinar a las variables más significativas sobre la variable de interés (extracción de oro), seguidamente efectuamos el análisis de varianza de nuestro modelo de regresión. La parte de la tabla 27, que verifica la hipótesis sin mayor complicación se observa en esta tabla. La hipótesis a probar es:

$H_0: \beta_i=0$  (el coeficiente no es válido para explicar a Y)

$H_A: \beta_i \neq 0$  (el coeficiente es válido para explicar a Y)

Por lo tanto, los cálculos de obtención de los coeficientes de regresión se ajustan al procedimiento de los mínimos cuadrados. En la tabla 27, tomamos los valores relacionados a los coeficientes de regresión para la recuperación del oro.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Y_c = & 92.781 - 4.841 A_{80} + 1.926 A_{85} + 2.916 A_{90} - 1.668 B_{1000} \\
 & + 0.282 B_{1500} + 1.386 B_{2000} - 0.467 A * B_{80\ 1000} - 0.812 A \\
 & * B_{80\ 1500} + 1.279 A * B_{80\ 2000} - 0.819 A * B_{85\ 1000} + 0.936 A \\
 & * B_{85\ 1500} - 0.117 A * B_{85\ 2000} + 1.286 A * B_{90\ 1000} - 0.124 A \\
 & * B_{90\ 1500} - 1.162 A * B_{90\ 2000}
 \end{aligned}$$

**Tabla 27***Coefficientes de regresión no codificado*

Término	Coefficiente	Valor p
Constante	92.781	0.000
Granulometría (A)		
80	-4.841	0.000
85	1.926	0.000
90	2.916	0.000
Cianuro (B)		
1000	-1.668	0.000
1500	0.282	0.251
2000	1.386	0.000
Granulometría*cianuro (A*B)		
80 1000	-0.467	0.184
80 1500	-0.812	0.034
80 2000	1.279	
85 1000	-0.819	0.033
85 1500	0.936	0.018
85 2000	0.117	0.000
90 1000	1.286	0.000
90 1500	0.124	0.000
90 2000	1.162	0.000

Nota: Software estadístico Minitab 19

Observando la tabla anterior, la gran mayoría de los coeficientes son válidos a expresión de los coeficientes: B-1500 y A\*B\_80 1000.

#### 5.14.4 Cálculo del Coeficiente de Determinación

El cálculo del coeficiente de determinación  $R^2$ , para nuestro modelo de regresión natural de recuperación de oro, se obtiene mediante el paquete de MINITAB 19 y su valor indica la bondad del ajuste en el modelo de regresión, para ello calculamos la correlación de los factores mediante el coeficiente de regresión, obtenida entre la variación explicada y la variación total:

$$R^2 = \frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 19}$$

Con los datos de la tabla 25, encontramos:

$$R^2 = \frac{SS_{Total} - SS_E}{SS_{Total}} = \frac{261.024 - 1.64}{261.024} = 0.9937$$

El resultado obtenido es 99.37 % de ajuste, el ajuste del modelo para la recuperación del oro es muy buena, y podemos usarla para predecir resultados de la variable dependiente y consolidar la hipótesis de investigación.

“El coeficiente de determinación ajustado es la medida que soluciona los problemas que presenta el coeficiente de determinación. Este coeficiente es exactamente igual que el coeficiente de determinación con una única diferencia: el coeficiente de determinación ajustado penaliza la inclusión de aquellas variables que no resultan trascendentales para la variable real” (Montgomery D. C., 2004, 244). El estadístico  $R^2$  ajustada, se calculó con la siguiente formula

$$R_{Ajustada}^2 = 1 - \frac{SS_E/df_E}{SS_{Total}/df_{Total}} = 1 - \frac{\frac{1.64}{9}}{\frac{261.024}{17}} = 0.988$$

Se ve que esta ajustado para los dos variables principales, la concentración de NaCN y granulometría, mostrándonos que estos factores y sus interacciones, se ajustan en el orden del 98.80 % sobre el rendimiento de recuperación de oro, confirmando buen ajuste de los factores involucrados.

### **5.15 Optimización de Variable Concentración de Cianuro de Sodio y Granulometría del Mineral para la Mejora del Extracción de oro.**

La aplicación del diseño 3 x 3 de dos variables para la realización de pruebas experimentales para la extracción del oro para el proceso CIL de minerales auríferos (ver figura 29) tienen el propósito de mejorar la variable dependiente en función de las independientes del proceso de extracción de minerales auríferos, bajo las siguientes condiciones:



- La primera condición que debe cumplir el modelo es satisfacer al análisis de la varianza (ver tabla 25) y los factores experimentales satisfacen su significancia.
- La segunda condición que se debe cumplir, es que los coeficientes de regresión codificados (ver tabla 26) cumplen la validez para explicar la recuperación del oro.
- Al verificar las dos condiciones anteriores, podemos concluir que los resultados cuentan con adecuada consistencia (ver tabla 28) de la estadística inferencial.

**Tabla 28**

*Optimización de la concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral para la mejora de % de extracción del oro*

Solució n	Niveles óptimos		Recuperación óptima	
	NaCN ppm	Granulometría malla -200	Ajuste (%)	Replica
1	2000	85	96.48	1

Nota: Software estadístico Minitab 19

**Figura 27**

*Determinación de la optimización de la extracción del oro*



Nota: Software estadístico Minitab 19

### 5.16 Resumen y resultado del diseño experimental.

Se ejecutó un diseño factorial a fin de determinar el efecto de dos variables, Estas variables fueron aplicadas en valores de varios niveles, Se ha realizado el diseño factorial 3x3 con 9 tratamientos y 18 corridas dispuestas en dos replicas, considerando dos factores. “Las variables tratadas fueron la granulometría como factor A, concentración de cianuro como factor B, cabe mencionar que otras variables operativas se mantuvieron constantes en toda la investigación”.

El análisis experimental se rigió con 95% de nivel de confianza, donde se extrajo todos los resultados finales, de esta manera se pudo analizar la interacción de las variables independientes.

En un diseño 3x3, con 9 experimentos y dos replicas, presenta una interacción de segundo orden, AB que será evaluada, entonces este diseño factorial es necesaria para estimar la significancia de A, B y AB. El modelo estadístico utilizado es lineal para posibilitar el análisis de datos experimentales. Como se puede observar, en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Resumen de resultados del diseño factorial*

VARIABLES		CONCENTRACIÓN DE NaCN		
		1000	1500	2000
GRANULOMETRÍA	80	85.91	86.44	89.76
		85.70	88.38	91.45
	85	92.34	95.56	95.60
		92.10	96.29	96.35
	90	95.27	95.57	95.60
		95.36	96.14	96.24

Nota: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 29, el resumen simplificado del diseño factorial corrida, para el tema de investigación, cada uno con dos replicas, donde se observa claramente que ha una concentración de 2000 ppm de cianuro de sodio y al 85 % de granulometría del mineral el porcentaje de extracción aumenta a comparación de las demás variables de cianuración propuestos.

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1 Análisis de Resultados Mediante Análisis Químico

En la tabla 18, podemos ver la extracción de oro (%) de cada prueba ejecutada a diferentes datos propuestos, 1000, 1500 y 2000 ppm de NaCN a una granulometría de 80, 85 y 90 % malla - 200, donde las demás variables de cianuración permanecieron constantes para cada prueba realizada, se obtuvo mediante el análisis químico de la solución cianurada. Pues se indica que en la muestra 6 de la prueba 3, se obtiene un máximo de 96.33% de extracción, y un mínimo de 85.74 % en la muestra 1. Realizando los cálculos en el balance metalúrgico de cabeza calculada, se llega a lograr un porcentaje de extracción de cada una de las pruebas en mención. Donde ocho de las pruebas lograron una extracción de oro por encima del 90 % y la muestra 1 y 2 obtuvieron menor al 90% de extracción.

En la tabla 19, evidenciamos la cinética de lixiviación por agitación según a tiempos estimado de 48, 60 y 72 horas donde a partir de las 24 horas ya se extrae más del 90 %. En la curva de la figura 16, se observa que a partir de las 24 horas la pendiente extracción vs tiempo se reduce considerablemente.

#### 6.2 Análisis de los Resultados Mediante Diseño Factorial

En la tabla 24, vemos que la mayor significancia de cada uno de los factores considerado en el análisis factorial, no requiere ajuste. Luego los datos experimentales se ajustan al modelo factorial 3x3 con dos factores independientes. Dado que el valor -p, ANOVA es inferior al nivel de significancia de 0.05, el modelo es apropiado para las condiciones del experimento de recuperación de oro por el proceso CIL.

En la figura 24, los efectos significativos de los factores son todas aquellas barras que sobrepasan la línea vertical de color rojo (Lara Velásquez, 2021), que tiene un valor de 2.26 llamada línea de referencia. Así mismo, muestra significancia de la concentración de NaCN, la granulometría y su interacción.

Observando la figura 27 determinamos que los efectos significativos son la concentración de NaCN y la granulometría del mineral. De la interpretación de la figura 20, podemos determinar que las variables que tienen efecto positivo sobre el porcentaje de extracción de oro (Lara Velásquez, 2021), son la concentración de NaCN y la granulometría.

En la figura 21, se observa también, el eje vertical está en escala representada la magnitud de las variables respuesta, en este caso, constituye la recuperación del oro, luego los otros factores independientes se representan en la dirección vertical con sus niveles correspondientes y se aprecia conforme los niveles aumentan, también aumenta la recuperación. Entonces, el efecto de la interacción es positiva.

## CONCLUSIONES

Del trabajo de investigación se concluye, lo siguiente:

**Primero.** Según las pruebas experimentales realizadas con las siguientes variables propuestas:

1000, 1500, 2000 ppm de cianuro de sodio con granulometrías de 80, 85 y 90% malla -200, se tiene % de extracción mínimo de 85.70% y como máximo se obtiene 96.35%.

**Segundo.** Utilizando 2000 ppm de concentración de cianuro de sodio y una granulometría del mineral al 85% malla -200, se obtiene una recuperación máxima de 96.35%, cabe mencionar que las demás variables se mantuvieron constantes en cada una de las pruebas realizadas, tiempo de residencia 72 horas, densidad de pulpa 1250 a 1300, gravedad específica 2.5, pH 11.

**Tercero.** Como se muestra en la tabla 26, se logra optimizar las variables de cianuración; concentración de cianuro de sodio al 2000 ppm y una granulometría de 85% malla -200, siendo las dos variables que tienen una recuperación o extracción de 96.35% según análisis experimentado.

**Cuarto.** Se concluye que se acepta la hipótesis planteada y por consecuencia podemos afirmar que la concentración de cianuro de sodio óptimo es 2000 ppm y la granulometría óptima es de 85% malla -200, con la optimización de estas dos variables se llega a una recuperación del 96.35%.

**Quinto. Modelo matemático**

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_{AB} AB + \varepsilon$$

Donde:

A = Granulometría

B = Concentración de cianuro

$\beta_0$  = Parámetro del modelo (ordenada en el origen).

$B_i$  = Efecto promedio de los i-ésimo factores, manteniéndose constantes el resto de variables.

$\varepsilon$  = Residuo o error

**Sexto. Modelo cinético**

$$Y_{ijk} = f(A, B, AB) + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

A, B = Factores o variables del experimento (granulometría, concentración de cianuro), con tres niveles cada uno.

AB = Factor de interacción dobles

$\epsilon_{ijk}$  = Error aleatorio ijk-ésimo (agrupa a los demás factores no controlados en el experimento).

3x3 = 9 tratamientos, con dos replicas

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio de investigación del comportamiento y composición mineralógica del mineral de los yacimientos de la empresa minera, ya que la empresa está ingresando a la zona de mixtos en la extracción de minerales, por lo tanto, repercutirá en el proceso de cianuración CIL. Ocasionando cambios de ratios en los insumos químicos fiscalizados.
- Así mismo seguir optimizando las variables faltantes del proceso de cianuración por agitación, carbón en lixiviación con el fin de seguir mejorando en la recuperación de finos en planta.
- Se recomienda también fabricar un tanque de agitación de 20x20, ya que actualmente la planta de beneficio Datelli 6 solo cuenta con 5 tanques, un tanque de agitación de 15x15, 2 tanques de agitación de 10x10 y dos tanques de agitación de 8x8, llegando a un tiempo de residencia de 56 horas. Por tanto, instalando un tanque de cianuración 20x20 y anulando los dos tanques 8x8 se estaría llegando a un tiempo de residencia de 73 horas con ello se estaría optimizando el tiempo de residencia.
- Finalmente, se recomienda ampliar la capacidad de planta ya que se tiene mineral en stock.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarico, T. (26 de Julio de 2014). *Proceso Lixiviación*. Obtenido de <http://slideplayer.es/>:  
<http://slideplayer.es/slide/38254-23/05/2018>
- Apaza, W. C. (2022). *Optimización de los parámetros del proceso de cianuración para mejorar la recuperación del oro en la planta de beneficio cia minera jerusalén s.a.c. – chala*. tesis de pre grado, Universidad Nacional del Altiplano, facultad de ingeniería geológica y metalúrgica, Puno.
- Armela Moreno, R. (2018). Influencia de parámetros tecnológicos en la extracción de oro en la mina “Oro Barita”. *Ingeniería Metalurgia y Materiales*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Mao., Santiago de Cuba. Obtenido de Santiago de Cuba
- Arminta Qjehuarucho, L., & Vargas Huaman, D. (2022). *Extracción De Oro Del Mineral Aurífero Por Lixiviación En Columnas Con Reactivos Bromuro De Potasio Y Ácido Bromhídrico En La Unidad Minera Utunsa – Anabi -Haqira Apurímac*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Cusco. Obtenido de [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6755/253T20220267\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6755/253T20220267_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Canal Cespedes, A. F. (2018). *Simulación del proceso de flotación inversa de concentrados de minerales de wolframio y pirita*. Tesis de pos grado, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4cbf725d-9a9d-4314-b005-90381dcf9019/content>



Castro Chamorro, J. A. (2005). *Optimización del proceso de flotación de concentrado de zinc en la Compañía Minera "Yauliyacu" S.A. mediante diseños experimentales*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2638/Castro\\_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2638/Castro_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

COURSEHERO. (2012). *Contrastes de Hipótesis*. coursehero. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/7359267/Pruebahip/>

Dance Juarez, G. (2017). *Evaluación del proceso de flotación en la planta concentradora Xstrata Tintaya S.A.* Tesis de pre grado, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e4e8c524-2834-4b4b-9d25-3acae8ae4501/content>

Domic, E. (2001). *Hidrometalurgia Fundamento, Procesos y Aplicación*. Santiago de Chile.: Autor-Editor genérico.

Espinoza aguilar, C., & Guerreros surichacqui, G. (2012). *Influencia del estado de oxidación de la pirita y la arsenopirita en la flotación de un mineral* . Ecuadordocumnts.

Esteban, M., & Domic, M. (2001). *"Hidrometalurgia" fundamentos procesos y aplicaciones*. (primera Edición. ed.). Santiago de chile.

Farji Brener, A. G. (2004). *¿Son hipótesis las hipótesis estadísticas? Ecología austral*. Obtenido de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2004000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2004000200011&script=sci_arttext)

- Fernández Bao, S. (2020). *Diseño de experimentos: Diseño factorial*. Tesis de pos grado, Universidad Politecnica de Catalunya , Barcelona. Obtenido de [https://vdocuments.site/diseo-de-experimentos-diseo-factorial.html?page=1&script=sci\\_arttext](https://vdocuments.site/diseo-de-experimentos-diseo-factorial.html?page=1&script=sci_arttext)
- Flores Mamani, C. V. (2019). Estudio del proceso de cianuración de minerales auríferos para la recuperación de oro en el proyecto OROPESA. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13931/Flores\\_Mamani\\_Carlos\\_Victor.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13931/Flores_Mamani_Carlos_Victor.pdf?sequence=1&isAllowed=)
- Foust, A. (1982). *Principios de Operaciones Unitarias 3ra edición*. México.: Edit Continental S.A.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Huarza Huisa, J. I. (2018). “Estudio de mejoras y adecuamiento metalúrgico en la etapa de lixiviación para recuperar Oro y Plata del concentrado aurífero en la Empresa Minera Aurífera Retamas – Marsa”. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional de San Agustín., Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8395>
- Machaca, R. F. (2019). *Optimización de la recuperación de oro mediante el control de la densidad y el ph por el metodo carbón en pulpa en la procesadora neal sac. chala-*

- arequipa*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, Puno.
- Medina, G. (1999). “*Proyecto Minería Artesanal y Pequeña Minería – Componente Ica – Arequipa*”. Lima: Proyecto GAMA – COSUD.
- Merello, R. (1986). “Cianuración en pilas de Minerales de oro y plata: Una nueva herramienta para la pequeña minería”. *Revista Minerales*, 38(164).
- Merino, J., & Bobadillo, P. (2005). Influencia del tiempo de residencia y peso de carbón activado por volumen de solución pregnant sobre la recuperación de oro en el proceso de carbón en pulpa del mineral de la CIA. Aurífera Huaylillas S.A.C. *Ingeniero metalurgista*. Universidad nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <http://ciptrujillo.org/ovcipcddl/uploads/biblioteca/abstract/T004161.pdf>
- Molina Valdez, A. M. (2021). *Uso de gold max en la lixiviación de oro y plata en la zona minera de Rinconada - Puno*. Tesis de pos grado, Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica, Ica. Obtenido de <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13028/3701/Uso%20de%20Gold%20Max%20en%20la%20lixiviaci%3%b3n%20de%20oro%20y%20plata%20en%20la%20zona%20minera%20de%20Rinconada%20-%20Puno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Mexico: Limusa Wiley. Obtenido de [https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o\\_y\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_experimentos\\_Douglas\\_C\\_Montgomery](https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C_Montgomery)

- Morales Mulluni, D. C. (2018). *Evaluación del proceso de cianuración por agitación de minerales de oro y plata de la zona minera de Malco en el distrito de Puyo-Ayacucho*. . Ayacucho.
- Munive, T., Encinas, M., & Valenzuela, A. (2011). *Estudio comparativo de la lixiviación de un mineral refractario con cianuro de sodio y tiosulfato de sodio para la recuperación de oro y plata*. GEOMIMET 291.
- Lazo Huaruco, Juan Carlos (2019). *Estudio petrográfico de rocas intrusivas, superunidad San Luis, localidades de Santa Rosa y El Molino, Sancos - Lucanas, Ayacucho*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Chile. Obtenido de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0313.pdf>
- P., H. B. (2019). *Contribución al conocimiento sobre la minimización del consumo de Cianuro en la minería del Oro; Sales oxidantes, Aireación y Sobre molienda para minerales Cianicidas*.
- P.C., D. (1997). *Procesamiento de minerales*. Cerro de Pasco.
- Poblete Palma, R. (2019). *Lixiviación Cianurada De Mineral De Oro En Columnas A Nivel De Planta Piloto*. Tesis de pre grado, Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago - Chile. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47948/3560902038864UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romaina, J. (2012). *Estadística Experimental*. Universidad Privada de Tacna.

Soporte de Minitab20. (2023). *Tabla Análisis de varianza para Analizar variabilidad*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/factorial/analyze-variability/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/analysis-of-variance-table/#:~:text=en%20el%20modelo,-.En%20la%20tabla%20An%C3%A1lisis>

TECSUP. (2005). *Proceso químico y metalúrgico*. (Tomo IV 4ta Edición. ed.).

VANZYT DIRK EDITOR “CYNIDE AND THE ENVEANMENT”. (1989). *selección de trabajos de la conferencia de la Universidad de Arezona: Cynide and the Environment*”. Tucson, EEUU: ed. U. of Az.

Vargas, J. (1990). *Metalurgia del Oro y la Plata*. San Marcos.

Venancio Astucuri, T. (1994). *Introduccion a la flotacion de minerales*. Universidad de Lima. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/524165371/Book-Introd-a-Flotacion-La-de-Minerales>

Vinasco, L. (2012). *Estadística Descriptiva con Minitab*. Javeriano.

Yana Vilca, J. C. (2018). Optimización del proceso de cianuración de oro en la planta de la Joya Mining. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8732>

**ANEXOS**

**Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

OPTIMIZACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO Y GRANULOMETRÍA DEL MINERAL EN LA EXTRACCION DEL ORO POR EL PROCESO CARBON EN LIXIVIACION EN LA EMPRESA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO				
<p>Planteamiento del problema</p> <p><i>Problema general:</i></p> <p>¿Cuáles serán los parámetros óptimos de la concentración de cianuro de sodio y granulometría del mineral para incrementar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la EMPRESA MINERA FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho?</p> <p>Específicos</p> <p>PE1 ¿Cómo mejorar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho?</p> <p>PE2: ¿Cómo influye la concentración de cianuro de sodio en el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la empresa minera FIDAMI S.A. Sancos-Ayacucho?</p> <p>PE3: ¿Cuál será la granulometría óptima del mineral que permita el mejor porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho?</p>	<p>Objetivos</p> <p><i>Objetivo General:</i></p> <p>Determinar los parámetros óptimos de la concentración de cianuro y granulometría del mineral para incrementar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación (CIL) en la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.</p> <p>Específicos</p> <p>OE1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinar la granulometría del mineral para el proceso carbón en lixiviación (CIL), a fin de liberar la mayor cantidad posible de oro del mineral de la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.</li> </ul> <p>OE2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinar la concentración de cianuro de sodio para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.</li> <li>● EO3: Determinar el porcentaje de extracción del oro para el proceso carbón en lixiviación de la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.</li> </ul>	<p>Hipótesis</p> <p>Hipótesis General:</p> <p>Se logra incrementar el porcentaje de extracción del oro, optimizando la concentración de cianuro y granulometría del mineral para el proceso carbón en lixiviación (CIL) de la Empresa Minera FIDAMI S.A. Sancos - Ayacucho.</p> <p>Específicos</p> <p>H1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La concentración de cianuro influye en la mayor o menor dilución del metal de interés.</li> </ul> <p>H2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La variación de la granulometría del mineral repercutirá en la mayor o menor disolución del oro.</li> </ul>	<p>Variables</p> <p>Dependiente</p> <p>% de extracción.</p> <p>Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Concentración de cianuro ppm</li> <li>● Granulometría del mineral 80, 85 y 90 % malla -200</li> </ul> <p>VARIABLES INTERVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Característica del mineral</li> <li>● Clima</li> <li>● Temperatura del ambiente</li> </ul>	<p>Metodología</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicativo y/o tecnológico</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Descriptivo-Correlacional y explicativo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Cuando se</b> pronostica un hecho o dato <b>•Se formulan</b> Hipótesis correlacionales</li> </ul> <p>Diseño de investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Se manipula independientes donde tendrá consecuencias en la variable dependiente. (causa-efecto)</p>

## Anexo 2. Cuadro de Parámetros Operativos

<b>PARAMETROS DE PRUEBA:</b>	
Mineral:	OXIDO
Código:	M1 al M9
Granulometría:	80, 85 Y 90% -#200
densidad (g/L)	1250
gravedad especifica (G.E.)	2.5
Dilución:	2 a 1
Peso Mineral(Kg):	0.5
Agua (L):	1
FCN(ppm):	1000, 1500 Y 2000 ppm
NaCN(g)	1.00, 1,5 Y 2 g
pH inicial del mineral	7
pH de la prueba	11
NaOH (g)	2
Tiempo de agitación:	72 hr
Fecha de inicio:	17/08/2022 al 09-09-23
% de solidos	32.5
Hora	6:00 p. m.

## Cuadros de control de muestras

Hoja de datos:			M1-PM-1 AL 80% NaCN 1000PPM			AGREGADO		ELIMINADO		
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.
18/08/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1000.000	2	1.000	0.000	0.000	Inicio
18/08/2022	10:00 p. m.	4	11	0.10	25.000	0	0.975	0.00025	0.975	
19/08/2022	2:00 a. m.	8	11	2.00	500.000	0	0.500	0.00500	1.470	
19/08/2022	6:00 a. m.	12	11	2.40	600.000	0	0.400	0.00600	1.864	
19/08/2022	6:00 p. m.	24	11	3.00	750.000	0	0.250	0.00750	2.106	
20/08/2022	6:00 a. m.	36	11	4.00	1000.000	0	0.000	0.01000	2.096	
20/08/2022	6:00 p. m.	48	11	3.90	975.000	0	0.025	0.00975	2.112	
21/08/2022	6:00 p. m.	72	11	3.90	975.000	0	0.025	0.00975	2.127	
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2.175</b>	<b>0.048</b>	<b>12.749</b>	
							<b>Cianuro consumido</b>		<b>3.127</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>6.25</b>	

Hoja de datos:			PM-2 AL 80% NaCN 1500PPM			AGREGADO		ELIMINADO	NaCN acumulado (g)	
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.
18/08/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1500.000	2	1.500	0.000	0.000	Inicio
18/08/2022	10:00 p. m.	4	11	2.00	500.000	0	1.000	0.00500	0.995	
19/08/2022	2:00 a. m.	8	11	3.90	975.000	0	0.525	0.00975	1.510	
19/08/2022	6:00 a. m.	12	11	3.00	750.000	0	0.750	0.00750	2.253	
19/08/2022	6:00 p. m.	24	11	3.00	750.000	0	0.750	0.00750	2.995	
20/08/2022	6:00 a. m.	36	11	3.50	875.000	0	0.625	0.00875	3.612	
20/08/2022	6:00 p. m.	48	11	5.00	1250.000	0	0.250	0.01250	3.849	
21/08/2022	6:00 p. m.	72	11	5.80	1450.000	0	0.050	0.01450	3.885	
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>3.950</b>	<b>0.066</b>	<b>19.098</b>	
							<b>Cianuro consumido</b>		<b>5.385</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>10.77</b>	

Hoja de datos:			PM-3 AL 80% NaCN 2000PPM			AGREGADO		ELIMINADO	NaCN acumulado (g)	
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.
18/08/2022	6:00 p. m.	0	12	-	2000.000	2	2.000	0.000	0.000	Inicio
18/08/2022	10:00 p. m.	4	12	2.00	500.000	0	1.500	0.00500	1.495	
19/08/2022	2:00 a. m.	8	12	0.20	50.000	0	1.950	0.00050	3.445	
19/08/2022	6:00 a. m.	12	12	3.00	750.000	0	1.250	0.00750	4.687	
19/08/2022	6:00 p. m.	24	12	3.00	750.000	0	1.250	0.00750	5.930	
20/08/2022	6:00 a. m.	36	12	4.50	1125.000	0	0.875	0.01125	6.793	
20/08/2022	6:00 p. m.	48	12	6.00	1500.000	0	0.500	0.01500	7.278	
21/08/2022	6:00 p. m.	72	12	7.50	1875.000	0	0.125	0.01875	7.385	
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>7.450</b>	<b>0.066</b>	<b>37.012</b>	
							<b>Cianuro consumido</b>		<b>9.385</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>18.77</b>	



Hoja de datos:			M4-PM-1 AL 85% NaCN 1000PPM			AGREGADO		ELIMINADO	NaCN acumulado (g)	Obs.
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)		
28/08/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1000.000	2	1.000	0.000	0.000	Inicio
28/08/2022	10:00 p. m.	4	11	0.50	125.000	0	0.875	0.00125	0.874	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)
29/08/2022	2:00 a. m.	8	11	1.00	250.000	0	0.750	0.00250	1.621	
29/08/2022	6:00 a. m.	12	11	3.00	750.000	0	0.250	0.00750	1.864	
29/08/2022	6:00 p. m.	24	11	3.00	750.000	0	0.250	0.00750	2.106	
30/08/2022	6:00 a. m.	36	11	3.20	800.000	0	0.200	0.00800	2.298	
30/08/2022	6:00 p. m.	48	11	3.40	850.000	0	0.150	0.00850	2.440	
31/08/2022	6:00 p. m.	72	11	3.90	975.000	0	0.025	0.00975	2.455	
<b>TOTAL</b>						<b>2</b>	<b>2.500</b>	<b>0.045</b>	<b>13.658</b>	
									<b>3.455</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>6.91</b>	

Hoja de datos:			M5-PM-2 AL 85% NaCN 1500PPM			AGREGADO		ELIMINADO	NaCN acumulado (g)	Obs.
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)		
28/08/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1500.000	2	1.500	0.000	0.000	Inicio
28/08/2022	10:00 p. m.	4	11	0.70	175.000	0	1.325	0.00175	1.323	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)
29/08/2022	2:00 a. m.	8	11	4.30	1075.000	0	0.425	0.01075	1.738	
29/08/2022	6:00 a. m.	12	11	5.40	1350.000	0	0.150	0.01350	1.874	
29/08/2022	6:00 p. m.	24	11	5.00	1250.000	0	0.250	0.01250	2.112	
30/08/2022	6:00 a. m.	36	11	5.30	1325.000	0	0.175	0.01325	2.273	
30/08/2022	6:00 p. m.	48	11	5.50	1375.000	0	0.125	0.01375	2.385	
31/08/2022	6:00 p. m.	72	11	5.80	1450.000	0	0.050	0.01450	2.420	
<b>TOTAL</b>						<b>2</b>	<b>2.500</b>	<b>0.080</b>	<b>14.124</b>	
									<b>3.920</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>7.84</b>	

Hoja de datos:			M6-PM-3 AL 85% NaCN 2000PPM			AGREGADO		ELIMINADO	NaCN acumulado (g)	Obs.
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)		
28/08/2022	6:00 p. m.	0	11	-	2000.000	2	2.000	0.000	0.000	Inicio
28/08/2022	10:00 p. m.	4	11	7.50	1875.000	0	0.125	0.01875	0.106	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)
29/08/2022	2:00 a. m.	8	11	7.50	1875.000	0	0.125	0.01875	0.213	
29/08/2022	6:00 a. m.	12	11	8.00	2000.000	0	0.000	0.02000	0.193	
29/08/2022	6:00 p. m.	24	11	8.00	2000.000	0	0.000	0.02000	0.173	
30/08/2022	6:00 a. m.	36	11	8.00	2000.000	0	0.000	0.02000	0.153	
30/08/2022	6:00 p. m.	48	11	8.00	2000.000	0	0.000	0.02000	0.133	
31/08/2022	6:00 p. m.	72	11	8.00	2000.000	0	0.000	0.02000	0.113	
<b>TOTAL</b>						<b>2</b>	<b>0.250</b>	<b>0.138</b>	<b>1.081</b>	
									<b>2.113</b>	
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>										
<b>Consumo de NaOH (Kg/TM)</b>			<b>4.0</b>			<b>Consumo NaCN (Kg/TM)</b>			<b>4.23</b>	

		Hoja de datos:				M7-PM-1 AL 90% NaCN 1000PPM		AGREGADO		ELIMINADO		
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.		
6/09/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1000.000	2	1.000	0.000	0.000	Inicio		
6/09/2022	10:00 p. m.	4	11	0.30	75.000	0	0.925	0.00075	0.924	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)		
7/09/2022	2:00 a. m.	8	11	0.45	112.500	0	0.888	0.00113	1.811			
7/09/2022	6:00 a. m.	12	11	1.50	375.000	0	0.625	0.00375	2.432			
7/09/2022	6:00 p. m.	24	11	1.00	250.000	0	0.750	0.00250	3.179			
8/09/2022	6:00 a. m.	36	11	2.00	500.000	0	0.500	0.00500	3.674			
8/09/2022	6:00 p. m.	48	11	3.60	900.000	0	0.100	0.00900	3.765			
9/09/2022	6:00 p. m.	72	11	3.50	875.000	0	0.125	0.00875	3.882			
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>3.913</b>	<b>0.031</b>	<b>19.668</b>			
									Cianuro consumido	4.882		
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>												
Consumo de NaOH (Kg/TM)			4.0			Consumo NaCN (Kg/TM)			9.76			

		Hoja de datos:				M8-PM-2 AL 90% NaCN 1500PPM		AGREGADO		ELIMINADO		
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.		
6/09/2022	6:00 p. m.	0	11	-	1500.000	2	1.500	0.000	0.000	Inicio		
6/09/2022	10:00 p. m.	4	11	0.35	87.500	0	1.413	0.00088	1.412	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)		
7/09/2022	2:00 a. m.	8	11	1.50	375.000	0	1.125	0.00375	2.533			
7/09/2022	6:00 a. m.	12	11	2.50	625.000	0	0.875	0.00625	3.402			
7/09/2022	6:00 p. m.	24	11	4.00	1000.000	0	0.500	0.01000	3.892			
8/09/2022	6:00 a. m.	36	11	5.60	1400.000	0	0.100	0.01400	3.978			
8/09/2022	6:00 p. m.	48	11	5.50	1375.000	0	0.125	0.01375	4.089			
9/09/2022	6:00 p. m.	72	11	6.00	1500.000	0	0.000	0.01500	4.074			
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>4.138</b>	<b>0.064</b>	<b>23.378</b>			
									Cianuro consumido	5.574		
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>												
Consumo de NaOH (Kg/TM)			4.0			Consumo NaCN (Kg/TM)			11.15			

		Hoja de datos:				M9-PM-3 AL 90% NaCN 2000PPM		AGREGADO		ELIMINADO		
fecha	Hora	Tiempo de agitación(Hr)	pH	AgNO3 (ml)	FNaCN (ppm)	NaOH (g)	NaCN (g)	NaCN (g)	NaCN acumulado (g)	Obs.		
6/09/2022	6:00 p. m.	0	11	-	2000.000	2	2.000	0.000	0.000	Inicio		
6/09/2022	10:00 p. m.	4	11	2.00	500.000	0	1.500	0.00500	1.495	Titulación con 10 ml de solución (factor 250)		
7/09/2022	2:00 a. m.	8	11	3.00	750.000	0	1.250	0.00750	2.738			
7/09/2022	6:00 a. m.	12	11	1.30	325.000	0	1.675	0.00325	4.409			
7/09/2022	6:00 p. m.	24	11	3.00	750.000	0	1.250	0.00750	5.652			
8/09/2022	6:00 a. m.	36	11	5.00	1250.000	0	0.750	0.01250	6.389			
8/09/2022	6:00 p. m.	48	11	6.00	1500.000	0	0.500	0.01500	6.874			
9/09/2022	6:00 p. m.	72	11	7.90	1975.000	0	0.025	0.01975	6.880			
					<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>6.950</b>	<b>0.071</b>				
									Cianuro consumido	8.880		
<b>CONSUMO DE REACTIVOS</b>												
Consumo de NaOH (Kg/TM)			4.0			Consumo NaCN (Kg/TM)			17.76			

### Anexo 3. Fotografías

**Foto 1: Blending de 480 tm para proceso en planta**



**Foto 2: Molinos pulverizadores de capacidad de 30 kg**



**Foto 3: Molinos pulverizadores de capacidad de 30 kg**



**Foto 4: Cuarteo de mineral pulverizado por el método Damero**



**Foto 5: Pulpa en reactor de agitación en mesa de rodillos**



**Foto 6: Mesa de rodillos para correr pruebas metalúrgicas**



**Foto 7: balanzas de pesajes**



**Foto 8: Pulverizadora de Anillos**



## Anexo 4. Resultados Análisis químico



¡COMPROMISO CON SU GENTE!  
DATOS DEL CLIENTE

### CERTIFICADO DE ANALISIS RA-LQF-0922-0103

A SOLICITUD DE :	DANIEL ORLANDO MANTILLA ATACURURI
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	NEWMONT
CANTIDAD DE MUESTRAS :	01
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 12/09/2022 - 7:00 PM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON MINERAL
PESO APROX. :	2.0 kg
CODIGO EXTERNO :	Cabeza - 1
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-0922-0103
FECHA DE RESULTADOS :	14/09/2022

#### DETALLES DEL REPORTE

CODIGO	MALLA	PESO gr	LEY Au Oz/Tc	PONDERADO LEY Au Oz/Tc	PONDERADO LEY Au Gr/Tm
Cabeza - 1	m +140	9.93	0.143	0.454	15.554
	m -140	190.07	0.470		

#### METODOS DE REFERENCIA

##### \*Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Newmont

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.

ANDRÉS MARTÍN CASTILLO CHÁVEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
Nº DE COLEGIATURA: 217241  
DNI: 46516072

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de los Registros Públicos de Nazca.  
EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.  
DOMICILIO FISCAL: JR. LOS MIRTO S NRO. 590 - DPTO.2804 URB. SAN EUGENIO (EDIFICIO LUX) LIMA - LIMA  
- LINCE - RUC: 20494415501 - E-MAIL: minerafidami@hotmail.com



¡COMPROMISO CON SU GENTE!

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	DANIEL ORLANDO MANTILLA ATAUCURI Y ANDERSON HUARCA GARATE
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	09
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 28/10/2022 - 3:10 PM
CARACTERISTICAS :	Botella plastica con sol. Cianurada y Bolsa sellada con mineral pulv.
PESO APROX. :	500 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	Pruebas Met. 72 hrs
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1022-0323
FECHA DE RESULTADOS :	30/10/2022

DETALLES DEL REPORTE

ITEM / LEY Au	SOLIDO (gr/tm)	LIQUIDO (gr/m3)
1000-80%	2.428	7.299
1500-80%	2.109	8.021
2000-80%	1.593	8.521

ITEM / LEY Au	SOLIDO (gr/tm)	LIQUIDO (gr/m3)
1000-85%	1.191	6.945
1500-85%	0.691	8.959
2000-85%	0.684	8.989

ITEM / LEY Au	SOLIDO (gr/tm)	LIQUIDO (gr/m3)
1000-90%	0.735	7.559
1500-90%	0.689	8.575
2000-90%	0.685	8.768

METODOS DE REFERENCIA

\*Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



  
**EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.**  
 ANDRES MARTIN CASTILLO CHAVEZ  
 JEFE DE LABORATORIO  
 N° DE COLEGIATURA. 217241  
 DNI: 46316072

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: JR. LOS MIRTOS NRO. 590 - DPTO.2804 URB. SAN EUGENIO (EDIFICIO LUX) LIMA - LIMA -

LINCE - RUC: 20494415501 - E-MAIL: minerafidami@hotmail.com





**¡COMPROMISO CON SU GENTE!**  
DATOS DEL CLIENTE

## CERTIFICADO DE ANALISIS RA-LQF-1022-0324

A SOLICITUD DE :	DANIEL ORLANDO MANTILLA ATAUCURI Y ANDERSON HUARCA GARATE
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	07
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 05/11/2022 - 11:50 AM
CARACTERISTICAS :	Botella plástica con sol. Cianurada
PESO APROX. :	1 Litro
CODIGO EXTERNO :	Pruebas Met. 2, 4, 8, 16, 32, 64 Y 72 hrs
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1022-0324
FECHA DE RESULTADOS :	07/11/2022

### DETALLES DEL REPORTE

ITEM / LEY Au	LIQUIDO (mg/l)	Tiempo (hr)
A 2000 ppm de CN - 85% de granulometria malla -200	1.4	2
	2.2	4
	3.2	8
	4.2	16
	5.6	32
	7.1	64
	7.22	72

### METODOS DE REFERENCIA

#### \*Determinación de Oro total en minerales no ferrosos - Método Gravimétrico

Este reporte de ensayo no podrá ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



**EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.**

**ANDRES MARTIN CASTILLO CHAVEZ**  
JEFE DE LABORATORIO  
N° DE COLEGIATURA: 217241  
DNI: 46316072

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: JR. LOS MIRTOS NRO. 590 - DPTO. 2804 URB. SAN EUGENIO (EDIFICIO LUX) LIMA - LIMA - LINCE - RUC: 20494415501 - E-MAIL: minerafidami@hotmail.com



**EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.**

Nueva Jerusalén-Sancos-Luzmas-Ayacucho

**"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"**

**CARTA N° 09 G.G.M/FIDAMI S.A.**

**A** : DANIEL MANTILLA ATAUQUI  
ANDERSON HUARCA GARATE  
**BACH. INGENIERIA METALURGICA**

**DE** : RAÚL HUANACO BAUTISTA  
**GERENTE GENERAL EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.**

: DANIEL ALBERTO ORTIZ SAAVEDRA  
**JEFE DE PLANTA EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.**

: ANDREE MARTIN CASTILLO CHAVEZ  
**JEFE DE LABORATORIO MINERA FIDAMI S.A.**

**FECHA** : 27 DE JULIO DEL 2023

Reciban un saludo cordial a nombre de la empresa minera FIDAMI S.A.

En respuesta a su solicitud, por medio del presente se respalda la elaboración de la tesis denominada **"OPTIMIZACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO Y GRANULOMETRÍA DEL MINERAL EN LA EXTRACCIÓN DEL ORO POR EL PROCESO CARBÓN EN LIXIVIACIÓN EN LA EMPRESA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO"** el cual se realizó en las instalaciones de la planta de Beneficio Datelli 6 de la empresa minera FIDAMI S.A.

En representación de la Empresa Minera Fidami S.A., agradecemos su aporte en mejora del proceso de cianuración de nuestra planta; así mismo, nos elogia poder contribuir en su formación profesional.

Atentamente,

  
EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.  
DANIEL ALBERTO ORTIZ SAAVEDRA  
JEFE DE PLANTA  
DNI: 4611412

  
EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.  
Raul Huanaco Bautista  
GERENTE GENERAL  
DNI. 43631306

  
EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.  
ANDREE MARTIN CASTILLO CHAVEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
DNI: 4611412

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca

EMPRESA MINERA FIDAMI S.A. – JR. LOS MIRTOS N° 590 DPTO. 2804 URB. SAN EUGENIO

LINCE - LIMA - LIMA - RUC: 20494415501 - E-MAIL: minerafidami@hotmail.com