



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA Y LA CONCENTRACION DE  
CIANURO EN LA LIXIVIACION DE ORO DE CONCENTRADOS  
GRAVIMETRICOS ARSENO-PIRITICOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO**

**PROCNEAL SAC.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. RONALD CALLASACA CASAZOLA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA Y  
LA CONCEN**

AUTOR

**RONALD CALLASACA CASAZOLA**

RECUENTO DE PALABRAS

**27967 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**128881 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**104 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.3MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 27, 2023 10:19 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 27, 2023 10:20 PM GMT-5**

● **10% de similitud general**

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

- 10% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Cross
- 6% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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

  
Julio Roberto Hapuerb Gil  
ASESOR





## DEDICATORIA

### A MI FAMILIA

Por todo el apoyo incondicional que me brindaron durante mi formación académica universitaria, así mismo muy agradecido por el apoyo emocional de cada uno de ellos, ¡gracias de todo corazón!

### A MI PADRE JACINTO PABLO

Por todo su apoyo incondicional de buena persona, amigo y sobre todo padre, que siempre brindo lucha y perseverancia para cumplir mis metas académicas y profesionales. ¡muchas gracias papa!

### A MI ESPOSA E HIJO

Por todo su apoyo en esta nueva etapa de nuestras vidas y a mi hijo por su amor absoluto que día a día nos brinda.

### A MIS HERMANOS MARLENY Y LINO DAVID

Por sus grandes corazones de amabilidad, ejemplo de lucha constante y superación.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestro señor Dios, por la vida y la buena salud que nos brinda para poder desarrollarnos académico y profesionalmente.

A mis padres y familiares como agradecimiento a su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante mi formación tanto personal como profesional.

Un agradecimiento profundo y sincero a todo el personal de la Empresa PROCESADORA NEAL SAC. Por todo el apoyo y amistad que me brindaron durante el tiempo que permanecí realizando mis prácticas pre-profesionales.

A mi facultad de ingeniería metalúrgica y a toda la plana docente que día a día nos brindaron todos los conocimientos necesarios para poder desarrollarnos profesionalmente.

A mi asesor de tesis Mag. Julio Alberto Maquera Gil por todo su apoyo y paciencia absoluta al realizar mi proyecto de investigación. Muchas gracias.



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN .....18**

**ABSTRACT.....19**

**INTRODUCCIÓN .....20**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCION**

**1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA.....22**

**1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA .....23**

1.2.1. Pregunta general .....23

1.2.2. Preguntas especificas .....23

**1.3. FORMULACION DE HIPOTESIS .....23**

1.3.1. Hipotesis general .....23

1.3.2. Hipotesis especificas .....23

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....24**

1.4.1. Objetivo general .....24



1.4.2. Objetivos especificos .....	24
<b>1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION .....</b>	<b>24</b>
<b>1.6. CARACTERISTICAS DEL LUGAR DE INVESTIGACION.....</b>	<b>25</b>
1.6.1. Ubicación y accesibilidad .....	25

## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

<b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 CONCEPTOS TEORICOS.....</b>	<b>32</b>
2.2.1. Caracteristicas y propiedades del oro.....	32
2.2.1.1 ORO (Au).....	32
2.2.1.2 PLATA (Ag) .....	32
2.2.1.3 Propiedades fisicas .....	33
2.2.1.4 Propiedades quimicas.....	33
2.2.1.5 Propiedades mecanicas .....	34
2.2.2. Minerales de oro nativo.....	34
2.2.3. Oro asociado a sulfuros .....	35
2.2.4. Ocurrencias del oro .....	35
2.2.5. Minerales refractarios.....	36
2.2.5.1. Causas de la refractariedad .....	36
2.2.6. Reacciones de la cianuracion .....	37
2.2.6.1. Aspectos termodinamicos .....	37
2.2.6.2. Aspectos cineticos.....	41
2.2.7. Varibles en el proceso de lixiviacion .....	42
2.2.7.1. Granulometria .....	42



2.2.7.2.	Efecto de la concentracion de cianuro y oxigeno.....	43
2.2.7.3.	Efecto del pH .....	44
2.2.7.4.	Tiempo de lixiviacion .....	44
2.2.7.5.	Mineralogia del mineral .....	45
2.2.7.6.	Otras variables.....	45
<b>2.3</b>	<b>PROCESO DE CIANURACION CONVENCIONAL .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4</b>	<b>DEFINICION DEL CIANURO .....</b>	<b>47</b>
2.4.1.	¿Que es el cianuro? .....	47
2.4.2.	Cianuro en soluciones .....	48
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y METODOS</b>		
<b>3.1</b>	<b>MATERIAL DE INVESTIGACION .....</b>	<b>49</b>
3.1.1	Poblacion.....	49
3.1.2	Muestra.....	49
3.1.3	Muestreo.....	49
<b>3.2</b>	<b>MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION.....</b>	<b>50</b>
3.2.1	Materiales de laboratorio metalurgico .....	50
3.2.2	Equipos, herraminetas y materiales de medicion .....	51
<b>3.3</b>	<b>METODO Y DISEÑO DE INVESTIGACION.....</b>	<b>52</b>
3.3.1	Metodologia – metodo .....	52
3.3.2	Diseño experimental.....	53
3.3.2.1.	Variable independiente .....	53
3.3.2.2.	Variable dependiente.....	53
3.3.2.3.	Variables paramétricas .....	53



<b>3.4</b>	<b>DETERMINACION DE NIVELES .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5</b>	<b>PROCEDIMIENTO DEL METODO EXPERIMENTAL DE LAS 16 PRUEBAS DE LIXIVIACION.....</b>	<b>55</b>
<b>3.6</b>	<b>DATOS DE LOS EQUIPOS QUE SE USO EN EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>58</b>
3.6.1	Concentrado gravimetrico.....	58
3.6.2	Ro-tap.....	58
3.6.3	Juego de tamiz.....	58
3.6.4	Molino de bolas nivel laboratorio .....	58
3.6.5	Cocina industrial .....	59
3.6.6	Banco de celdas de agitacion .....	59
3.6.7	Insumos de lixiviacion .....	59
3.6.8	Horno de fundicion .....	60
3.6.9	Microbalanzas .....	60
3.6.10	Equipo de adsorcion atomica .....	60
<b>3.7</b>	<b>TECNICA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>60</b>
<b>3.8</b>	<b>DETERMINACION DE LOS PARAMETROS PARA LAS PRUEBAS.....</b>	<b>60</b>
3.8.1	Experimentales determinacion de la moliendabilidad del mineral .....	60
3.8.2	Determinacion del analisis quimico del mineral por oro .....	63
3.8.3	Reactivos utilizados para las pruebas de lixiviacion.....	63
3.8.3.1.	Cianuro de sodio ( $\text{NaCN}^-$ ) .....	63
3.8.3.2.	Soda caustica ( $\text{NaOH}^+$ ) .....	65
3.8.4	Descripcion de datos para la realiacion de las pruebas de lixiviacion .....	66
3.8.4.1.	Gravedad específica del mineral .....	66



3.8.4.2. Porcentaje de solidos.....	67
3.8.4.3. Dilución de pulpa .....	67
3.8.4.4. Densidad de pulpa.....	68
3.8.5 Preparacion de reactivos .....	68
3.8.5.1. Solución de yoduro de potasio al 5% .....	68
3.8.5.2. Solución de nitrato de plata.....	68

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

<b>4.1. DISPOSICION GENERAL DE LOS RESULTADOS DE LAS 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2. CINETICA DE LIXIVIACION DE LAS 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>74</b>
4.2.1. Cinetica de lixiviacion de las pruebas Y <sub>11</sub> ; Y <sub>21</sub> ; Y <sub>31</sub> ; Y <sub>41</sub> .....	75
4.2.2. Cinetica de lixiviacion de las pruebas Y <sub>12</sub> ; Y <sub>22</sub> ; Y <sub>32</sub> ; Y <sub>42</sub> .....	77
4.2.3. Cinetica de lixiviacion de las pruebas Y <sub>13</sub> ; Y <sub>23</sub> ; Y <sub>33</sub> ; Y <sub>43</sub> .....	79
4.2.4. Cinetica de lixiviacion de las pruebas Y <sub>14</sub> ; Y <sub>24</sub> ; Y <sub>34</sub> ; Y <sub>44</sub> .....	81
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

**Área:** Metalurgia extractiva

**Tema:** Hidrometalurgia

**Fecha de sustentación:** 19/04/2024



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Mapa grafico de la ubicación del proyecto.....	<b>26</b>
<b>Figura 2.</b> Diagrama eh-ph del sistema $\text{CN}^- - \text{H}_2\text{O}$ .....	<b>40</b>
<b>Figura 3.</b> Diagrama del equilibrio $\text{CN}^-/\text{HCN}$ .....	<b>40</b>
<b>Figura 4.</b> Mecanismo de la cianuración del AU.....	<b>42</b>
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de extracción en función al tiempo.....	<b>45</b>
<b>Figura 6.</b> Procedimiento experimental de moliendabilidad.....	<b>51</b>
<b>Figura 7.</b> Diagrama del procedimiento experimental.....	<b>57</b>
<b>Figura 8.</b> Principales especies mineralógicas presentes en el concentrado.....	<b>62</b>
<b>Figura 9.</b> Recuperación de oro vs granulometría 95% pasante.....	<b>71</b>
<b>Figura 10.</b> Recuperación de oro vs concentración de cianuro.....	<b>72</b>
<b>Figura 11.</b> Consumo de cianuro vs concentración de cianuro.....	<b>73</b>
<b>Figura 12.</b> Consumo de soda caustica vs concentración de cianuro.....	<b>74</b>
<b>Figura 13.</b> Grafica de cinética de lixiviación au vs tiempo de agitación de 1000 PPM. ..	<b>77</b>
<b>Figura 14.</b> Grafica de cinética de lixiviación au vs tiempo de agitación de 3000 PPM. ..	<b>79</b>
<b>Figura 15.</b> Grafica de cinética de lixiviación de au vs tiempo de agitación de 5000 PPM.	<b>80</b>
<b>Figura 16.</b> Grafica de cinética de lixiviación au vs tiempo de agitación de 10000 PPM.	<b>82</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Coordenadas geográficas de la Planta Procneal SAC. ....	26
<b>Tabla 2.</b> Vías de acceso a la planta de beneficio procneal SAC. ....	27
<b>Tabla 3.</b> Propiedades físicas y químicas del oro.....	33
<b>Tabla 4.</b> Principales usos del oro .....	37
<b>Tabla 5.</b> Tamaño de algunos minerales para lixiviación por agitación .....	43
<b>Tabla 6.</b> Análisis químico del mineral concentrado aurífero.....	49
<b>Tabla 7.</b> Determinación de variables .....	54
<b>Tabla 8.</b> Disposición general para diseño experimental y orden de prueba .....	55
<b>Tabla 9.</b> Moliendabilidad del mineral.....	61
<b>Tabla 10.</b> Tiempo de molienda a cada tamiz establecido .....	62
<b>Tabla 11.</b> Análisis químico au y sub producto plata.....	63
<b>Tabla 12.</b> Determinación del $\text{NaCN}^-$ para las pruebas en gramos .....	64
<b>Tabla 13.</b> Información sobre la composición del $\text{NaOH}^+$ .....	66
<b>Tabla 14.</b> Resultados de recuperaciones de oro de las 16 pruebas de acuerdo al diseño experimental .....	70
<b>Tabla 15.</b> Paramentos y resumen de las 16 pruebas de lixiviación .....	70
<b>Tabla 16.</b> Condiciones de trabajo de las pruebas experimentales .....	75
<b>Tabla 17.</b> Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 1000 PPM $\text{CN}^-$ a 48 HRS. Agitación.....	76
<b>Tabla 18.</b> Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 3000 PPM $\text{CN}^-$ en 48 HRS. Agitación.....	78



<b>Tabla 19.</b>	Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 5000 PPM $\text{CN}^-$ en 48 HRS. Agitación.....	<b>80</b>
<b>Tabla 20.</b>	Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 10000 PPM $\text{CN}^-$ en 48 HRS. Agitación.....	<b>81</b>



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A. ANALISIS QUIMICOS POR ENSAYO AL FUEGO .....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo A.1.</b> Certificado de análisis de Au y Ag del mineral de cabeza .....	<b>88</b>
<b>Anexo A.2.</b> Certificado de análisis de Au y Ag del relave de lixiviación con cianuro de las pruebas experimentales.....	<b>89</b>
<b>Anexo A.3.</b> Certificado de análisis de solución de Au por adsorción atómica de las pruebas experimentales de lixiviación con cianuro. ....	<b>90</b>
<b>Anexo A.4.</b> Certificado de análisis de solución de Ag por adsorción atómica de las pruebas experimentales de lixiviación con cianuro. ....	<b>91</b>
<b>ANEXO B. BALANCES METALURGICOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo B.1.</b> Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 7.42 kg/tm de $\text{NaCN}^-$ y 2.58 kg/tm de $\text{NaOH}^+$ . .....	<b>92</b>
<b>Anexo B.2.</b> Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 8.97 kg/tm de $\text{NaCN}^-$ y 2.83 kg/tm de $\text{NaOH}^+$ . .....	<b>93</b>
<b>Anexo B.3.</b> Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 10.69 kg/tm de $\text{NaCN}^-$ y 3.66 kg/tm de $\text{NaOH}^+$ . .....	<b>94</b>



- Anexo B.4.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 12.12 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 4.10 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**95**
- Anexo B.5.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 20.40 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**96**
- Anexo B.6.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 22.46 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.23 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**97**
- Anexo B.7.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 29.56 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 2.08 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**98**
- Anexo B.8.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 30.88 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 2.09 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**99**
- Anexo B.9.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 29.19 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**100**



- Anexo B.10.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 32.17 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.04 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**101**
- Anexo B.11.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 46.77 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.90 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**102**
- Anexo B.12.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 49.66 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.94 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**103**
- Anexo B.13.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 40.40 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**104**
- Anexo B.14.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 56.51 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.0 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**105**
- Anexo B.15.** Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 72.96 kg/tm de  $\text{NaCN}^-$  y 1.02 kg/tm de  $\text{NaOH}^+$ .  
.....**106**



<b>Anexo B.16.</b> Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 81.30 kg/tm de $\text{NaCN}^-$ y 1.01 kg/tm de $\text{NaOH}^+$ . .....	<b>107</b>
<b>ANEXO C. FOTOGRAFIAS</b> .....	<b>108</b>
<b>Anexo C.1.</b> Muestreo, cuarteo y toma de muestra del concentrado para la investigación	<b>108</b>
<b>Anexo C.2.</b> Toma de muestras del concentrado para análisis químico .....	<b>109</b>
<b>Anexo C.3.</b> Muestras para molienda, eliminación de humedad, tiempo de molienda l/s (1/1), preparación para agitación l/s (3/1). .....	<b>110</b>
<b>Anexo C.4.</b> Agitación de pruebas metalúrgicas, dosificación de $\text{NaCN}^-$ , $\text{NaOH}^+$ , filtración de muestras, toma de muestras liquidas.....	<b>111</b>
<b>Anexo C.5.</b> Titulación de la muestra, determinación del ph.....	<b>112</b>
<b>Anexo C.6.</b> Muestras de relave de lixiviación, fundición, copelación, ataque y pesaje de la muestra. ....	<b>113</b>
<b>Anexo C.7.</b> Muestras liquidas de lixiviación, filtración, calibración del equipo adsorción atómica, análisis de la muestra y toma de datos. ....	<b>114</b>



## ACRÓNIMOS

<b>Au</b>	: Oro.
<b>CN</b>	: Cianuro.
<b>[CN<sup>-</sup>]</b>	: Concentración de cianuro.
<b>ppm</b>	: Partes por millón.
<b>g</b>	: Gramos.
<b>tn</b>	: Toneladas
<b>G.E</b>	: Gravedad específica.
<b>Gr.</b>	: Granulometría (% pasante malla).
<b>NaOH</b>	: Hidróxido de sodio.
<b>Kg</b>	: Kilogramo.
<b>M3</b>	: Metros cúbicos.
<b>NaCN<sup>-</sup></b>	: Cianuro de sodio.
<b>Rec.</b>	: Recuperación
<b>S.A.C.</b>	: Sociedad Anónima Cerrada.
<b>Procneal.</b>	: Procesadora neal



## RESUMEN

La planta de beneficio Procesadora Neal SAC, está ubicada en el distrito de Chala, Provincia de Caraveli, Departamento de Arequipa, actualmente brinda servicios de procesamientos de minerales auríferos y argentíferos a empresas externas como: compañía minera SANTA BARBARA SMRL – TRUJILLO, empresa que concentra minerales auríferos refractarios con alto contenido de pirita y arseno-pirita el cual afronta problemas de baja recuperación de oro, con una ley de cabeza de  $\pm 113$  g/tn y una ley de relave  $\pm 20$  g/tn, lo que conlleva a una pérdida para la Empresa Minera, motivo por el cual se realiza la investigación titulada: “INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA Y LA CONCENTRACION DE CIANURO EN LA LIXIVIACION DE ORO DE CONCENTRADOS GRAVIMETRICOS ARSENO-PIRITICOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO PROCNEAL SAC”. Siendo el objetivo principal: “Determinar el efecto de la granulometría y la concentración de cianuro en la lixiviación de oro a partir de mineral refractario provenientes de concentrados gravimétricos arseno-piriticos de la MINERA SANTA BARBARA – TRUJILLO”. El proyecto de investigación consiste en evaluar la recuperación de oro, a partir del proceso de lixiviación intensiva con cianuro en celdas de agitación a diferentes granulometrías de molienda desarrollándose en 16 pruebas experimentales. Se determinó que la granulometría si influye en la recuperación de oro, También podemos afirmar que la concentración de  $\text{CN}^-$  es influyente desde ciertas concentraciones, es decir por debajo de 1000 ppm las recuperaciones son menores alrededor del 83.60% en oro en granulometría altas (#-325 y #-400) y por encima de 3000 ppm las recuperaciones son mayores alrededor del 94.24% a 95.87% en oro a granulometría altas (#-325 y #-400). Sin embargo, la prueba  $Y_{43}$  mostro la máxima recuperación del 95.87% en Au a granulometría de 95% pasante #-400 y concentración de CN a 5000 ppm en 48 horas de agitación con un consumo de 49.66 kg/TN de NaCN y 1.94 kg/TN de NaOH y una recuperación mínima en la prueba  $Y_{11}$ , del 62.42% en Au a granulometría de 95% pasante #-200 y una concentración de  $\text{CN}^-$  a 1000 ppm en 48 horas de agitación con un consumo de 7.42 kg/TN de NaCN y 2.58 kg/TN de NaOH.

**Palabras claves:** Cianuración, Evaluación, Granulometría, Operación, Recuperación



## ABSTRACT

The processing plant Procesadora Neal SAC, is located in the district of Chala, Province of Caraveli, Department of Arequipa, It currently provides gold and silver mineral processing services to external companies such as: SANTA BARBARA SMRL MINING COMPANY – TRUJILLO, company that concentrates refractory gold ores with high content of pyrite and arseno-pyrite which faces problems of low gold recovery, with a head grade of  $+113$  g/tn and a tailings grade of  $+20$  g/tn, which leads to a loss for the Mining Company, reason for which the research titled: "INFLUENCE OF GRANULOMETRY AND CYANIDE CONCENTRATION IN THE LEACHING OF GOLD FROM ARSENO-PYRITIC CONCENTRATES IN THE PROCNEAL SAC BENEFIT PLANT". Being the main objective: "To determine the effect of particle size and cyanide concentration on the leaching of gold from refractory ore from arseno-pyritic gravimetric concentrates of the MINERA SANTA BARBARA – TRUJILLO". The research project consists of evaluating the recovery of gold from the intensive cyanide leaching process in agitation cells to different grinding granulometries developed in 16 experimental tests. It was determined that the granulometry does influence the recovery of gold, We can also affirm that the concentration of  $CN^-$  is influential from certain concentrations, i.e. below 1000 ppm the recoveries are lower About 83.60% in gold at high grain sizes (#-325 and #-400) and above 3000 ppm recoveries are higher around 94.24% to 95.87% in gold to high grain sizes (#-325 and #-400). However, the Y43 test showed the maximum recovery of 95.87% in Au at 95% grain size #-400 and CN concentration at 5000 ppm in 48 hours of stirring with a consumption of 49.66 kg/TN of NaCN and 1.94 kg/TN of NaOH and a minimum recovery in the Y11 test, of 62.42% in Au at a granulometry of 95% through #-200 and a concentration of  $CN^-$  at 1000 ppm in 48 hours of agitation with a consumption of 7.42 kg/TN of NaCN and 2.58 kg/TN of NaOH.

**Keywords:** Cyanuration, Evaluation, Granulometry, Operation, Recovery



## INTRODUCCIÓN

El actual proyecto de investigación es para proveer y difundir un alcance técnico adecuado para la mejora del proceso de lixiviación de oro de concentrados auríferos refractarios provenientes de la empresa MINERA SANTA BARBARA SMRL- TRUJILLO. En la actualidad la empresa PROCESADORA NEAL SAC, es una planta de beneficio que brinda servicio de procesamiento de minerales a terceros; como proveedor tenemos a la MINERA SANTA BARBARA- TRUJILLO. El tratamiento que realiza PROCNEAL SAC es el de lixiviación con cianuro de sodio por agitación mediante el método CIL (carbón en lixiviación).

La empresa PROCNEAL SAC – que está ubicada en el distrito de Chala, a través de su planta de beneficio, viene desarrollando el tratamiento lixiviación con cianuro de sodio de concentrados gravimétricos, teniendo como antecedentes ley de oro que oscilan entre 85 a 110 g/tn, cuya formación mineralógica es complicada ya que incluye minerales arseno-piríticos con abundante contenido de arsénico y piritita, de esta manera estableciéndose en un problema latente por ser el principal cianicida. Obteniendo como resultado una recuperación aproximadamente entre 80 - 83 % de oro, con una Gr. en la molienda de 92 % malla-200 (molienda convencional para minerales sulfurados y oxidados), su consumo de cianuro es elevado y tiene baja disolución del oro que elevaron el costo de procesamiento del concentrado.

La empresa cuenta con un inventario de una tolva de fino, un molino 6´x8´, un hidrociclón D-6, cinco tanques de agitación, área de cosecha de carbón, área de preparación de reactivos y una relavera.



El principal objetivo del presente trabajo es el mejoramiento del tratamiento de minerales de concentrados gravimétricos en tanques de agitación de la planta y cómo influirá en la recuperación del metal valioso en base al tamaño de liberación de la partícula (granulometría) y obtener la concentración de cianuro adecuado para todo el proceso de cianuración y así lograr mejores beneficios económicos para la empresa.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

### 1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA

La empresa procesadora NEAL SAC trata los concentrados auríferos procedentes de la planta de concentración gravimétrica de la MINA SANTA BARBARA SMRL - Trujillo, hoy por hoy aprovecha concentrados con altos contenidos de Au y Ag, cuyos concentrados años atrás era dócil al tratamiento con cianuro de sodio y la extracción llegaba al 96% de oro a 92% malla -200 en la entrada al primer tanque, en la actualidad el concentrado presenta diferentes especies mineralógicas que tienen alto contenido de arsénico y pirita (cianicidas), así como también su refractariedad, ocasionando mermas de oro en los relaves de lixiviación con cianuro. Hoy presentan inconvenientes en relación a las bajas recuperaciones de oro, por lo que solo se recupera el 83 % en oro en promedio, en parámetros de 92% malla -200, ocasionando pérdidas económicas muy significativas para la empresa minera.

Sin embargo, de acuerdo a un análisis mineralógico se encuentra en grandes cantidades la pirita y arsenopirita, lo cual dentro de su matriz está asociado el metal valioso y por lo general es cuando ocurre una gran pérdida de oro debido a utilizar procesos convencionales en minerales refractarios. Cabe mencionar también que de acuerdo al arsénico y otros elementos como el cobre sus consumos de cianuro de sodio son elevados ya que son los principales cianicidas.

Es por ello que se está realizando 16 pruebas experimentales de cianuración en celdas de agitación a diferentes tamaños de granulometría y concentración de cianuro, y de esta manera poder determinar si existe parámetros de operación accesible y rentables en el proceso convencional con cianuro de sodio.



## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Será posible incrementar el porcentaje de recuperación de oro en concentrados gravimétricos arseno-piríticos evaluando la granulometría y concentración de cianuro en un proceso de lixiviación en la planta de beneficio Procesadora Neal SAC?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

¿Cuál será la granulometría adecuada para la lixiviación del concentrado gravimétrico arseno-pirítico en la planta de beneficio PROCNEAL SAC?

¿Cuál será la concentración de cianuro adecuado para la lixiviación del concentrado gravimétrico arseno-pirítico en la planta de beneficio PROCNEAL SAC?

## **1.3. FORMULACION DE HIPOTESIS**

### **1.3.1. Hipotesis general**

Evaluando diferentes granulometrías y concentraciones de cianuro de sodio aumentar la recuperación de oro a partir de concentrados arseno-piríticos en la planta de beneficio PROCNEAL SAC.

### **1.3.2. Hipotesis específicas**

Al aumentar el grado de liberación de la partícula (granulometría) en la etapa de molienda, ¿aumentara la disolución de oro en contacto con cianuro de sodio?



Determinando la concentración de cianuro de sodio adecuado, ¿reduciremos los costos de procesamiento del concentrado?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **1.4.1. Objetivo general**

“Determinar el efecto de la granulometría y la concentración de cianuro en la lixiviación de oro a partir de concentrados gravimétricos arseno-piriticos en la planta de beneficio PROCNEAL SAC, mineral que es proveniente de la MINERA SANTA BARABARA – TRUJILLO”.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

“Evaluar la influencia de la granulometría en la lixiviación de oro utilizando cianuro de sodio”

“Evaluar la concentración de cianuro adecuado para la disolución de oro en el proceso”.

## **1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

El presente trabajo se justifica del punto de vista económico, ya que es un concentrado con una ley de cabeza alta y una baja disolución de oro en un proceso de lixiviación con cianuro de sodio y por ende su baja recuperación del metal valioso en la planta de beneficio PROCNEAL SAC. Su alto contenido de arsénico y pirita son parte de este problema, motivo por los cuales se evaluará el tamaño de liberación de partícula (granulometría) y la concentración de cianuro para mejorar su disolución en el proceso de lixiviación y mejorando estos parámetros en la operación pueda ser beneficioso económicamente para la empresa.



También el presente trabajo se justifica de punto de vista informativo, ya que estos tipos de minerales son poco estudiados y según bibliografías los minerales provenientes de la ciudad de Trujillo tienen este tipo de mineralogía compleja, por lo cual realizar una evaluación con parámetros de operación más exigentes pueda ayudar a mejorar en tener datos de operación ya evaluados para este tipo de mineral lo cual sirva también como antecedente ya estudiados para minerales similares a este caso y más aún si son aplicables a nivel industrial, ya que cada yacimiento de minerales tienen distintos tipos de comportamiento.

## **1.6. CARACTERISTICAS DEL LUGAR DE INVESTIGACION**

### **1.6.1. Ubicación y accesibilidad**

La planta de beneficio PROCESADORA NEAL S.A.C. se ubica en el Distrito de Chala, Provincia Caraveli, Departamento de Arequipa. Geográficamente se localiza en el sur del Perú.

Su situación geográfica aproximadamente es:

- Altitud promedio 18 m.s.n.m.
- Temperatura promedio 25 °C máxima
- Temperatura mínima 15 °C mínimo
- El tipo de clima que posee es: calor húmedo.
- La comunicación es telefonía móvil e internet.

### Tabla 1.

*Coordenadas geográficas de la planta PROCNEAL SAC.*

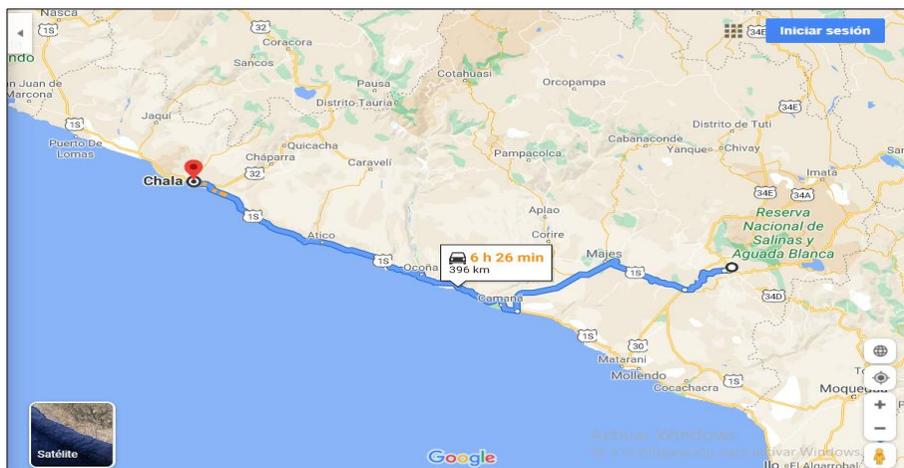
<b>Coordenadas UTM</b>	NORTE : 8254534.18 ESTE : 578933.18
<b>Coordenadas geográficas</b>	Latitud Sur: 15° 50' 44" S Longitud Oeste: 74° 14' 47" W

Nota. elaboración propia

Los poblados se comunican con la ciudad de Arequipa, siendo las vías posibles: Carretera Arequipa - Valle de Majes - Camaná - Chala: Toda la Carretera Correctamente Asfaltada y Señalizada, tomando el Camino rumbo Noroeste por el Kilómetro 48, pasando por el Cruce y Vítor hasta llegar al desvío hacia Camaná, siguiendo la carretera pegada al océano pasando por Ocoña y Atico hasta llegar al poblado de Chala en un viaje que dura 9 Horas.

### Figura 1.

*Mapa grafico de la ubicación del proyecto.*



Nota. ministerio de transporte y comunicaciones



**Tabla 2.**

*Vías de acceso a la planta de beneficio PROCNEAL SAC.*

<b>TRAMOS</b> (Arequipa-Planta)	<b>DISTANCIA</b> (Km)	<b>VÍA</b> (Terrestre)	<b>TIEMPO</b> (Horas)	<b>CONDICIÓN</b>
<b>Arequipa – Chala</b>	630	Asfaltada	7 h 30min.	Buena
<b>Chala – Planta</b>	3	Asfaltada	00h 10min.	Buena
<b>TOTAL</b>			7 h 40min.	

Nota. Elaboración propia



## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

“RECUPERACIÓN DE ORO DE UN MINERAL REFRACTARIO”. El estudio de tratamientos de los minerales complejos es para mejorar la recuperación de los metales de interés, es preciso experimentar otros insumos adicionales que permita la extracción adecuada de los metales por el proceso de cianuración, se tiene en cuenta las variables que se manejan en este proceso, granulometría de la partícula y el factible uso de cambio de reactivos. Si bien es cierto existen yacimientos de minerales sulfurados de Oro y Plata, que llevan interferentes que obstaculizan su extracción como: Pirrotita, Calcopirita, Pirita, Arsenopirita, etc. al usar procesos convencionales, no son económicamente viables debido a que el oro esta en tamaños microscópicos en forma libre o encapsulado en minerales sulfurados, la apariencia de estos minerales de sulfuros de hierro y metales base de minerales de arsénico, antimonio, bismuto, etc. ocasionan un derroche de consumo de cianuro o también pueden reaccionar con el oxígeno presente en la solución, retrasando la disolución de Au, estimando largos ciclos de lixiviación y bajas recuperaciones de Au; por lo que es necesario periodos previas antes de someter a este tipo de mineral a cianuración. Las pruebas del diseño experimental tipo factorial aportan a tener excelentes recuperaciones de oro de 86.7 y 87.1% respectivamente. (Ccori Huamani, 2018).

“EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO Y LA GRANULOMETRÍA DE UN MINERAL OXIDADO, EN LA RECUPERACIÓN DE ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN. CACHACHI – CAJAMARCA” El presente trabajo de (ESCALANTE, 2016) Tuvo como objetivo evaluar la mayor recuperación del oro y ver la



rentabilidad del proceso mediante pruebas metalúrgicas para ello uso el método experimental, asignando distintas pruebas de cianuración una de las cuales tuvo una concentración de cianuro de 800 ppm y a una granulometría malla #140 Obteniendo como resultado una recuperación de oro del 91.47%, y tuvo como conclusión que aun sosteniendo esta estimación podemos pensar que la recuperación es baja a cotejo de otros éxitos investigados y esto se debe principalmente a la disposición de otros metales que obran como cianicidas lo cual elaboran que sea un proceso poco rentable. Si bien es cierto que (ESCALANTE, 2016) también menciona que la concentración de Cianuro si influye en la recuperación de Oro; la Granulometría si influye en la recuperación de Oro. (Escalante, 2016)

“EVALUACION DE CUATRO METODOS PARA RECUPERACION DE ORO A PARTIR DE UN MINERAL REFRACTARIO”. El proyecto tiene como base la comparación de los pretratamientos de oxidación química, oxidación biológica, tostación y molienda ultra fina los cuales fueron estudiados a un concentrado refractario de Velardeña, para aprovechar el oro admitiendo como base la parte de recuperación y la protección ambiental, las metodologías utilizadas fueron de método experimental, apoyado en las alteraciones de estructura que haya durante el periodo de oxidación. Obteniendo como resultados las siguientes recuperaciones de oro: oxidación química 1.50%, biooxidación al 5% de sólidos 36.25%, tostación 37.00% y molienda ultra fina 21.50%. se tuvo como conclusión la propuesta de los tratamientos de oxidación biológica y molienda ultra fina como los “más accesibles” ambientalmente y alcanzar recuperaciones de oro agradables para el mineral refractario a investigar. (MADRID, 2018)

“PROCESO DE LIXIVIACIÓN DINÁMICA DE MINERALES AURÍFEROS DE BAJA LEY EN SMRL. SAN JUAN CIEN DE CABANILLA –PUNO” El trabajo de



investigación que realizo (TAYPE, 2013) Es la cianuración por agitación la cual uso el método experimental, realizando pruebas de cianuración y estimando variables como; concentración de NaCN principal de valores de 0.75 g/Lts. de NaCN y 1.25 g/Lts. de NaCN, a una liberación de partícula de 325-400 malla, dilución S/L: 1/3, pH: 10.5, a temperatura ambiente, en donde se los resultados que se obtuvieron son los siguientes; con una recuperación de oro 86.6%, 69.1% y el gasto de insumos: 7.88 kg./tn. de cianuro de sodio, 7.13 kg/tn de cianuro de sodio y 8.5 kg/tn , 8.5 kg/tn de óxido de calcio. A si vez se llevó a cabo el boceto de diagrama de flujo variado de lixiviación dinámica de minerales auríferos y argentíferos. Teniendo como conclusión que el procedimiento es idóneo para el mineral de cianuración por agitación, ya que la liberación de la partícula a tamaños muy fina es idónea para este caso de tratamiento. (TAYPE, 2013)

“PRETRATAMIENTO DE LA LIXIVIACIÓN DE UN MINERAL REFRACTARIO DE ORO Y PLATA ASOCIADO A SULFUROS CON LA ADICIÓN DE SULFURO DE SODIO E HIDRÓXIDO DE SODIO” El tema de investigación de (COAGUILA CORNEJO, 2018) resalta que al efectuar estudios al mineral nos dio valores de 16.183 g/tn de oro y 55.00 g/tn de plata que se tiene como ley de cabeza, en el cual sobresalió la arcilla, cuarzo y sulfuros como la estibina, pirita y pirargirita; el estudio mineralógico manifestó que existe una aleación de oro y plata principalmente acompañado con andorita ( $Sb_3PbAgS_6$ ) que es el periodo de plata antimonial más valioso. Como dato se tiene que la cianuración del mineral refractario sin pretratamiento arrojó una extracción de Au de 62% y Ag de 41% y como resultado de la investigación con pretratamiento se alcanzó una extracción de Au de 85.73% y Ag de 88.12% estimando claramente un gran crecimiento del porcentaje de extracción. Cabe mencionar que (COAGUILA CORNEJO, 2018) tuvo la extracción más elevada de Au y Ag bajo los siguientes criterios: concentración de Na<sub>2</sub>S de



4.1 mol/Lts, NaOH una concentración de 3.75 mol/Lts, tiempo de 2.5 Hrs. y un porcentaje de sólidos de 25%. Como conclusión se obtiene lo siguiente: que los parámetros más relevantes son el Na<sub>2</sub>S e NaOH, ya que con un pretratamiento se puede elevar la extracción de Au y Ag, esto por la remoción de antimonio del 70.25%. Este estudio realizado es aplicable a minerales refractarios que contengan Sb. (COAGUILA CORNEJO, 2018)

“TRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS AURÍFEROS POR CIANURACIÓN, EN LA PLANTA DE BENEFICIO MINARSA S.A. YANAQUIHUA - AREQUIPA” El tratamiento en la planta de beneficio Minarsa S.A. Yanaquihua, se llevó a cabo por las bajas recuperaciones de oro con cianuro de tan solo 66%, perdiéndose el 36% de oro en los relaves de cianuración, ya que son minerales auríferos piriticos, teniendo como ley de cabeza de 12.46 g/tn. Para el trabajo ante todo se ha realizado la preparación mecánica de minerales usando una ch-mandíbula 9´x12´ después se realizó la etapa de molienda obteniendo una granulometría de malla -325 (45µm), luego se realizó las pruebas de cianuración, para ello se ha tomado 3 variables, la concentración de CN<sup>-</sup>, la densidad de pulpa y la presión de aire, se ha determinado que ha una concentración de cianuro de 0.27 g/L, la densidad de pulpa a 1300 g/L y una presión de aire a 14 kg/cm<sup>2</sup>, se alcanza una recuperación de oro de 78.1%. (ALEJO, 2022)

“OPTIMIZACIÓN DEL pH EN LA CIANURACIÓN DE ORO A PARTIR DE MINERALES ARSENOPIRÍTICOS EN LA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.” La empresa minera MARSA S.A., mediante su planta de beneficio, va desarrollando el tratamiento de minerales auríferos, con leyes de oro entre 7 a 12 g./tn, su composición mineralógica es compleja, ya que contiene minerales arsenopiríticos, con bastante contenido de arsénico, siendo este un problema importante, por ser el principal cianicida, debido a su



elevado consumo de CN y un mayor costo de producción. Motivo por el cual se desarrolló investigación científica experimental. La metodología fue por objetivos. Se llevó a cabo pruebas con mineral de la remolienda a una malla -m400 entre 95- 98%, y una concentración de NaCN al 0.25%, a distintos pH (11, 12 y 12.5), cambiando los tiempos de agitación (24, 48 y 72 h) y a 750 RPM. Se tomó alícuotas de muestra, para evaluar el pH, concentración de CN-, porcentaje de extracción; de tal manera que los ripios de cada prueba, se envíen al laboratorio para un ensaye químico. Como resultado dio que “Al laborar a pH altos, conlleva a un menor consumo de cianuro; por otro lado: “Al incrementar el pH recae significativamente la disolución de arsénico”. “A tiempos de lixiviación establecidos entre 48 y 72 horas se alcanzaron recuperaciones favorables” (FRANKLIN, 2018)

## **2.2 CONCEPTOS TEORICOS**

### **2.2.1. Características y propiedades del oro**

#### **2.2.1.1 ORO (Au)**

El oro es un elemento químico su número atómico es 79. Está ubicado en el grupo 11 de la tabla periódica. Es un metal valioso blando de color amarillo dorado. Su símbolo químico es Au. Además, es uno de los metales más estimado en joyería por sus propiedades físicas, al tener baja alterabilidad, ser maleable, dúctil, brillante, y valorado por su rareza, al ser un metal difícil de encontrar en la naturaleza. (Libre, s.f.).

#### **2.2.1.2 PLATA (Ag)**

La plata es un elemento químico de número atómico 47 situado en el grupo 11 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Ag. Es un metal noble, de transición, de color blanco brillante, blando, dúctil y maleable.



Aproximadamente el 70% de la producción mundial de plata se utiliza con fines industriales, y el 30%, con fines monetarios; buena parte de este metal se emplea en orfebrería, pero sus usos más importantes se dan en la industria fotográfica y química. (wikipédia, s.f.)

### 2.2.1.3 Propiedades físicas

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

**Tabla 3.**

*Propiedades físicas y químicas del oro*

Nombre / Oro	Valor / Unidad
Símbolo químico(Au)	
Color (Amarillo)	
Peso Atómico	197 g/mol
Número Atómico	79
Estado de oxidación	1, 3
Densidad Específica	19,3 g/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión	1063°C
Punto de Ebullición	2530°C
Calor de Vaporización	81,08 Kcal/g-átomo
Calor de Fusión	16,3 cal/g
Dureza	2,5- 3 (Mohs)
Radio Atómico	1,46 Angstroms
Radio iónico	1,37 Angstroms
Potencial normal	1,498 voltios
Resistencia Eléctrica	2,25 Ohm.
Electronegatividad	2,4 Pauling
Conductividad Térmica	2,7x10 Kcal/°K ms
Módulo de Elasticidad	7,6-8.16x10 <sup>9</sup> Kg/m <sup>2</sup>

Nota. Elaboración propia

### 2.2.1.4 Propiedades químicas

- El oro es fácilmente soluble en agua regia, que produce cloro nascente.



- El oro disuelve en ácido clorhídrico en presencia de sustancias orgánicas.
- El oro es disuelto por cloruros férricos u cúpricos.
- El oro es algo soluble en una solución de carbonato de sodio al 10%
- El oro es soluble en soluciones diluida de cianuro de sodio. (CALLI, 2016)

#### **2.2.1.5 Propiedades mecanicas**

El oro es uno de los metales más dúctiles y se puede laminar hasta obtener hojas de un espesor de 0,0001 mm, las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico. Se puede estirar en hilos finísimos, con un gramo se consigue un hilo de 2000 metros de longitud. (CALLI, 2016)

#### **2.2.2. Minerales de oro nativo**

Estos son minerales en los cuales el oro está en su forma elemental ( $\text{Au}^0$ ) y no está “atrapado” en partículas de sulfuros u otros minerales. Una vez libre mediante un proceso de molienda, las partículas de oro, que poseen granulometría relativamente gruesos, pueden extraerse mediante diferentes equipos de separación gravitacional. Para estos minerales se empleaba frecuentemente también la amalgamación, aunque su uso ha ido disminuyendo debido principalmente a cuestiones de tipo ambiental que produce el uso y manejo de mercurio. Sin embargo, es preciso indicar que en América Latina aún hay gran cantidad de pequeñas plantas amalgamadoras de oro, sobre todo a nivel de la minería artesanal. También es común, que, en plantas mayores, la práctica de la molienda seguida de separación



gravitacional de las partículas más gruesas y finalmente, la cianuración de las colas.  
(COAGUILA CORNEJO, 2018)

### **2.2.3. Oro asociado a sulfuros**

Mayoritariamente, el oro ocurre en dos formas: en estado libre y diseminado en sulfuros. En la mayoría de los minerales de oro, se halla presente en la pirita ( $\text{FeS}_2$ ). También es muy recurrente observar otros sulfuros, como son: pirrotina ( $\text{FeS}$ ), arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), estibinita ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) y otros. También el oro se localiza en piritas auríferas, en las cuales el oro está finamente diseminado en la matriz de la pirita. Este tipo de minerales demanda molienda, flotación, tostación y luego cianuración. Esta pre oxidación del mineral sulfurado puede realizarse ya sea a temperatura y presión normales, procesos entre los que se destaca la pre oxidación bacteriana de las piritas a elevadas presiones y temperaturas, dependiendo de la naturaleza y grado de refractariedad del mineral.  
(COAGUILA CORNEJO, 2018)

### **2.2.4. Ocurrencias del oro**

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



### **2.2.5. Minerales refractarios**

Los minerales refractarios son definidos como aquellos que presentan bajas recuperaciones de oro a los procesos metalúrgicos convencionales como la cianuración directa, la concentración gravimétrica, otras. También reciben la denominación de minerales refractarios a aquellos que presentan recuperaciones aceptables de oro sólo con el uso de reactivos significativos y/o procesos de pre-tratamiento más complejos. Tomando una frontera clara entre los minerales refractarios y los minerales libres de molienda, varios autores indican que, en términos de recuperación de oro, menos del 80% de recuperación por cianuración directa después de una molienda fina indicaría que se trata de un mineral refractario. (COAGUILA CORNEJO, 2018)

#### **2.2.5.1. Causas de la refractariedad**

- Por encapsulación del oro en la matriz sulfurada.
- Materiales sulfurados actúan como cianicidas.
- Oro en solución sólida en telurios son resistentes a la extracción con cianuro.
- Minerales de antimonio conteniendo estibina ocuyen al oro y ocasionalmente aurostibina donde el oro sustituye al antimonio en la matriz sulfurada.
- Minerales con el efecto preg-robbing, minerales de oro conteniendo varias formas de carbono gráfico u orgánico pueden adsorber las especies en solución de cianuro de oro, también las llamadas arcillas.



- Minerales carbonosos, aquí el oro está por lo general asociado con los sulfuros (pirita o arsenopirita), que están presentes en minerales carbonosos. El Oro en estos tipos de minerales es recuperable normalmente por oxidación previa de los sulfuros, seguido por cianuración, con o sin previa concentración por flotación. La recuperación de Oro de los minerales sulfurados carbonoso es más difícil debido a que el oro es retenido a partir de la solución de cianuro por la materia carbonosa. (COAGUILA CORNEJO, 2018)

**Tabla 4.**

*Principales usos del oro*

Joyería	51%
Inversión en oro físico (lingotes y monedas)	26%
Compras netas de bancos centrales	14%
Electrónica	7%
Otros usos (industriales)	2%
TOTAL	100%

Nota. Sociedad nacional de Minería Petróleo y Energía

## **2.2.6. Reacciones de la cianuración**

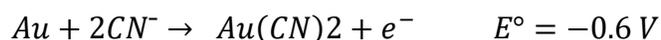
### **2.2.6.1. Aspectos termodinámicos**

La reacción de disolución del oro por el cianuro, conocida como la ecuación de Elsner (1846), es:



Es la resultante de 2 reacciones electroquímicas que se producen simultáneamente.

La reacción de oxidación del oro en medio cianuro, que se produce en un sitio anódico, de polaridad negativa:



La reacción de reducción del oxígeno disuelto en la solución, que se produce en un sitio catódico, cuya polaridad es positiva:



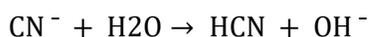
Se deduce que las mejores condiciones termodinámicas para disolver el oro son:

- Presión parcial de oxígeno elevada
- Concentración de cianuro elevada
- Concentración de iones OH<sup>-</sup> baja (pH moderadamente alcalino)

Sin embargo, las condiciones industriales de cianuración son:

- Presión parcial de oxígeno constante (0.21 atm)
- Concentración de cianuro baja
- pH elevado

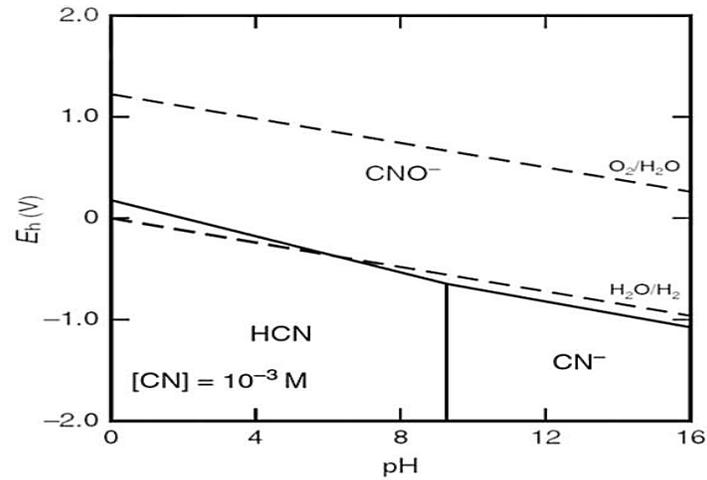
Estas dos últimas condiciones son para evitar la hidrólisis del cianuro y su posterior volatilización, según la reacción:





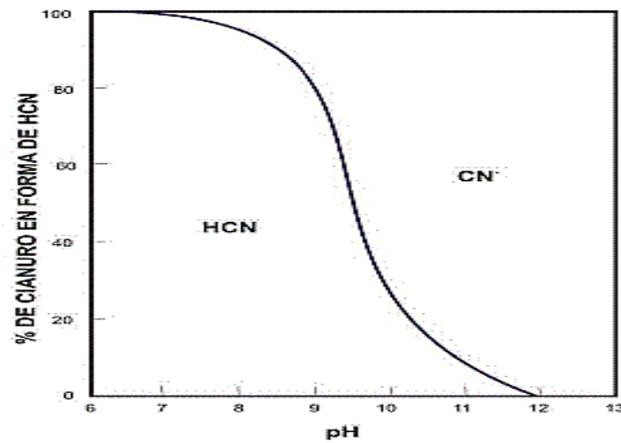
**Figura 2.**

*Diagrama Eh-pH del sistema  $CN^- - H_2O$*



**Figura 3.**

*Diagrama del equilibrio  $CN^-/HCN$*



Nota. Tesis Coaguila Cornejo Milton

En el diagrama Eh-pH del sistema cianuro – agua y diagrama del equilibrio  $CN^- / HCN$  (pH = 9.3) Note que el cianuro es termodinámicamente inestable en agua, pero su oxidación a  $CNO^-$  es muy lenta, por lo que puede existir en agua.



La Figura 3, muestra la curva de equilibrio ácido-base del cianuro. Esta curva muestra bien que para tener el cianuro estable en solución y evitar la formación del ácido cianhídrico, que es un veneno mortal y volátil, es necesario trabajar a un valor de pH igual o superior a 11. (COAGUILA CORNEJO, 2018)

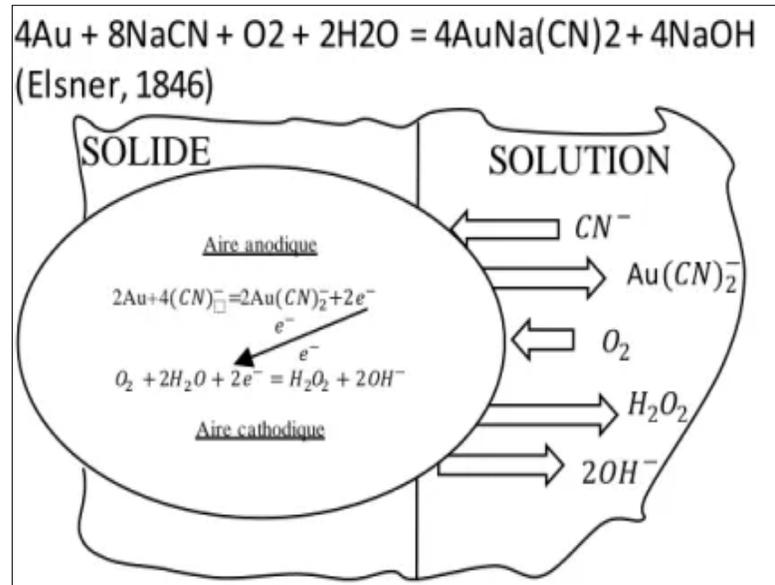
#### **2.2.6.2.Aspectos cineticos**

Reacciones de disolución de oro en soluciones diluidas de cianuro de sodio, representados en la Figura 4.

Por lo tanto, cuando la concentración de cianuro es suficiente, la velocidad de disolución del oro, es controlada por la difusión del oxígeno disuelto hacía la partícula de oro. De esta manera todas las condiciones que permitan acelerar o catalizar la reacción de reducción del oxígeno disuelto sobre el oro, tales como: agitación, temperatura, pH, etc., son muy favorables para la disolución del oro contenido en el mineral. (COAGUILA CORNEJO, 2018)

**Figura 4.**

*Mecanismo de la cianuración del Au*



Nota. Tesis Rivera huirse Franklin

## 2.2.7. Variables en el proceso de lixiviación

### 2.2.7.1. Granulometría

El grado de molienda debe ser lo suficiente para exponer la superficie del mineral valioso a la acción de la solución lixiviante. Depende del tipo de mineral y de sus características mineralógicas. Deberá considerarse un tamaño tal que no contenga un exceso de gruesos ( $>2$  mm) que produzca problemas en la agitación y por otra parte, no contenga un exceso de finos (menor del 40%  $<75$  micrones), que dificulten la separación solido-liquido posterior a la pulpa lixiviada. Debido a lo anterior, y demás, para disminuir los consumos de energía por concepto de molienda y la agitación se deberá tratar de realizar el mayor tamaño que la operación lo permita. (mayolo, s.f.)



**Tabla 5.**

*Tamaño de algunos minerales para lixiviación por agitación*

<b>Mineral</b>	<b>Tamaño de Lixiviación</b>	
	<b>(mm)</b>	<b>(mallas ASTM)</b>
Cobre	0.83	20
Oro	0.25	60
Conc. (Sulfurados)	0.044	325
Calcinados de Zinc	0.074	200

Nota. Proceso de lixiviación, Alarico tome

#### **2.2.7.2. Efecto de la concentración de cianuro y oxígeno**

De acuerdo a J.S. Mc. Laurin, la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a soluciones diluidas. Su investigación muestra que este máximo se alcanza a una concentración de 0.25% de NaCN (2.5 gr. NaCN por litro de solución).

La concentración de la solución de Cianuro encontrada por Barksy y Hedley para la más rápida disolución, fue de 0.05% de cianuro de sodio. La causa de las amplias variaciones en las concentraciones de las soluciones, encontradas por los investigadores mencionados para dar una máxima velocidad de disolución al oro, probablemente radica en la variedad de las técnicas empleadas para determinar estos valores.

En lo que concierne al efecto del oxígeno en la disolución del oro, tenemos que decir que el uso de oxígeno o de un agente oxidante es esencial para la disolución del oro bajo condiciones normales de cianuración. Agentes



oxidantes tales como el peróxido de sodio, bióxido de manganeso, permanganato de potasio, bromo y cloro, se han utilizado con más o menos éxito. (CETEMIN, 2014)

#### **2.2.7.3. Efecto del pH**

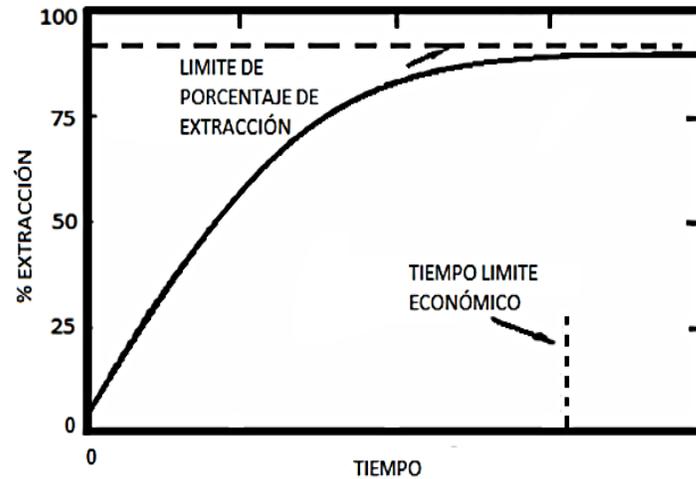
Es conocido que la variación del pH tiene un efecto importante en el proceso de cianuración. En valor de pH cercano a 9.31 la mitad del cianuro total se encuentra como HCN mientras que el resto se presenta como cianuro libre (CN<sup>-</sup>), a pH 10.2 el 90% del cianuro se encuentra como CN<sup>-</sup> pero a pH 8.4 el 90% está como HCN.

#### **2.2.7.4. Tiempo de lixiviación**

La economía del proceso de lixiviación es función del grado de disolución o porcentaje de extracción del mineral valioso. Sin embargo, esto no es tan importante como el tiempo necesario para una extracción aceptable, es decir la velocidad de disolución.

**Figura 5.**

*Porcentaje de extracción en función al tiempo*



Nota. Tesis Rodríguez Román, Cristhian. Hidrometalurgia y Electrometalurgia. Pág. 65

La figura 5 muestra una curva típica entre estos dos parámetros. Existe al principio una extracción rápida, que decrece posteriormente al máximo obtenible para un tamaño dado de partícula. Esta curva se puede obtener de pruebas de lixiviación en botellas en el laboratorio

#### **2.2.7.5. Mineralogía del mineral**

El tamaño y la disposición de la especie valiosa influye el grado de molienda necesario para exponer esta especie a la solución lixivante. Las arcillas son una familia de minerales, aluminosilicatos, existen en todas las menas y producen partículas muy finas (algunos micrones). La presencia de muchas arcillas puede impedir una buena filtración del relave.

#### **2.2.7.6. Otras variables**



La lixiviación se realiza a temperatura ambiente. La concentración de reactivos debe ser optimizada según el tipo de operación. El porcentaje de sólidos debe ser en la mayoría de los casos lo más alto posible para alcanzar una alta concentración del ion metálico en la solución de lixiviación, minimizar los costos de inversión en el circuito de lixiviación por menor capacidad volumétrica y reducir el tamaño y costo subsecuente de espesamiento y filtración. El porcentaje de sólidos en la pulpa varía entre 20 y 50%. La velocidad de agitación debe ser lo suficiente alta para mantener los sólidos en suspensión, para que no decanten. Una velocidad de agitación alta tiende a favorecer la cinética de la reacción, pero tiene un costo energético apreciable.

### **2.3 PROCESO DE CIANURACION CONVENCIONAL**

En una planta convencional de cianuración se usan los sistemas tradicionales de trituración y molienda para llevar el grado de molienda a un tamaño que indique las pruebas metalúrgicas. Esta molienda generalmente es de 80% a menos 150 mallas a 400 mallas, según las características del mineral. Debe advertirse si el mineral es libre de cianicidas y refractarios, que la disolución de los valores empieza en el circuito de la molienda agregándose solución de cianuro. Una parte de los valores quedan disueltos en el circuito de molienda y posteriormente la pulpa ya molida que es bombeado a los hidrociclones para su clasificación los gruesos retornan a la molienda y los finos pasan a los tanques de agitación donde se le da a la pulpa un tiempo de tratamiento que varía de 24 a 72 horas para lograr una recuperación óptima.



En general cuando se trata de mineral aurífero, el tiempo de tratamiento varía de 10 a 24 horas y cuando se trata de minerales argentíferos, se necesitan hasta 72 horas. El proceso de la cianuración puede llevarse a efectos de dos maneras:

- **Lixiviación cianurada directa.** Siendo un proceso ideal para menas no refractarias, para minerales en donde el oro se encuentra liberado o es fácilmente lixiviado, tales como disolución directa en una solución alcalina diluida de cianuro, concentración gravitacional y cianuración.
- **Lixiviación cianurada indirecta** (concentración y cianuración). Para minerales refractarios en donde el oro se encuentra íntimamente asociado a otras especies mineralógicas o posee un tamaño microscópico. La concentración gravimétrica y/o por flotación del mineral problema; se hace con el fin de eliminar el material estéril, el 25 cianicida, el refractario y así lograr un concentrado de alto tenor de oro y plata.

## 2.4 DEFINICION DEL CIANURO

### 2.4.1. ¿Que es el cianuro?

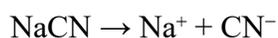
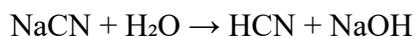
El cianuro es una molécula de carbono (C) y nitrógeno (N) que ocurre naturalmente y existió en la tierra antes del comienzo de la vida y fue uno de los compuestos fundamentales en su evolución. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso (HCN) y el cianuro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

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

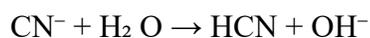


### 2.4.2. Cianuro en soluciones

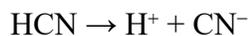
Las sales simples de cianuro (como el sodio y potasio) se disuelven y ionizan en agua para formar los respectivos cationes de metal e iones de cianuro libres, como se muestra en:



Los iones de cianuro se hidrolizan en agua para formar iones moleculares de cianuro de hidrógeno (HCN) e hidroxilo ( $\text{OH}^-$ )



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



#### Tabla 5.

*Contenido de HCN en función del pH*

pH	HCN (%)	CN* (%)
8,4	90	10
9,3	50	50
10,2	10	90

Nota. F. Sergio Misari. Metalurgia del oro



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 MATERIAL DE INVESTIGACION

##### 3.1.1 Poblacion

Mineral de concentrados gravimétricos refractarios arseno-piritoso procedentes de la mina Santa Barbara SMRL – Trujillo.

##### Tabla 6.

*Análisis químico del mineral concentrado aurífero*

Codigo	ley cabeza Au		ley cabeza Ag	
	Oz/TC	g/tn	Oz/TC	g/tn
<b>Promedio</b>	3.229	110.72	1.871	64.16

Nota. Elaboración propia

##### 3.1.2 Muestra

La muestra utilizada corresponde a 100 Kg de mineral provenientes de concentración gravimétrica, se empleará una etapa de preparación mecánica de homogenizado, cuarteo y muestreo, donde se obtendrá muestras representativas que serán usadas para realizar la presente investigación.

##### 3.1.3 Muestreo

Para obtener resultados confiables se requiere realizar 16 pruebas experimentales.



## 3.2 MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION

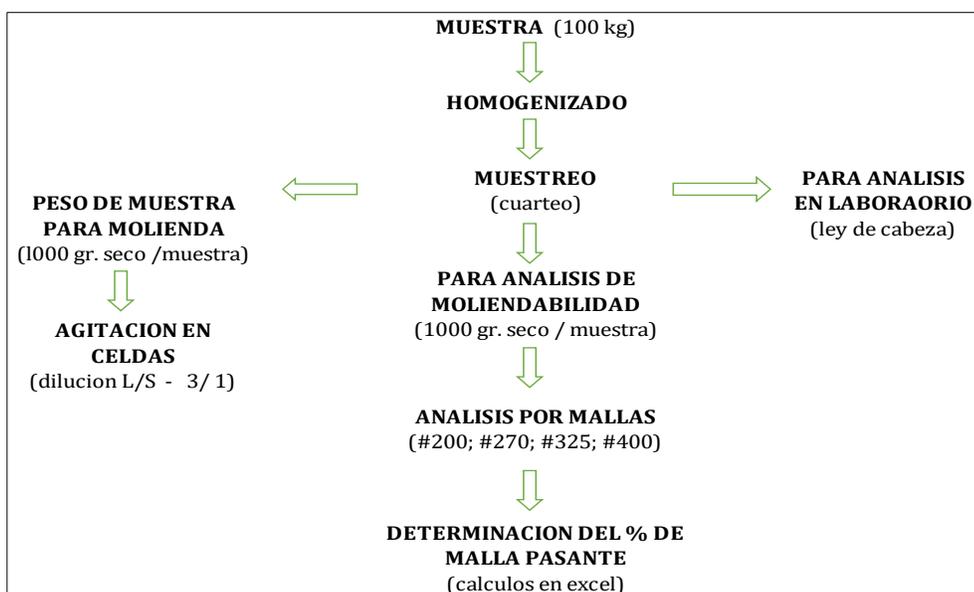
### 3.2.1 Materiales de laboratorio metalurgico

- Mineral concentrado aurífero: 100 kg.
- Papel indicador de pH (Panpeha)
- Cianuro de sodio: 50 kg.
- Soda caustica: 25 kg.
- Nitrato de plata: 100 g.
- Ioduro de potasio: 50 g.
- Agua destilada
- Papel filtro #40
- Luna de reloj.
- Espátula
- Fiola 100 ml.
- Bureta graduada automática 50 ml
- Vaso precipitado de 10 ml y 25 ml
- Goteros
- Malla N° 200, 275, 325, 400.
- Recipientes de plástico de 5 lt.
- Probeta de plástico de 1000 ml.
- Litargirio
- Crisoles de 30 g
- Copelas N°7

- Ácido nítrico 53% pureza
- Ácido nítrico Q.P. (69% de pureza)
- Acetato de plomo tri-hidratado (extra puro)
- Polvo de zinc
- Ácido clorhídrico 33% de pureza

**Figura 6.**

*Procedimiento experimental de moliendabilidad*



Nota. Elaboración propia

### 3.2.2 Equipos, herraminetas y materiales de medicion

- Molino de bolas de 8”x10 1/4”
- Cuarteador jones
- Banco de agitadores mecánicos de 4 agitadores
- Estufa de secado domestico
- Balanza de precisión, cap. 4.2 kg. d=10 mg.



- Balanza METTER TOLEDO, cap. 2.1 gr.  $d=0.0001$  mg
- Horno de fundición de capacidad de 16 muestras
- Equipo de adsorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 400
- Lingotera
- Martillo

### 3.3 METODO Y DISEÑO DE INVESTIGACION

#### 3.3.1 Metodología – metodo

Se desarrollará la metodología descriptiva-cuantitativa aplicando el método experimental, nos centraremos en predecir de lo que va a pasar en el futuro si, en esa situación de la realidad de la prueba metalúrgica, se hace un determinado cambio.

#### Ecuación de regresión:

$$Y = a_0 + a_1 A_{\#200} + a_2 A_{\#270} + a_3 A_{\#325} + a_4 A_{\#400} + a_5 B_{1000} + a_6 B_{3000} + a_7 B_{5000} + a_8 B_{10000} + a_9 A*B_{\#200 1000} + a_{10} A*B_{\#200 3000} + a_{11} A*B_{\#200 5000} + a_{12} A*B_{\#200 10000} + a_{13} A*B_{\#270 1000} + a_{14} A*B_{\#270 3000} + a_{15} A*B_{\#270 5000} + a_{16} A*B_{\#270 10000} + a_{17} A*B_{\#325 1000} + a_{18} A*B_{\#325 3000} + a_{19} A*B_{\#325 5000} + a_{20} A*B_{\#325 10000} + a_{21} A*B_{\#400 1000} + a_{22} A*B_{\#400 3000} + a_{23} A*B_{\#400 5000} + a_{24} A*B_{\#400 10000}$$

Leyenda:

- A: Granulometría
- B: Concentración
- A\*B: Interacción



- $a_0 \dots a_n$ : Coeficiente

### **3.3.2 Diseño experimental**

Se empleará un diseño experimental de dos factores con 4 niveles cada uno.

#### **3.3.2.1. Variable independiente**

##### a) Granulometria

- 95% - malla # 200
- 95% - malla # 270
- 95% - malla # 325
- 95% - malla # 400

##### b) Concentracion de cianuro

- 1000 ppm
- 3000 ppm
- 5000 ppm
- 10000 ppm

#### **3.3.2.2. Variable dependiente**

Porcentaje de extracción de oro

#### **3.3.2.3. Variables paramétricas**

- a) pH : 11
- b) Porcentaje granulométrico: 95% pasante
- c) Dilución: 3/1
- d) Tiempo: 48 horas



- e) Tiempo de toma de alícuotas: 6, 12, 24, 36 y 48 horas
- f) Volumen de alícuota: 50 ml, para análisis químicos y 10 ml, para titulación
- g) Velocidad de agitación: 242 rpm
- h) Temperatura ambiente: 20°C
- i) Adición de Oxígeno: sin adición de Oxígeno

### 3.4 DETERMINACION DE NIVELES

- Granulometría: 95% pasante - #200, - #270, - #325, - #400
- Concentración de cianuro: 1000 ppm, 3000 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm
- N° de pruebas: 16 experimentos

**Tabla 7.**

*Determinación de variables*

<i>Factor</i>	<i>Niveles</i>			
	1	2	3	4
<b>Granulometría (95% pasante)</b>	# 200	# 270	# 325	# 400
<b>Concentración de cianuro (ppm)</b>	1000	3000	5000	10000

Nota. Elaboración propia



**Tabla 8.**

*Disposición general para diseño experimental y orden de prueba*

<b>Granulometria</b> <b>(95% pasante)</b>	<b>Concentracion de cianuro (ppm)</b>			
	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>5000</b>	<b>10000</b>
<b># 200</b>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>14</sub>
<b># 270</b>	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>23</sub>	Y <sub>24</sub>
<b># 325</b>	Y <sub>31</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>33</sub>	Y <sub>34</sub>
<b># 400</b>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>42</sub>	Y <sub>43</sub>	Y <sub>44</sub>

Nota. Elaboración propia

### **3.5 PROCEDIMIENTO DEL METODO EXPERIMENTAL DE LAS 16 PRUEBAS DE LIXIVIACION.**

- a) Se toma muestra de 350 kg de mineral concentrado aurífero húmedo, proveniente de la empresa minera Santa Bárbara – Trujillo, a la muestra se le realiza una mezcla y cuarteo hasta obtener una muestra totalmente homogenizada.
- b) Luego se procede al muestreo y se toma una muestra representativa de 100 kg. para poder realizar la investigación del proyecto. Del muestreo se obtiene 2.5 kg de concentrado por prueba (1 kg para la prueba metalúrgica, 1 kg. de contra muestra y ½ kg. para análisis químico).
- c) Cada muestra se codifica y se rotula para su fácil identificación.
- d) Las muestras se secan en una estufa a 105°C de forma independiente.

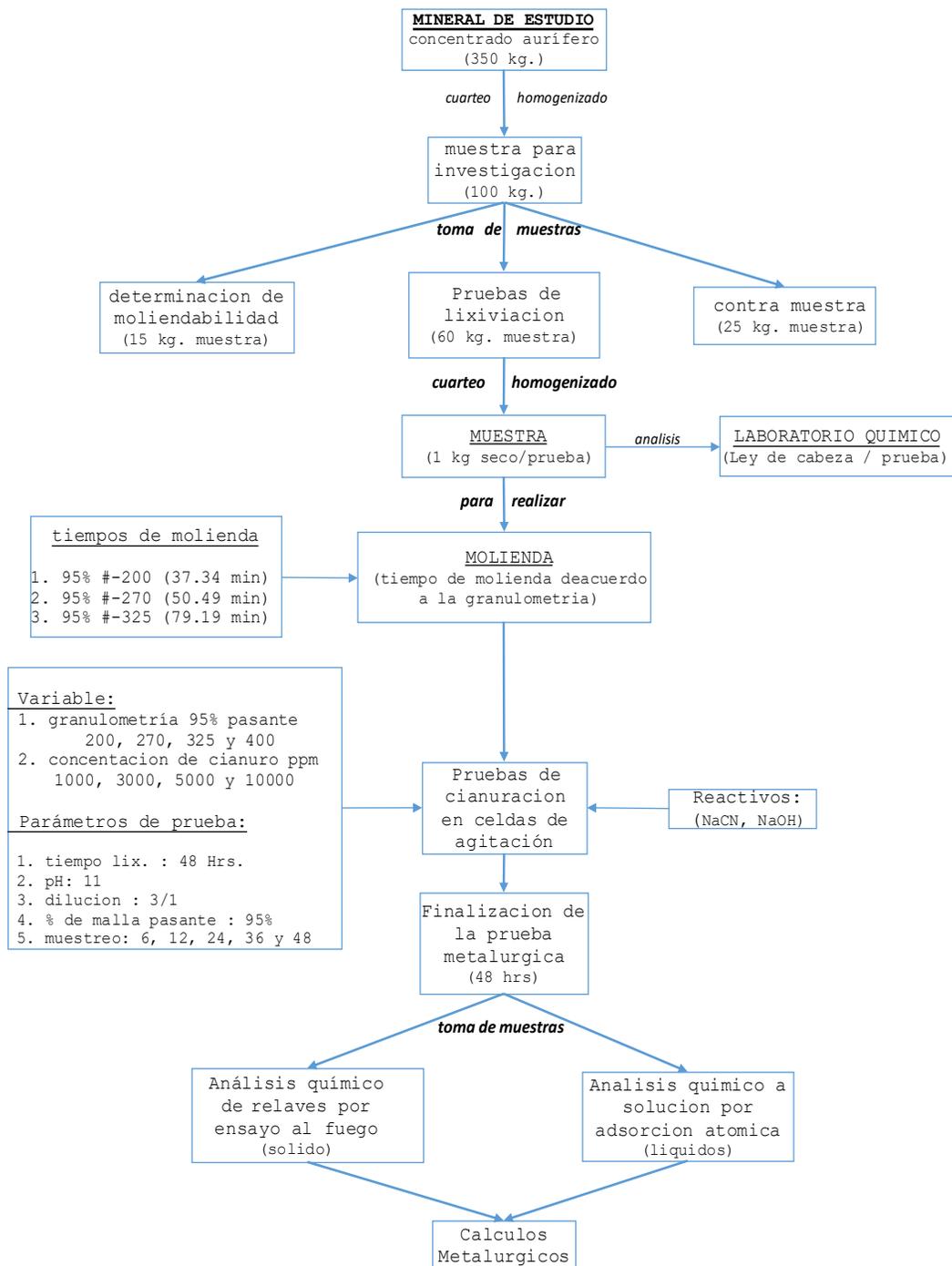


- e) Para el análisis químico de ley de cabeza se tomó 8 de las 16 muestras aleatoriamente y las 8 muestras como contra muestra. Los análisis se realizaron en el laboratorio de la empresa PROCNEAL SAC, se realizó mediante el método ensayo al fuego por oro y sub producto plata.
- f) Se realizó pruebas de moliendabilidad con mineral concentrado aurífero para poder determinar tiempos de molienda para cada malla a analizar. Se tomaron 16 muestras para realizar la molienda del concentrado aurífero, se cargó 1 kg en diferentes tiempos de molienda hasta obtener el porcentaje de malla adecuado de 200, 270, 325 y 400 de 95% pasante.
- g) Teniendo el tamaño de partícula adecuado (granulometría) se procede a realizar las pruebas de lixiviación con cianuro de sodio a distintas concentraciones 1000, 3000, 5000 y 10000 ppm. Las pruebas se desarrollaron de forma aleatoria según el diseño experimental. Y11, Y12, Y13, Y14, Y21, Y22, Y23, Y24, Y31, Y32, Y33, Y34, Y41, Y42, Y43, Y44.
- h) En cada prueba metalúrgica se tomó muestras de pulpa para sus respectivos análisis y poder obtener datos para los cálculos correspondientes. Tiempos de muestreo 6, 12, 24, 36 y 48 horas.
- i) En cada hora de muestreo se realizó la titulación con nitrato de plata y determinar concentración de cianuro libre, el papel indicador para el pH (Panpeha) y los análisis químicos para determinar la ley de oro y sub producto plata en sólidos por el método ensayo al fuego y líquido con el equipo de adsorción atómica.
- j) Realizar los cálculos, gráficas y balances metalúrgicos correspondientes para luego poder analizar los resultados obtenidos.



**Figura 7.**

*Diagrama del procedimiento experimental*





Nota. Elaboración propia

### **3.6 DATOS DE LOS EQUIPOS QUE SE USO EN EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

#### **3.6.1 Concentrado gravimetrico**

El mineral para la investigación es un concentrado aurífero proveniente de un proceso anterior (gravimetría), es un concentrado sulfurado con una composición mineralógica de cuarzo, galena, esfalerita y gran cantidad de pirita y arsenopirita visible. La explotación de este mineral se realiza en la Mina Santa Barbara SMRL, ubicado en la provincia de Pataz en el departamento de La Libertad –TRUJILLO.

#### **3.6.2 Ro-tap**

Es un equipo mecánico que se tiene en el laboratorio metalúrgico de la planta Procesadora Neal SAC, es utilizado para la determinación del análisis granulométrico del concentrado y poder determinar el P-80 y el F-80. El tamizador cuenta con 10 series de tamices el cual es sometido a una vibración constante con movimientos oscilantes intensos por el ro-tap, el tiempo de trabajo de este equipo es de 45 a 60 min.

#### **3.6.3 Juego de tamiz**

Los serie de tamices son estándar de especificaciones A.S.T.M.. El juego de tamices de la empresa es: 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 270, 325 y 400.

#### **3.6.4 Molino de bolas nivel laboratorio**

La empresa cuenta con un molino de bolas nivel laboratorio de especificaciones 8"x10" con medios moledores de tamaño 2 ½", 2", 1 ½", 1". Su



sistema de transmisión es un moto-reductor por cadenas, el molino gira sobre un par de rodillos.

El molino 8"x10" es utilizado para la determinación de la moliendabilidad del concentrado así mismo para la realización de las pruebas de agitación de investigación.

### **3.6.5 Cocina industrial**

El laboratorio metalúrgico cuenta con una cocina industrial de una sola hornilla, el combustible a usar es un balón de gas de 10 kilos de capacidad. La utilización de este equipo es para eliminar todo el porcentaje de humedad que pudiera haber en la muestra, para este proceso se utiliza un sartén de aluminio.

### **3.6.6 Banco de celdas de agitacion**

Para el proceso de lixiviación el laboratorio cuenta con un banco de agitadores de 4 pruebas de capacidad de 1 kg. de muestra. La agitación es por medio de aspas y su transmisión es de un motor por poleas.

La agitación de la pulpa es constante y se realiza en un recipiente de plástico (valde 6 litros), cuenta con 242 rpm.

### **3.6.7 Insumos de lixiviacion**

**Cianuro de sodio:** es un insumo fiscalizado, composición química NaCN, presentación en la que adquiere la empresa es por toneladas en big-bag en tamaños de briquetas color blanco, cuenta con un almacén amplio y ventilado, equipado con antídoto y balón de oxígeno.



**Soda caustica:** actualmente ya es un insumo fiscalizado, composición química NaOH, presentación en la que adquiere la empresa es en sacos de 25 kilos de capacidad.

### **3.6.8 Horno de fundicion**

El laboratorio químico cuenta con un horno de fundición de capacidad de 12 crisoles. El horno es utilizado para fundición y copelación.

### **3.6.9 Microbalanzas**

El laboratorio químico cuenta con una micro balanza METTLER TOLEDO UMT2 cap. 2.1g; d=0.0001mg

### **3.6.10 Equipo de adsorcion atomica**

El laboratorio químico cuenta con un equipo de adsorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 400 de 4 lámparas. Cuenta con 3 lámparas oro, plata y cobre. Así mismo también cuenta con una poza tierra, computadora, estabilizador de corriente, ups, balón de acetileno, compresora de aire y un sistema de filtros para el buen funcionamiento del equipo.

## **3.7 TECNICA EXPERIMENTAL**

Instrumental, visual, manual e indirecta (cálculos)

## **3.8 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS PARA LAS PRUEBAS**

### **3.8.1 Experimentales determinacion de la moliendabilidad del mineral**

Para la determinación del tiempo de molienda del mineral y obtener el 95% pasante de los diferentes tamices a investigar (#-200; #-270; #-325; #-400), se realizó



una molienda al mineral a tiempos ya establecidos (20, 40, 70 y 110 min) las condiciones de molienda fueron: 1000 g. de muestra seca, en relación S/L 1/1.

Posterior a la molienda en los tiempos establecidos se pasó a realizar el filtrado de la pulpa, luego se procedió a eliminar la humedad restante de la muestra obteniendo así 4 muestra molida seca a diferentes tiempos.

Después de obtener las 4 muestras secas se procede a determinar el porcentaje de malla pasante a distintos tamices (#200; #270; #325; #400) de cada muestra. Los datos obtenidos se resumen en la Tabla 11, cuadro de moliendabilidad del mineral.

**Tabla 9.**

*Moliendabilidad del mineral*

Molienda				Determinar % de malla				
Muestra (g.)	H2O (ml)	Dilucion (S/L)	Tiempo min.	Malla	Peso (W1)	Peso (W2)	% + Malla	% - Malla
1000	1000	1	20	# 200	90	13.63	15.14	84.86
			<b>37.34</b>					<b>95.00</b>
1000	1000	1	40	# 200	90	3.1	3.44	96.56
1000	1000	1	70	# 200	90	0.54	0.60	99.40
1000	1000	1	110	# 200	90	0.01	0.01	99.99
1000	1000	1	20	# 270	90	19.6	21.78	78.22
1000	1000	1	40	# 270	90	6.14	6.82	93.18
			<b>50.49</b>					<b>95.00</b>
1000	1000	1	70	# 270	90	1.45	1.61	98.39
1000	1000	1	110	# 270	90	0.21	0.23	99.77
1000	1000	1	20	# 325	90	33.24	36.93	63.07
1000	1000	1	40	# 325	90	16.01	17.79	82.21
1000	1000	1	70	# 325	90	5.38	5.98	94.02
			<b>79.19</b>					<b>95.00</b>
1000	1000	1	110	# 325	90	1.55	1.72	98.28
1000	1000	1	20	# 400	90	45.68	50.76	49.24
1000	1000	1	40	# 400	90	26.66	29.62	70.38
1000	1000	1	70	# 400	90	12.52	13.91	86.09
			<b>109.12</b>					<b>95.00</b>
1000	1000	1	110	# 400	90	4.32	4.80	95.20

Nota. Elaboración Propia

**Figura 8.**

*Principales especies mineralógicas presentes en el concentrado*

Nombre del mineral	Formula General	Resultado Aproximado (%)	
		CCZ - SB	RLV - SB
Pirita	FeS <sub>2</sub>	29.9	42.8
Arsenopirita	FeAsS	24.9	17.8
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	18.4	21.1
Moscovita (Sericita)	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	6.5	4.2
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe <sup>+2</sup> ) <sub>5</sub> Al (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	6.4	4.6
Carbonatos (Dolomita)	Ca Mg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.9	
Plagioclasas (Oligoclasas)	(Na, Ca) (Si Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>		1.9
Esfalerita	(Zn, Fe) S	4.3	4.4
Carbonatos (Calcita)	Ca CO <sub>3</sub>	2.5	1.5
Galena	Pb S	1.4	-
Calcopirita	Cu, Fe S <sub>2</sub>	< L.D.	< L.D.
Vermiculita	(Mg, Fe <sup>+2</sup> , Al) <sub>3</sub> (Al, Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> . 4 H <sub>2</sub> O	< L.D.	< L.D.

Nota. informe técnico MINERA SANTA BARABARA SMRL

**Tabla 10.**

*Tiempo de molienda a cada tamiz establecido*

Variables	Tamiz			
	# 200	# 270	# 325	# 400
Xo =	84.86	93.18	94.02	86.09
Yo =	20	40	70	70
X1 =	96.56	98.39	98.28	95.20
Y1 =	40	70	110	110
x =	95.00	95.00	95.00	95.00
(Yx)	37.34	50.49	79.19	109.12

Nota. Elaboración Propia

Para la obtención de los tiempos de molienda a 95% malla pasante, se obtuvieron por cálculos de interpolación teniendo en cuenta los datos obtenidos de % de tamiz a distintas horas de molienda.



### 3.8.2 Determinacion del analisis quimico del mineral por oro

Todos los análisis químicos de Au se realizaron en el laboratorio químico de la empresa PROCNEAL SAC. De las 10 muestras de cabeza que se obtuvieron de la toma de muestra, 7 se analizaron por Au por método de ensayo al fuego. Las otras 3 muestras quedaron como contra muestra para tener como respaldo si hubiera un resultado alejado de los análisis obtenidos.

**Tabla 11.**

*Análisis químico Au y sub producto plata*

codigo	ley cabeza Au		ley cabeza Ag	
	Oz/TC	g/tn	Oz/TC	gr/TM
M-1	3.253	111.53	1.816	62.26
M-6	3.214	110.19	1.985	68.06
M-3	3.139	107.62	1.826	62.60
M-5	3.147	107.90	1.799	61.68
M-8	3.219	110.36	1.832	62.81
M-4	3.317	113.72	1.851	63.46
M-10	3.316	113.69	1.991	68.26
M-13	3.227	110.64	1.870	64.11
<b>promedio</b>	3.229	110.71	1.871	64.16

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio químico de la empresa PROCNEAL SAC.

### 3.8.3 Reactivos utilizados para las pruebas de lixiviacion

#### 3.8.3.1. Cianuro de sodio ( $\text{NaCN}^-$ )

Para el proyecto de investigación se usó cianuro de sodio solido en presentación de briquetas al 98% de pureza. La adición de  $\text{CN}^-$  a las pruebas



fueron de forma directa (pesadas en una micro balanza de 3 dígitos) de acuerdo a la concentración establecida por cada prueba, de la misma manera fue la adición de  $CN^-$  para evaluar la cinética de disolución del oro y la plata en las horas establecidas de la prueba teniendo en cuenta solo la adición de  $CN^-$  faltante con respecto al  $CN^-$  libre presente en la pulpa.

### Determinación de la concentración de $NaCN^-$ de ppm a gramos

La expresión de la concentración en ppm es la siguiente:

$$\% NaCN^- * 10000 = ppm NaCN^-$$

Se tiene las siguientes unidades: mg./lt. ; gr./TN ; g./m<sup>3</sup>

Sin embargo, para las pruebas se utiliza  $CN^-$  en gramos, considerando la pureza del reactivo del 98% de  $NaCN^-$

$$1000 ppm = 1000 \frac{mg.}{lt.}$$

$$1000 \frac{mg.}{lt.} \times \frac{g.}{1000 mgr.} \times 3 lt. = \frac{3.0}{0.98} = 3.06 g. NaCN^-$$

**Tabla 12.**

*Determinación del  $NaCN^-$  para las pruebas en gramos*

NaCN ppm	Unidad	volumen (lt.)	pureza del NaCN	NaCN g.
1000	mg./lt.	3	0.98	<b>3.06</b>
3000	mg./lt.	3	0.98	<b>9.18</b>
5000	mg./lt.	3	0.98	<b>15.30</b>
10000	mg./lt.	3	0.98	<b>30.61</b>

Nota. Elaboración propia

Para la determinación del factor para la fuerza de cianuro es dependientes de la concertación de la solución de nitrato de plata y el volumen



de la muestra a emplear, si la fuerza de cianuro que se trabaja es mayor, mayor será la concentración de la solución titulante de nitrato de plata.



### **Pesos Moleculares**

- $\text{AgNO}_3 = 1 \text{ mol (169.87 g/mol)} = 169.8731 \text{ g.}$
- $2 \text{ NaCN} = 2 \text{ moles (49 g/mol)} = 98.01432 \text{ g.}$

Sin embargo, para la investigación se usó 4.33 g/lit. de nitrato de plata y 5 ml de muestra para la determinación del cianuro libre.

$$\text{factor} = \frac{\left( \frac{4.33 \text{ g AgNO}_3}{169.8731 \text{ g AgNO}_3} \right) * 98.01432 \text{ NaCN} * 100}{1000 * 5 \text{ ml}}$$

$$\text{factor} = 0.050$$

Determinación del % de cianuro libre, se realiza utilizando una muestra de 5 ml de solución cianurante de las pruebas bien filtradas para luego ser llevado a titulación con nitrato de plata, adicionando ioduro de potasio como indicador para ver el viraje correspondiente.

$$\% \text{NaCN} = \text{factor} * \text{gasto de AgNO}_3$$

### **3.8.3.2. Soda caustica (NaOH<sup>+</sup>)**

Para el proyecto de investigación se usó soda caustica sólida en presentación de escamas al 98% de pureza. La adición de NaOH<sup>+</sup> a las pruebas fueron de forma directa (pesadas en una micro balanza de 3 dígitos) de acuerdo a la alcalinidad necesaria establecida para la investigación pH 11.



**Tabla 13.**

*Información sobre la composición del NaOH<sup>+</sup>*

Parametros	Especificaciones	Resultados
NaOH (%)	98.0 max.	98.7
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (%)	0.50 max.	0.66
NaCl (%)	0.40 max.	0.051
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.006 max.	0.001

Nota. Elaboración propia

### 3.8.4 Descripción de datos para la realización de las pruebas de lixiviación

#### 3.8.4.1. Gravedad específica del mineral

Para fines de cálculos metalúrgicos se determinó la gravedad específica del concentrado, de acuerdo a las muestras tomadas para la investigación se tiene el siguiente cálculo.

$$Ge = \frac{m}{(m + Fn - Fp)}$$

Donde:

m: peso de muestra seco

Fn: peso de fiola + agua

Fp: peso de fiola + agua + mineral

$$Ge = \frac{19.2}{(19.2 + 182.97 - 197.5)}$$

$$Ge = 4.11$$



### 3.8.4.2. Porcentaje de solidos

Para la investigación se determino un porcentaje de solidos del 25%

$$\%S = \frac{(Dp - 1) * Ge}{Dp * (Ge - 1)} * 100$$

Donde:

%S: porcentaje de solidos

Dp: densidad de pulpa (g/ml)

GE: gravedad especifica del mineral (g/cm<sup>3</sup>)

### 3.8.4.3. Dilución de pulpa

La dilución de la pulpa es un factor importante, tanto para el control de densidad y la determinación del consumo de agua en las pruebas de investigación. Se determina de la siguiente manera:

$$dilucion = \frac{100 - \%S}{\%S}$$

Donde:

Dilución = Dilución de la pulpa (L/S)

%S = Porcentaje de solidos

$$dilucion = \frac{100 - 25}{25} = 3$$

$$D = \frac{L}{S} = \frac{3}{1}$$



#### 3.8.4.4. Densidad de pulpa

Para fines de cálculos metalúrgicos y tener como un dato de investigación se determinó la densidad de pulpa. Se determinó mediante la siguiente formula.

$$Dp = \frac{100 * Ge}{\%S + Ge * (100 - \%S)}$$

$$Dp = \frac{100 * 4.1}{25 + 4.1 * (100 - 25)}$$

$$Dp = 1.233 \text{ g/cm}^3$$

#### 3.8.5 Preparacion de reactivos

##### 3.8.5.1. Solución de yoduro de potasio al 5%

- Pesar en una balanza digital 50 g. de yoduro de potasio.
- Verter los 50 g. de IK en una fiola de 1000 ml.
- Enrasar con agua destilada hasta llegar a la marca de la fiola de 1000 ml.
- Ponerle el tapón y agitar por unos minutos hasta tener una solución homogénea y verter en un recipiente de color ámbar para mantener la solución fuera del alcance de la luz solar.
- Tomar una parte de la solución preparada en un gotero de vidrio ámbar, taparla y guardarla en un ambiente libre de humedad.

##### 3.8.5.2. Solución de nitrato de plata

- Pesar 4.33 g de nitrato de plata en una balanza digital de precisión.



- Verter los 4.33 g  $\text{AgNO}_3$  en una fiola de 1000 ml.
- Enrasarlo con agua destilada hasta la marca de la fiola de 1000 ml.
- Ponerle el tapón y agitar por unos minutos hasta tener una solución homogénea y verter en un recipiente de color ámbar para mantener la solución fuera del alcance de la luz solar.

Todos los reactivos utilizados en esta investigación fueron de grado analítico, para la preparación de los reactivos se utilizó agua destilada.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. DISPOSICION GENERAL DE LOS RESULTADOS DE LAS 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES

**Tabla 14.**

*Resultados de recuperaciones de oro de las 16 pruebas de acuerdo al diseño experimental*

Granulometria (95% pasante)	Concentracion de cianuro (ppm)			
	1000	3000	5000	10000
- # 200	62.42	75.98	77.25	79.44
- # 270	80.39	83.36	88.87	90.03
- # 325	83.60	94.24	95.17	95.77
- # 400	83.36	94.98	95.87	94.97

Nota. Elaboración propia

**Tabla 15.**

*Paramentos y resumen de las 16 pruebas de lixiviación*

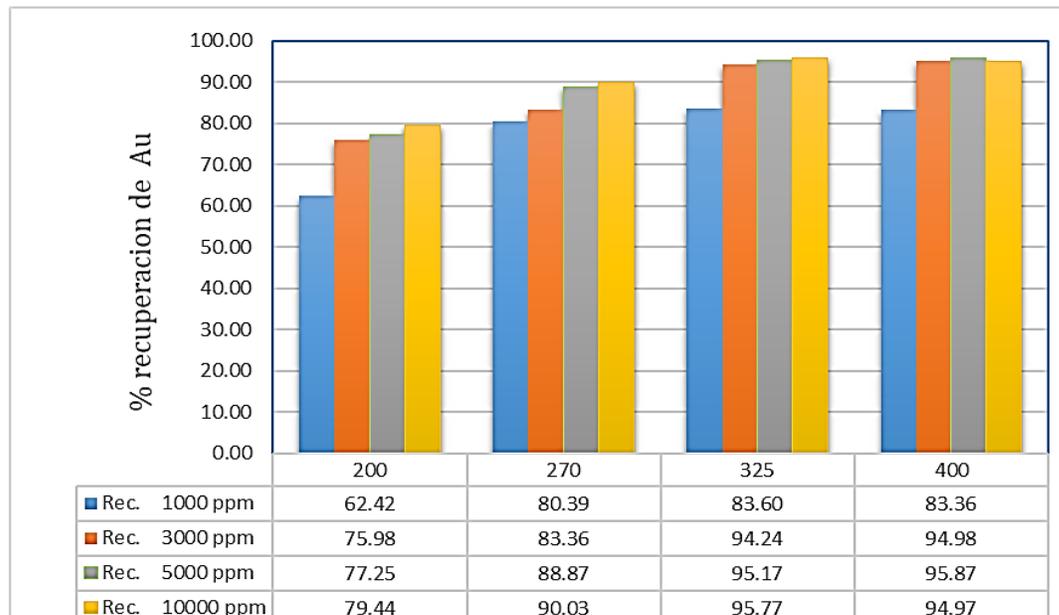
Código Prueba	[CN <sup>-</sup> ] ppm	Tiempo (horas)	Granulometría 95% pasante	Consumo de reactivos (Kg/tn)		Rec. Au (%)	Rec. Sub producto Ag (%)
				NaCN (Kg/tn)	NaOH (Kg/tn)		
Y <sub>11</sub>	1000	48 Hrs.	200	7.42	2.58	62.42	62.14
Y <sub>21</sub>	1000	48 Hrs.	270	8.97	2.83	80.39	67.31
Y <sub>31</sub>	1000	48 Hrs.	325	10.69	3.66	83.60	68.38
Y <sub>41</sub>	1000	48 Hrs.	400	12.12	4.10	83.36	67.96
Y <sub>12</sub>	3000	48 Hrs.	200	20.40	1.01	75.98	62.08
Y <sub>22</sub>	3000	48 Hrs.	270	22.46	1.23	83.36	70.91
Y <sub>32</sub>	3000	48 Hrs.	325	29.56	2.08	94.24	78.59
Y <sub>42</sub>	3000	48 Hrs.	400	30.88	2.09	94.98	79.40
Y <sub>13</sub>	5000	48 Hrs.	200	29.19	1.01	77.25	56.32
Y <sub>23</sub>	5000	48 Hrs.	270	32.17	1.04	88.87	67.40
Y <sub>33</sub>	5000	48 Hrs.	325	46.77	1.90	95.17	66.65
Y <sub>43</sub>	5000	48 Hrs.	400	49.66	1.94	95.87	68.15
Y <sub>14</sub>	10000	48 Hrs.	200	40.40	1.01	79.44	53.89
Y <sub>24</sub>	10000	48 Hrs.	270	56.51	1.00	90.03	57.55
Y <sub>34</sub>	10000	48 Hrs.	325	72.96	1.02	95.77	54.89
Y <sub>44</sub>	10000	48 Hrs.	400	81.30	1.01	94.97	59.94

Nota. Elaboración Propia

**Figura 9.**

*Recuperación de oro vs granulometría 95% pasante*

*Variación del porcentaje de recuperación de oro de las 16 pruebas experimentales al 95% pasante de las distintas mallas en función al incremento de las diferentes concentraciones de cianuro.*



Nota. Elaboración Propia

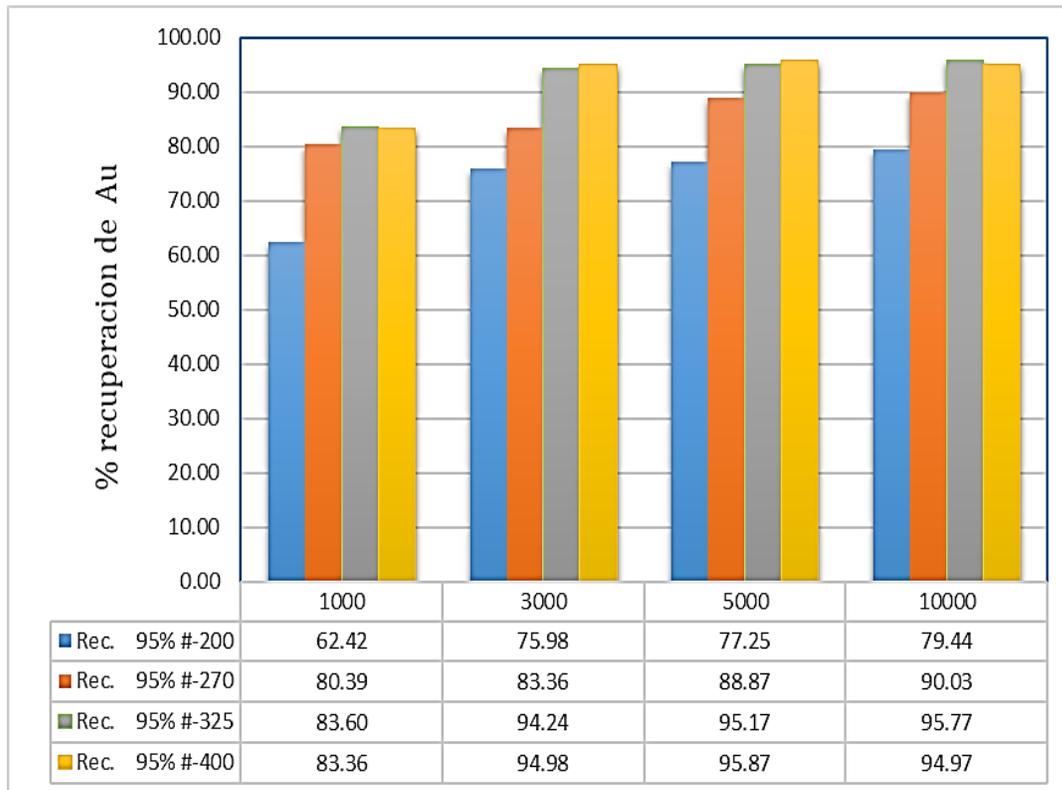
De las 16 pruebas realizadas se puede resumir lo siguiente; que a partir de la granulometría 95% mallas -#325 pasante y concentración de  $\text{CN}^-$  de 3000 ppm las recuperaciones de Au son buenas llegando a obtener recuperaciones por encima del 94% en Au. Por lo tanto, las variaciones de distintas granulometrías efectivamente causan una mejora en las disoluciones de Au. Sin embargo, las recuperaciones de oro a concentraciones de 3000 – 5000 – 10000 ppm en granulometrías -#325 y -#400 son ligeramente cercanas, ya que a mayor concentración de cianuro no se obtiene una apreciable recuperación de oro.



**Figura 10.**

*Recuperación de oro vs concentración de cianuro*

*Variación del porcentaje de recuperación de oro de las 16 pruebas experimentales al incremento la concentración de cianuro en función al 95% pasante de las diferentes granulometrías.*

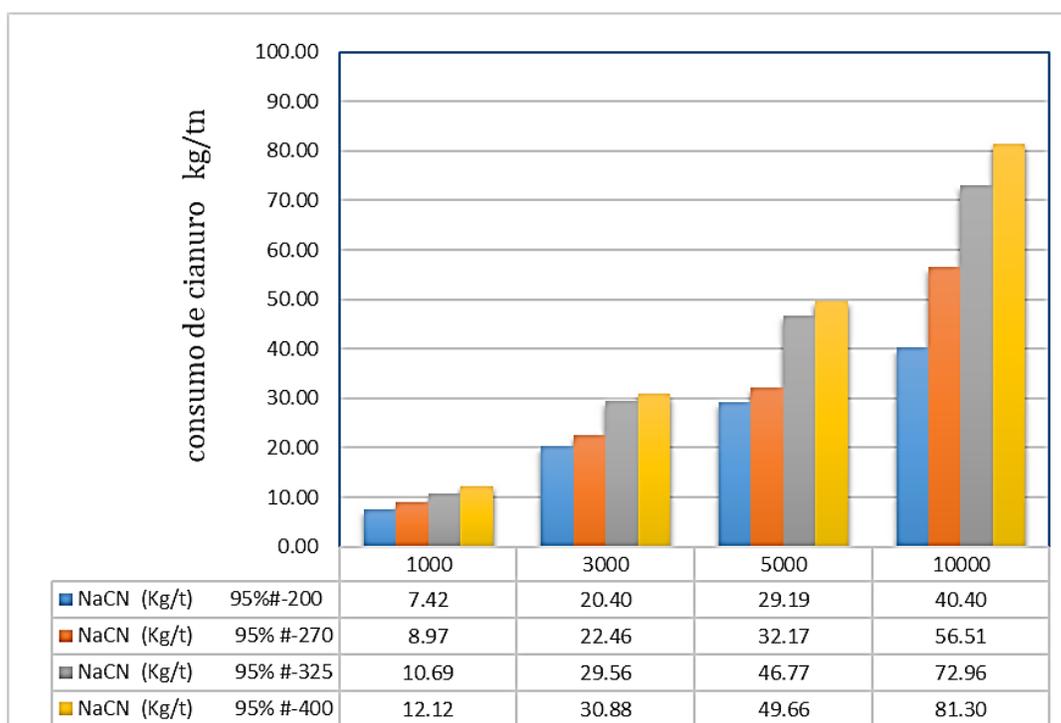


Nota. Elaboración Propia

**Figura 11.**

*Consumo de cianuro vs concentración de cianuro*

*Variación del consumo de cianuro a diferentes granulometrías en función al incremento de la concentración de cianuro utilizados en las pruebas.*



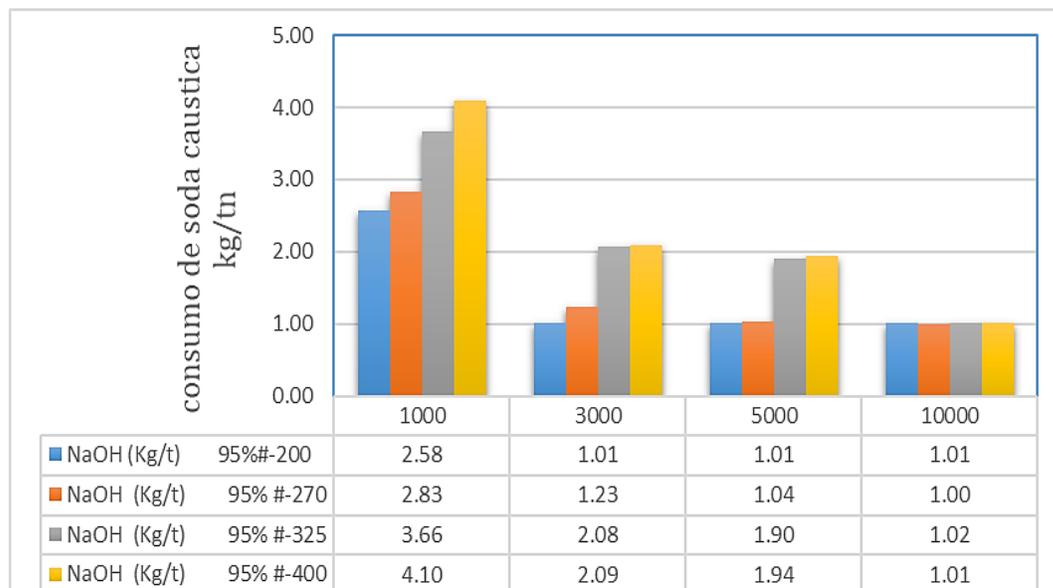
Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a las pruebas experimentales la variación del consumo de cianuro no solo se debe a tratar concentrados con alto contenido de oro y sub producto plata y sus contaminantes, si no que se debe a la granulometría, es decir que al liberar más el tamaño de partícula (área de contacto) en la molienda libera distintas especies mineralógicas que son cianicidas y esto causa el aumento de consumo de cianuro. Así como también el uso exponencial del cianuro que se determinó en las pruebas.

**Figura 12.**

*Consumo de soda caustica vs concentración de cianuro*

*Variación del consumo de hidróxido de sodio a diferentes granulometrías en función al incremento de la concentración de cianuro utilizados en las pruebas.*



Nota. Elaboración propia.

En las pruebas experimentales la variación del consumo de soda caustica se debe a la concentración de cianuro. ya que a mayor concentración de cianuro se mantiene la alcalinidad en las pulpas y a menor concentración de cianuro aumenta el consumo de soda caustica.

También se observó que para este concentrado trabajar por debajo de 1000 ppm de concentración de  $CN^-$ , no solo se tiene una pérdida de alcalinidad en las pulpas, sino que llega al punto de formar  $HCN^-$ , más aún en mallas altas las primeras horas.

#### **4.2. CINETICA DE LIXIVIACION DE LAS 16 PRUEBAS EXPERIMENTALES**

Para conocer la cinética de disolución de oro del concentrado de cada prueba experimental se realizó bajo las siguientes condiciones:



**Tabla 16.**

*Condiciones de trabajo de las pruebas experimentales*

CONDICIONES					
Peso Muestra Seca (g)	1000				
Granulometria 95 % pasante	#200	#270	#325	#400	
Tiempo molineda (min)	37.34	50.49	79.19	109.12	
Dilucion (L/S)	3/1				
pH inicial	7				
velocidad de agitacion (rpm)	242				
Fuerza de Cianuro (ppm)	1000	3000	5000	10000	
Tiempo agitacion (Hrs.)	6	12	24	36	48
pH de agitacion	11				
Volumen alícuota para análisis químico (ml)	50				
Volumen alícuota para titulación (ml)	10				

Nota. Elaboración propia.

**4.2.1. Cinetica de lixiviacion de las pruebas Y<sub>11</sub>; Y<sub>21</sub>; Y<sub>31</sub>; Y<sub>41</sub>**

Los resultados de las 4 pruebas realizadas, son mostrados en la Tabla 17 donde se observa el % de recuperación de oro a distintas granulometrías de acuerdo a las horas de agitación establecidas utilizando una concentración de 1000 ppm de NaCN<sup>-</sup> en cada prueba.



**Tabla 17.**

*Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 1000 ppm CN<sup>-</sup> a 48*

*Hrs. Agitación*

Granulometria	% de disolución del oro a 1000 ppm			
	95%	#-200	#-270	#-325
Tiempo (horas)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6	7.74	2.48	0.45	0.06
12	25.81	26.38	14.45	6.84
24	47.99	50.92	40.40	30.34
36	58.07	70.83	70.38	68.99
48	62.42	80.39	83.60	83.36

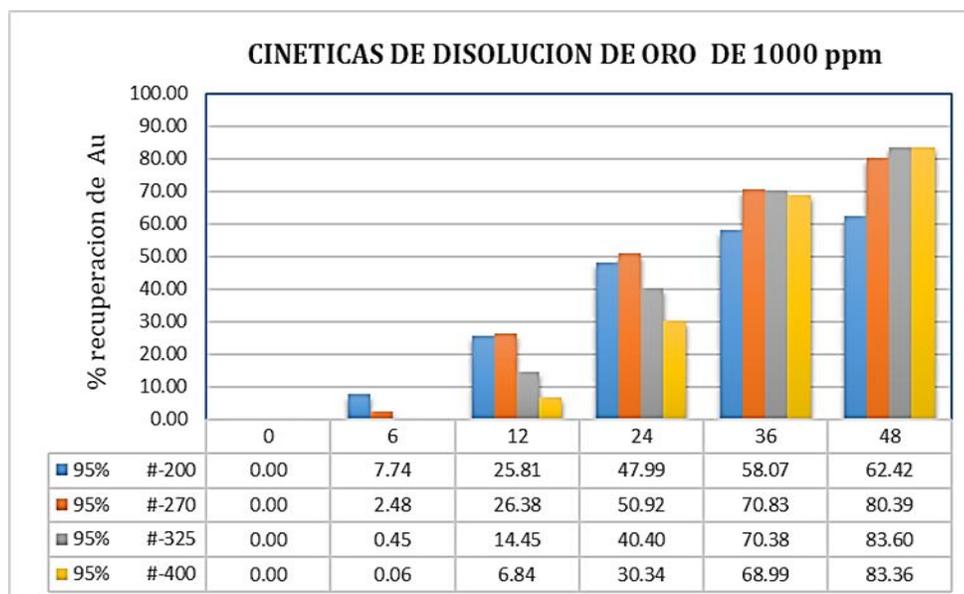
Nota. Elaboración propia.

En la tabla 17, se observa que al incrementar la granulometría en las pruebas, libera especies mineralógicas que son cianicidas motivo por el cual tratar de mantener 1000 ppm de concentración de CN<sup>-</sup> a cada hora establecido en la prueba no es suficiente y se puede observar a las 6 horas de agitación que la recuperaciones son mínimas, así como también que en la malla más baja (#-200) tiene mejor extracción que la malla más alta (#-400) y que a medida que pasa las horas de agitación y adición de concentración de CN<sup>-</sup>, se observa que a malla #-325 y #-400 va incrementando la recuperaciones de oro.

Cabe mencionar también que en la realización de las pruebas se notó que dentro de las 24 horas de agitación hubo ausencia del cianuro libre en todas las mallas, disminuyendo así la alcalinidad de la pulpa de pH 11 a 7.

**Figura 13.**

*Grafica de cinética de lixiviación Au vs tiempo de agitación de 1000 ppm.*



Nota. Elaboración propia.

En la Figura13, se muestran los comportamientos de la recuperación de oro a 1000 ppm de  $\text{NaCN}^-$  a diferentes granulometrías de molienda, donde se observa que se alcanza una recuperación máxima del 83.60% a dicha concentración de  $\text{CN}^-$  en la malla#-325 en 48 horas de lixiviación.

También a concentración de 1000 ppm de  $\text{NaCN}^-$  se tiene la mínima recuperación de Au 62.42% a una granulometría del 95% malla#-200 en 48 horas de lixiviación, un consumo de 7.42 kg/tn de  $\text{NaCN}^-$  y 2.58 kg/tn de NaOH, siendo la más baja recuperación del proyecto de investigación.

#### 4.2.2. Cinética de lixiviación de las pruebas $Y_{12}$ ; $Y_{22}$ ; $Y_{32}$ ; $Y_{42}$

Los resultados de las 4 pruebas realizadas, son mostrados en la Tabla 18, donde se observa el % de recuperación de oro a distintas granulometrías de acuerdo



a las horas de agitación establecidas utilizando una concentración de 3000 ppm de  $\text{NaCN}^-$  en cada prueba.

**Tabla 18.**

*Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 3000 ppm  $\text{CN}^-$  en 48 Hrs. Agitación*

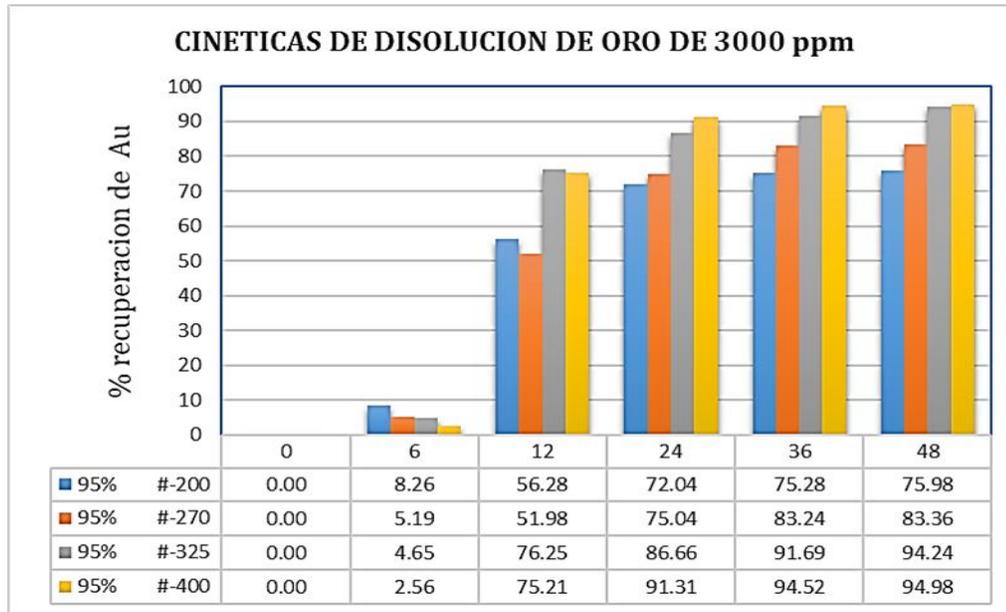
Granulometria	% de disolución del oro a 3000 ppm			
	95%	#-200	#-270	#-325
Tiempo (horas)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6	8.26	5.19	4.65	2.56
12	56.28	51.98	76.25	75.21
24	72.04	75.04	86.66	91.31
36	75.28	83.24	91.69	94.52
48	75.98	83.36	94.24	94.98

Nota. Elaboración propia.

Del grupo de prueba de 3000 ppm de  $\text{CN}^-$  establecido en la Tabla 18, se puede visualizar que a partir de las 6 horas de agitación la recuperación de oro son literalmente bajas, sin embargo, se mantiene ese comportamiento de las recuperaciones bajas las primeras horas para las mallas altas y que a partir de las 12 horas las recuperaciones aumentan drásticamente esto debido al aumento de la concentración de cianuro y al aumento de la granulometría.

**Figura 14.**

*Grafica de cinética de lixiviación Au vs tiempo de agitación de 3000 ppm.*



Nota. Elaboración Própia

De la figura 14, podemos determinar que la recuperación de oro a partir de las 48 horas en las mallas #-325 y #-400 se mantienen constantes logrando así obtener 94.24% y 94.98% de recuperación Au respectivamente.

#### **4.2.3. Cinética de lixiviación de las pruebas Y<sub>13</sub>; Y<sub>23</sub>; Y<sub>33</sub>; Y<sub>43</sub>**

Los resultados de las 4 pruebas realizadas, son mostrados en la Tabla 19, donde se observa el % de recuperación de oro a distintas granulometrías de acuerdo a las horas de agitación establecidas utilizando una concentración de 5000 ppm de NaCN<sup>-</sup> en cada prueba.

**Tabla 19.**

*Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 5000 ppm CN<sup>-</sup> en 48 Hrs. Agitación*

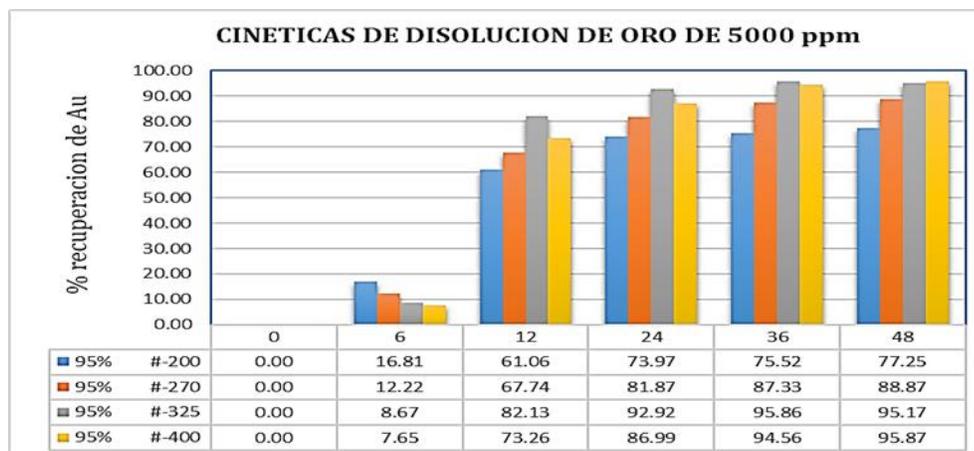
Granulometria <b>95%</b>	% de disolución del oro a 5000 ppm			
	<b>#-200</b>	<b>#-270</b>	<b>#-325</b>	<b>#-400</b>
Tiempo (horas)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6	16.81	12.22	8.67	7.65
12	61.06	67.74	82.13	73.26
24	73.97	81.87	92.92	86.99
36	75.52	87.33	95.86	94.56
48	77.25	88.87	95.17	95.87

Nota. Elaboración propia.

Del grupo de prueba de 5000 ppm de NaCN<sup>-</sup> establecido en la tabla 19, se puede visualizar que a partir de las 6 horas de agitación la recuperación de oro tiene una considerable recuperación por encima del 7% en comparación con las demás pruebas de 1000 y 3000 ppm.

**Figura 15.**

*Grafica de cinética de lixiviación de Au vs tiempo de agitación de 5000 ppm.*



Nota. Elaboración propia.



Sin embargo, se mantiene ese comportamiento de las recuperaciones bajas las primeras horas para las mallas altas y que a partir de las 12 horas las recuperaciones aumentan drásticamente por encima del 60% esto debido al alto consumo de cianuro en la prueba, así como también hay una ligera recuperación de oro al 1% más en comparación con 3000 ppm en las mallas #-325 y #-400.

#### 4.2.4. Cinética de lixiviación de las pruebas Y<sub>14</sub>; Y<sub>24</sub>; Y<sub>34</sub>; Y<sub>44</sub>

Los resultados de las 4 pruebas realizadas, son mostrados en la Tabla 20, donde se observa el % de recuperación de oro a distintas granulometrías de acuerdo a las horas de agitación establecidas utilizando una concentración de 10000 ppm de NaCN<sup>-</sup> en cada prueba.

**Tabla 20.**

*Cinética de lixiviación de oro a diferentes granulometrías en 10000 ppm CN<sup>-</sup> en 48 Hrs. Agitación*

Granulometria 95%	% de disolución del oro a 5000 ppm			
	#-200	#-270	#-325	#-400
Tiempo (horas)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)	Rec. Au (%)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
6	18.16	17.14	15.75	14.42
12	65.65	68.59	78.00	74.93
24	75.22	84.18	90.36	89.88
36	78.59	88.13	95.69	93.55
48	79.44	90.03	95.77	94.97

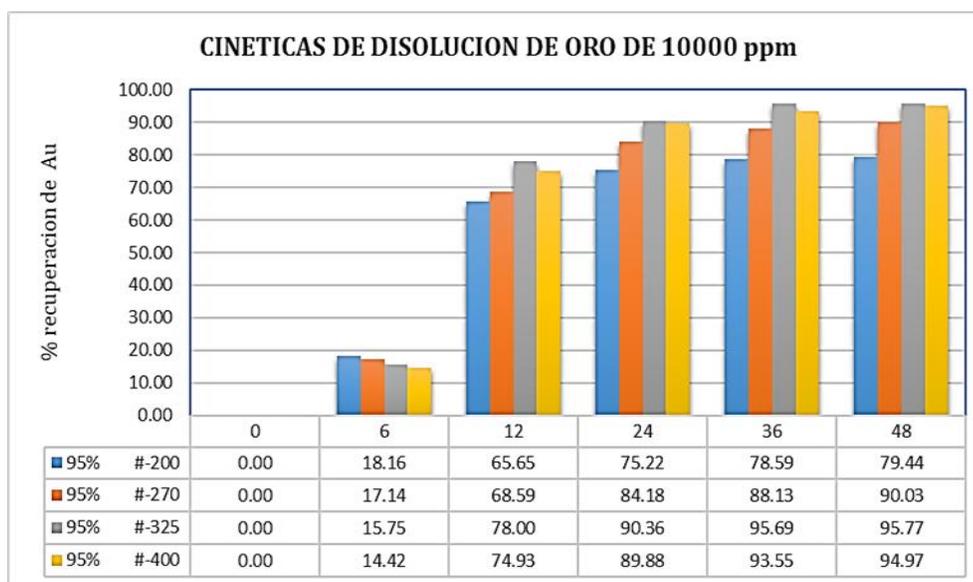
Nota. Elaboración propia.

Del grupo de prueba de 10000 ppm de CN<sup>-</sup> establecido en la Tabla 20, se puede observar que a partir de las 6 horas de agitación la recuperación de oro en todas las mallas a esas concentraciones las recuperaciones son cercanos, sin embargo, la

recuperación de oro a las 6 horas de agitación es notoria en comparación con las pruebas de 1000 ppm.

**Figura 16.**

*Grafica de cinética de lixiviación Au vs tiempo de agitación de 10000 ppm.*



Nota. Elaboración propia

Del grupo de prueba de 10000 ppm de  $CN^-$  se esperaba obtener mejores resultados de recuperación de oro. sin embargo, en comparación con las pruebas de 3000 y 5000 ppm las recuperaciones son prácticamente similares en las mallas #-325 y #-400, mientras que en las mallas #-200 y #-270 siguen siendo relativamente bajas.



## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación de las pruebas realizadas al concentrado de la empresa minera Santa Barbara SMRL. Trujillo, se llegó a obtener una recuperación máxima en la prueba Y<sub>43</sub>, del 95.87% en Au a granulometría de 95% pasante #-400 y concentración de CN a 5000 ppm en 48 horas de agitación con un consumo de 49.66 kg/TN de NaCN y 1.94 kg/TN de NaOH, y una recuperación mínima en la prueba Y<sub>11</sub>, del 62.42% en Au a granulometría de 95% pasante #-200 y una concentración de CN<sup>-</sup> a 1000 ppm en 48 horas de agitación con un consumo de 7.42 kg/TN de NaCN y 2.58 kg/TN de NaOH.
- Del proyecto de investigación se puede determinar que la granulometría si influye en la recuperación de concentrados de oro. Sin embargo, también podemos determinar que en 95% de malla pasante #-200 y #-270 las recuperaciones de oro están por debajo del 90%. Mientras que, a concentraciones de 3000, 5000 y 10000 ppm de CN<sup>-</sup> en la granulometría 95% de malla pasante #-325 y #-400 las recuperaciones oro son cercanos y varían del 94.24 a 95.87%.
- Del proyecto de investigación se puede determinar que la concentración de CN<sup>-</sup> es influyente hasta cierto punto en la recuperación de oro, según las pruebas realizadas a concentraciones cercanas a 1000 ppm las recuperaciones de oro son bajas más aun a granulometrías de 95% malla #-200 y #-270. Mientras que a partir de 3000 ppm de concentración se puede obtener buenos resultados en 95% malla pasante #-325 y #-400.



## VI. RECOMENDACIONES

- De las 16 pruebas de investigación se recomienda evaluar el costo - beneficio para las operaciones en planta de las pruebas  $Y_{32}$ ,  $Y_{42}$ ,  $Y_{33}$ ,  $Y_{43}$ ,  $Y_{34}$ ,  $Y_{44}$ ; ya que sus recuperaciones de oro son cercanas en las granulometrías (#-325 ; #-400) y concentración de  $CN^-$  (3000, 5000 y 10000 ppm)
- Según el autor y los datos obtenidos en las pruebas experimentales se recomienda trabajar en las condiciones de la prueba  $Y_{32}$ , teniendo una recuperación de oro de 94.24% a una granulometría del 95% pasante #-325 y concentración de  $CN^-$  de 3000 ppm ya que a esas condiciones las recuperaciones de oro son favorables y el costo de procesamiento sería económicamente rentable. Teniendo también en cuenta que el concentrado tiene un sub producto que es la plata y según las pruebas experimentales se obtuvo una buena recuperación en la prueba  $Y_{32}$ , del 78.59% en Ag.
- En cuanto a la concentración de  $CN^-$  Según el trabajo de investigación para la recuperación de oro y como sub producto la plata, se recomienda trabajar en concentraciones cercanos a 3000 ppm, ya que a concentraciones altas las recuperaciones de oro son experimentalmente cercanos y perjudiciales para las recuperaciones del sub producto que es la plata.
- En la prueba  $Y_{44}$ , se recomienda evaluar el por qué la disminución en la recuperación de oro, así como también en su cinética de lixiviación. Esto puede deberse al uso excesivo en la concentración de cianuro por encima de 10000 ppm.
- Se recomienda aumentar las horas de agitación a 72 horas con la finalidad de verificar su máxima recuperación.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejo, B. (2022). Tratamiento de minerales sulfurados auríferos por cianuración, en la planta de beneficio Minarsa S.A. Yanaquihua - Arequipa [Tesis de maestría]. Puno.
- Calli, F. (2016). Optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – Minera Aruntani SAC [Tesis de maestría]. Puno, Perú.
- Ccori, R. (2018). Recuperación de oro de un mineral refractario [Tesis de pregrado]. Arequipa.
- Cetemin. (2014). Mineralurgia del oro II. Lima.
- Coaguila, R., & L. T. (2018). Pretratamiento de la lixiviación de un mineral refractario de oro y plata asociado a sulfuros con la adición de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio [Tesis de maestría]. Arequipa, Perú.
- Escalante, B. (2016). Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación. Cachachi – Cajamarca 2016 [Tesis de pregrado]. Cajamarca, Perú.
- Franklin, R. H. J. (2018). Optimización del pH en la cianuración de oro a partir de minerales arsenopiríticos en la Minera Aurífera Retamas S.A. [Tesis de pregrado]. Puno.
- Libre, W. (s.f.). Oro. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Oro>
- Madrid, R. (2018). Evaluación de cuatro métodos para recuperación de oro a partir de un mineral refractario [Tesis de maestría]. México.
- Mayolo, (s.f.). Influencia de la granulometría en el proceso de lixiviación. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-santiago-antunez-de-mayolo/ingenieria-de-minas/influencia-de-la-granulometria-en-el-proceso-de-lixivacion/54242650>



Taype, S. (2013). Proceso de lixiviación dinámica de minerales auríferos de baja ley en SMRL. San Juan Cien de Cabanilla – Puno [Tesis de pregrado]. Puno, Perú.



## **ANEXOS**



## Anexo A. ANALISIS QUIMICOS POR ENSAYO AL FUEGO

### Anexo A.1. Certificado de análisis de Au y Ag del mineral de cabeza



**PROCESADORA NEAL S.A.C.**

**Laboratorio Químico**

#### INFORME DE ANÁLISIS ENSAYO AL FUEGO

Recepción de la muestra: 18/02/2023

FECHA	CODIGO	RESULTADO DE LEYES	
		Au (Oz/TC)	Ag (Oz/TC)
18/02/2023	M-1	3.253	1.816
18/02/2023	M-6	3.214	1.985
19/02/2023	M-3	3.139	1.826
19/02/2023	M-5	3.147	1.799
20/02/2023	M-8	3.219	1.832
20/02/2023	M-4	3.317	1.851
20/02/2023	M-10	3.316	1.991
20/02/2023	M-13	3.227	1.870

Chala, 21 de febrero de 2023

Bach. Erlang Sullasi Cc.



**Anexo A.2. Certificado de análisis de Au y Ag del relave de lixiviación con cianuro de las pruebas experimentales.**



**PROCESADORA NEAL S.A.C.**  
**Laboratorio Químico**

**INFORME DE ANÁLISIS ENSAYO AL FUEGO**

Recepción de la muestra: 23/05/2023

FECHA	CODIGO	RESULTADO DE LEYES	
		Au (Oz/TC)	Ag (Oz/TC)
24/05/2023	Y <sub>11</sub>	0.828	0.693
24/05/2023	Y <sub>21</sub>	0.674	0.599
24/05/2023	Y <sub>31</sub>	0.451	0.506
24/05/2023	Y <sub>41</sub>	0.250	0.497
26/05/2023	Y <sub>12</sub>	0.647	0.656
26/05/2023	Y <sub>22</sub>	0.419	0.577
26/05/2023	Y <sub>32</sub>	0.165	0.489
26/05/2023	Y <sub>42</sub>	0.127	0.374
27/05/2023	Y <sub>13</sub>	0.582	0.737
27/05/2023	Y <sub>23</sub>	0.399	0.633
27/05/2023	Y <sub>33</sub>	0.161	0.637
27/05/2023	Y <sub>43</sub>	0.110	0.658
29/05/2023	Y <sub>14</sub>	0.635	0.760
29/05/2023	Y <sub>24</sub>	0.306	0.726
29/05/2023	Y <sub>34</sub>	0.176	0.751
29/05/2023	Y <sub>44</sub>	0.135	0.703

Chala, 30 de mayo de 2023

Bach. Erlang Sullasi Cc.



**Anexo A.3. Certificado de análisis de solución de Au por adsorción atómica de las pruebas experimentales de lixiviación con cianuro.**



**PROCESADORA NEAL S.A.C.**  
**Laboratorio Químico**

**INFORME DE ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

Recepción de la muestra: 13/06/2023

FECHA	CODIGO	RESULTADOS DE LEYES DE Au				
		6 hr	12 hr	24 hr	36 hr	48 hr
		mg/Lt	mg/Lt	mg/Lt	mg/Lt	mg/Lt
13/06/2023	Y <sub>11</sub>	2.913	9.920	18.840	23.291	25.592
13/06/2023	Y <sub>21</sub>	0.935	10.140	19.990	28.410	32.960
13/06/2023	Y <sub>31</sub>	0.169	5.554	15.860	28.230	34.280
13/06/2023	Y <sub>41</sub>	0.022	2.630	11.910	27.671	34.178
13/06/2023	Y <sub>12</sub>	3.110	21.632	28.282	30.194	31.152
13/06/2023	Y <sub>22</sub>	1.953	19.980	29.460	33.390	34.180
13/06/2023	Y <sub>32</sub>	1.750	29.310	34.020	36.777	38.640
13/06/2023	Y <sub>42</sub>	0.965	28.912	35.846	37.911	38.943
15/06/2023	Y <sub>13</sub>	6.328	23.470	29.040	30.290	31.673
15/06/2023	Y <sub>23</sub>	4.602	26.040	32.140	35.030	36.440
15/06/2023	Y <sub>33</sub>	3.265	31.570	36.480	38.450	39.020
15/06/2023	Y <sub>43</sub>	2.880	28.160	34.150	37.930	39.310
15/06/2023	Y <sub>14</sub>	6.840	25.235	29.531	31.523	32.571
15/06/2023	Y <sub>24</sub>	6.454	26.366	33.046	35.351	36.914
15/06/2023	Y <sub>34</sub>	5.932	29.983	35.472	38.381	39.268
15/06/2023	Y <sub>44</sub>	5.431	28.802	35.286	37.523	38.941

Chala, 15 de junio de 2023

Bach. Erlang Sullasi Cc.



**Anexo A.4. Certificado de análisis de solución de Ag por adsorción atómica de las pruebas experimentales de lixiviación con cianuro.**



**PROCESADORA NEAL S.A.C.**

**Laboratorio Químico**

**INFORME DE ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

Recepción de la muestra: 20/07/2023

FECHA	CODIGO	RESULTADO DE LEYES DE Ag				
		6 hr mg/Lt	12 hr mg/Lt	24 hr mg/Lt	36 hr mg/Lt	48 hr mg/Lt
20/07/2023	Y <sub>11</sub>	0.305	3.378	7.850	12.462	14.763
20/07/2023	Y <sub>21</sub>	0.242	4.278	10.440	14.364	15.991
20/07/2023	Y <sub>31</sub>	0.221	2.330	8.470	12.973	16.246
20/07/2023	Y <sub>41</sub>	0.095	1.481	6.994	11.858	16.146
21/07/2023	Y <sub>12</sub>	0.696	10.520	13.523	14.272	14.749
21/07/2023	Y <sub>22</sub>	0.291	9.938	13.794	15.143	16.848
21/07/2023	Y <sub>32</sub>	0.150	10.660	13.231	16.785	18.672
21/07/2023	Y <sub>42</sub>	0.143	11.390	15.136	17.541	18.863
21/07/2023	Y <sub>13</sub>	2.108	9.872	12.893	13.014	13.381
21/07/2023	Y <sub>23</sub>	1.519	10.531	11.473	15.115	16.014
21/07/2023	Y <sub>33</sub>	0.187	6.307	10.043	14.716	15.834
21/07/2023	Y <sub>43</sub>	0.120	7.620	11.469	13.138	16.192
22/07/2023	Y <sub>14</sub>	5.986	9.675	11.041	12.630	12.803
22/07/2023	Y <sub>24</sub>	3.547	8.371	11.143	12.898	13.673
22/07/2023	Y <sub>34</sub>	0.241	8.062	10.888	11.716	13.040
22/07/2023	Y <sub>44</sub>	0.113	6.540	9.370	12.511	14.241

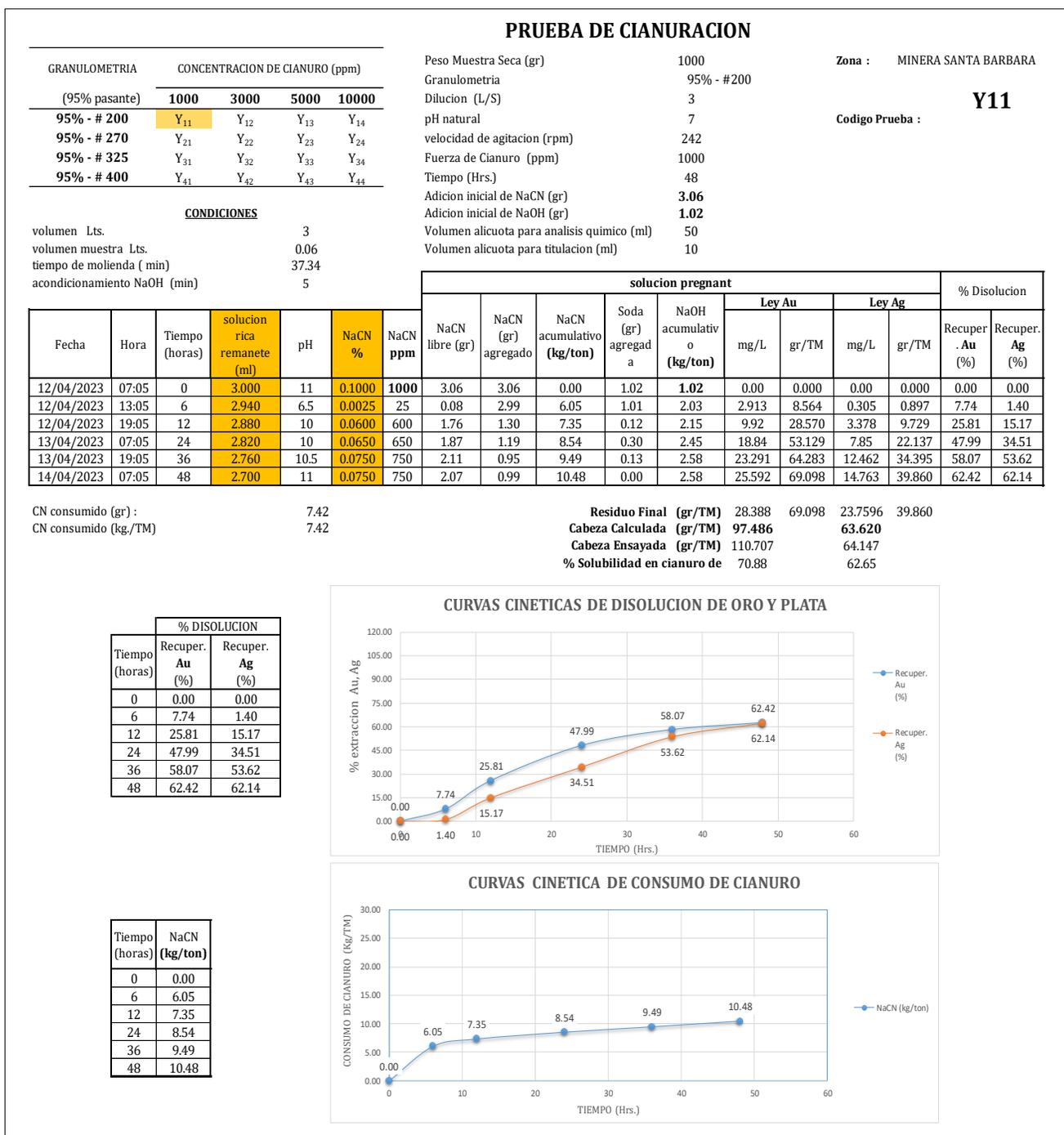
Chala, 23 de julio de 2023

Bach. Erlang Sullasi Cc.



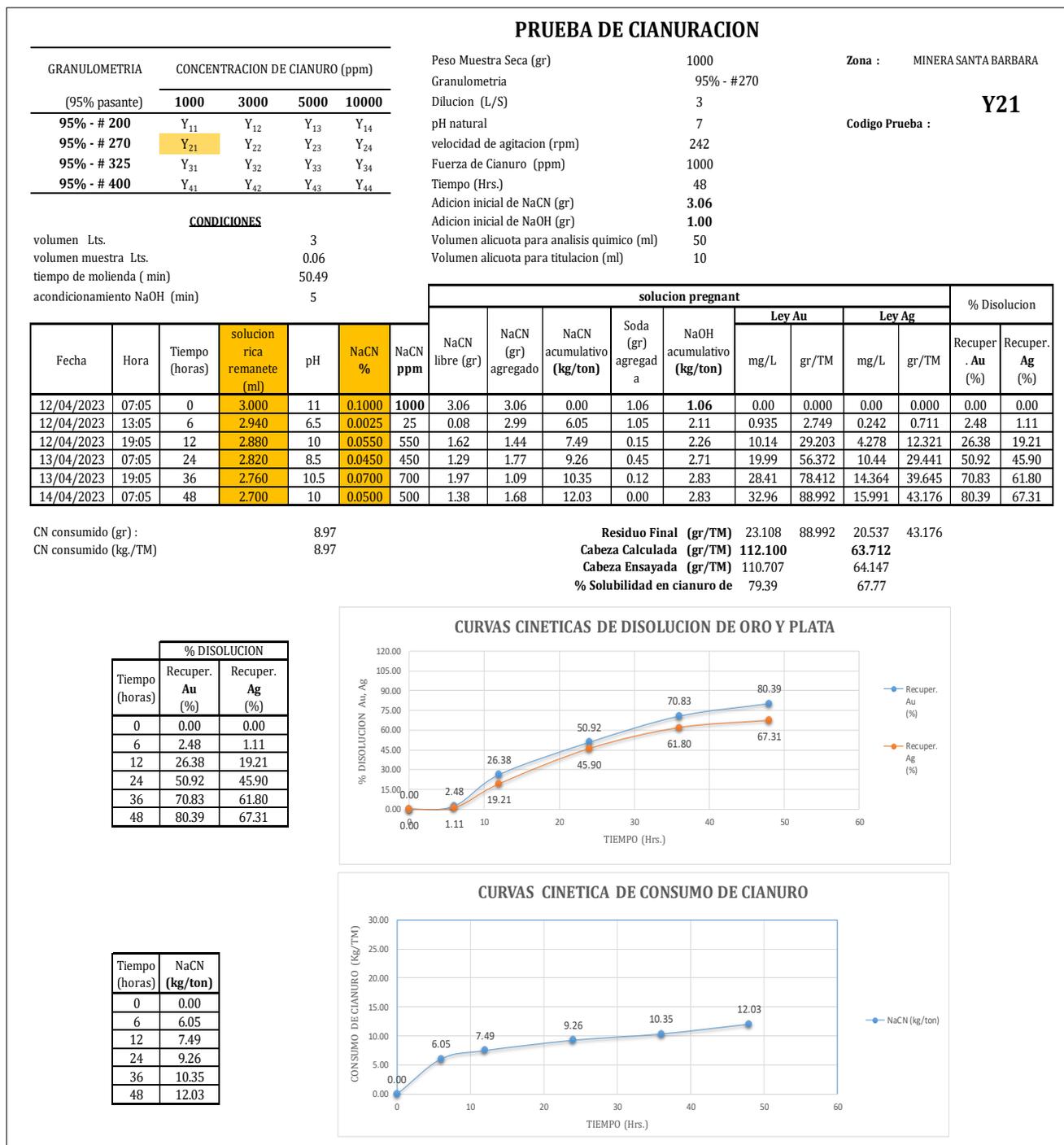
## Anexo B. BALANCES METALURGICOS EXPERIMENTALES

**Anexo B.1. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 7.42 kg/TM de NaCN<sup>-</sup> y 2.58 kg/TM de NaOH<sup>+</sup>.**



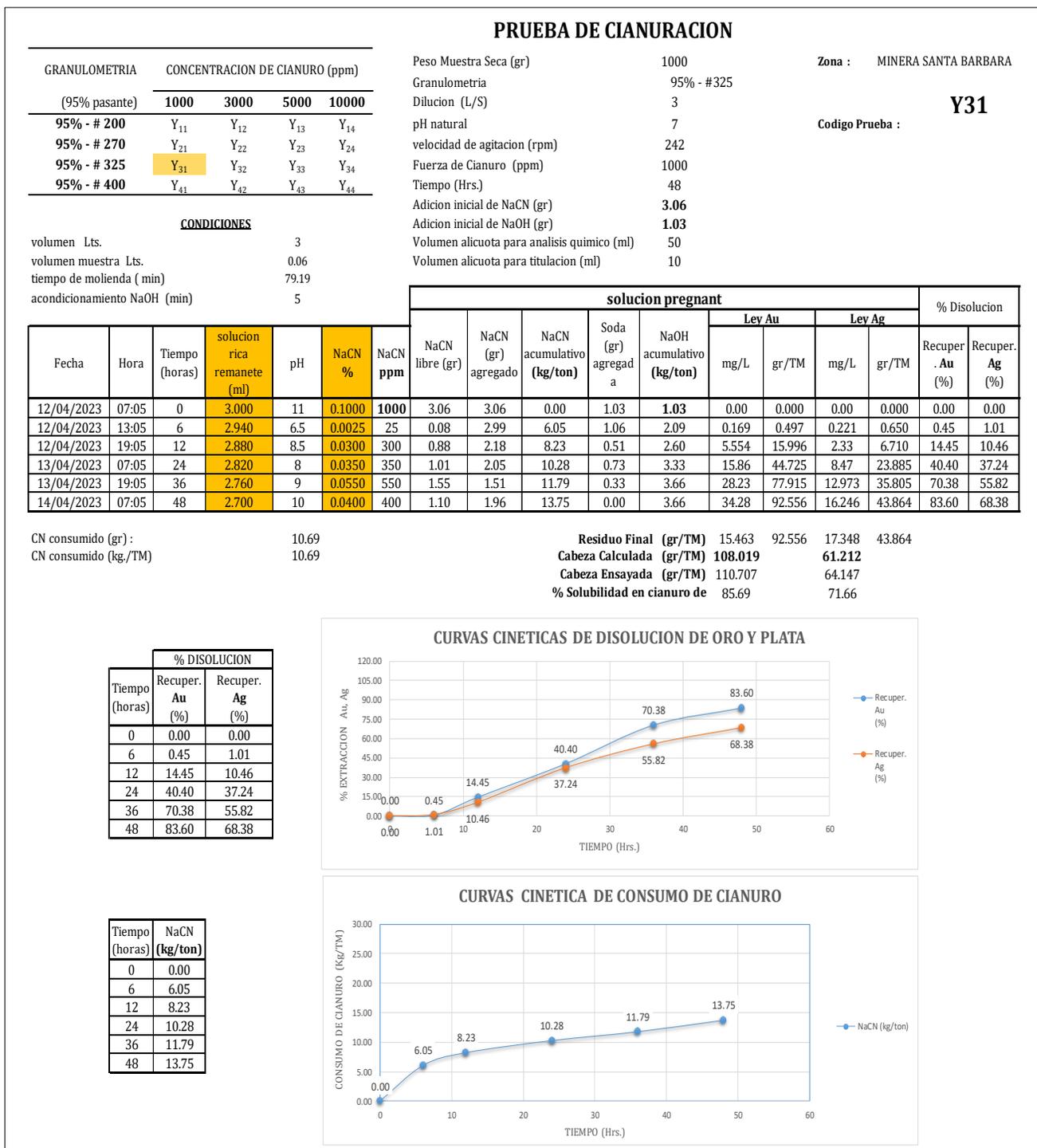


**Anexo B.2. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 8.97 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 2.83 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



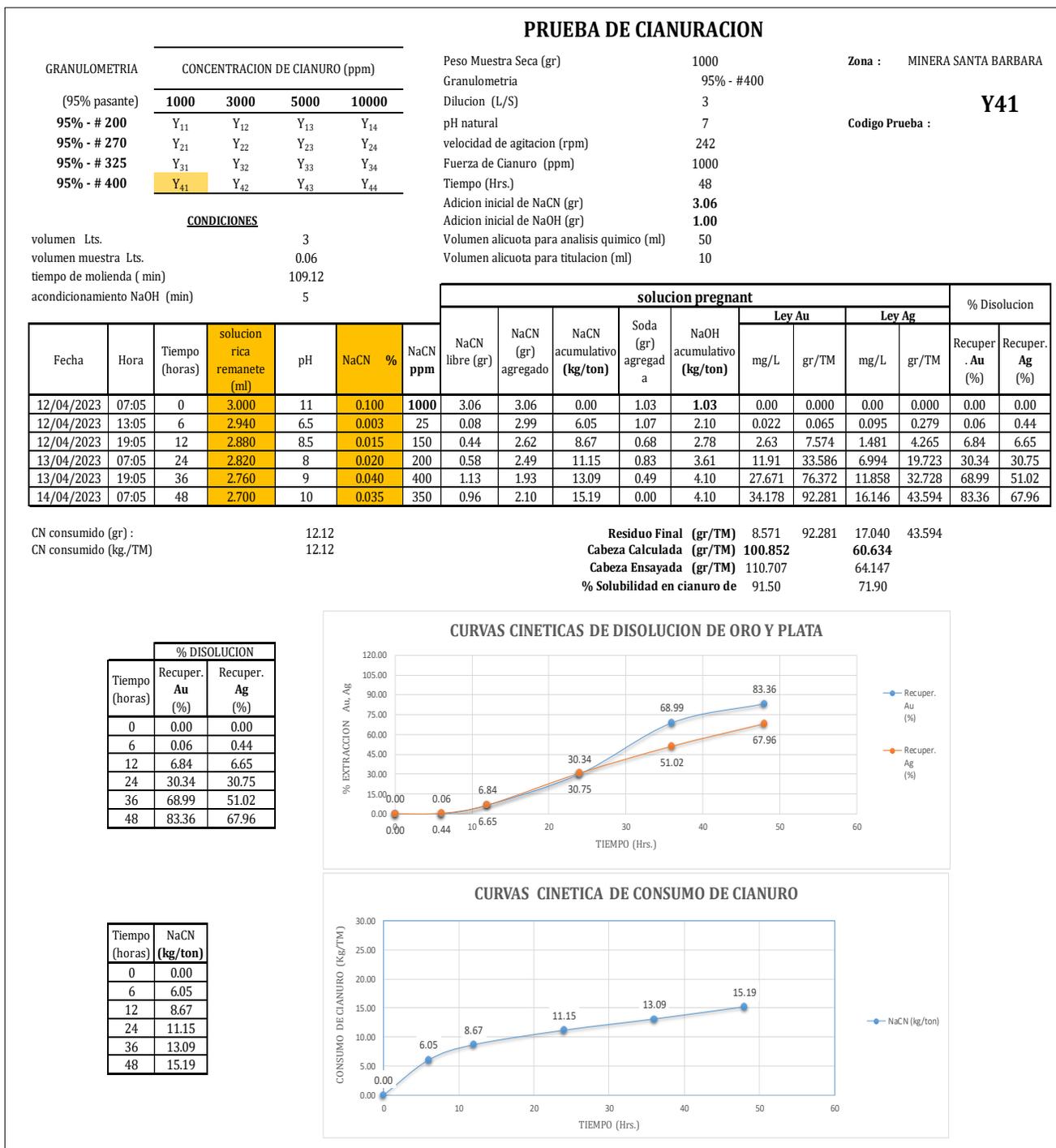


**Anexo B.3. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 10.69 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 3.66 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**





**Anexo B.4. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 1000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 12.12 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 4.10 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**





**Anexo B.5. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 20.40 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**

**PRUEBA DE CIANURACION**

GRANULOMETRIA (95% pasante)	CONCENTRACION DE CIANURO (ppm)			
	1000	3000	5000	10000
95% - # 200	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>14</sub>
95% - # 270	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>23</sub>	Y <sub>24</sub>
95% - # 325	Y <sub>31</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>33</sub>	Y <sub>34</sub>
95% - # 400	Y <sub>41</sub>	Y <sub>42</sub>	Y <sub>43</sub>	Y <sub>44</sub>

Peso Muestra Seca (gr)	1000
Granulometria	95% - #200
Dilucion (L/S)	3
pH natural	7
velocidad de agitacion (rpm)	242
Fuerza de Cianuro (ppm)	3000
Tiempo (Hrs.)	48
Adicion inicial de NaCN (gr)	9.18
Adicion inicial de NaOH (gr)	1.01
Volumen alicuota para analisis quimico (ml)	50
Volumen alicuota para titulacion (ml)	10

Zona : MINERA SANTA BARBARA

Codigo Prueba :

**Y12**

**CONDICIONES**

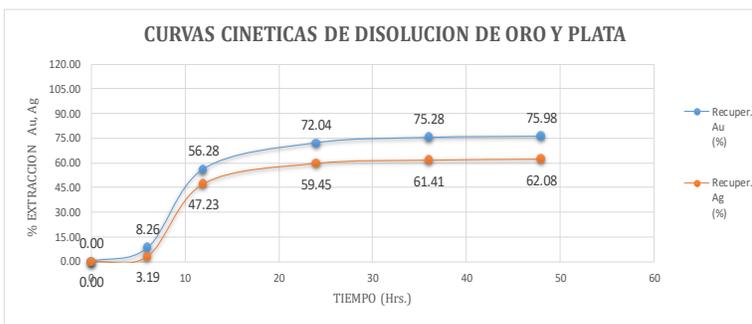
volumen Lts.	3
volumen muestra Lts.	0.06
tiempo de molinda ( min )	37.3
acondicionamiento NaOH (min)	5

Fecha	Hora	Tiempo (horas)	solucion rica remanete (ml)	pH	NaCN %	NaCN ppm	solucion pregnant								% Disolucion		
							NaCN libre (gr)	NaCN (gr) agregado	NaCN acumulativo (kg/ton)	Soda (gr) agregada	NaOH acumulativo (kg/ton)	Ley Au		Ley Ag		Recuper. Au (%)	Recuper. Ag (%)
												mg/L	gr/TM	mg/L	gr/TM		
7/04/2023	07:10	0	3.000	11	0.300	3000	9.18	9.18	0.00	1.01	1.01	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00
7/04/2023	13:10	6	2.940	11.5	0.005	50	0.15	9.03	18.22	0.00	1.01	3.11	9.143	0.696	2.046	8.26	3.19
7/04/2023	19:10	12	2.880	11.5	0.245	2450	7.20	1.98	20.20	0.00	1.01	21.632	62.300	10.52	30.298	56.28	47.23
8/04/2023	07:10	24	2.820	11	0.220	2200	6.33	2.85	23.05	0.00	1.01	28.282	79.755	13.523	38.135	72.04	59.45
8/04/2023	19:10	36	2.760	11	0.205	2050	5.77	3.41	26.46	0.00	1.01	30.194	83.335	14.272	39.391	75.28	61.41
9/04/2023	07:10	48	2.700	11	0.220	2200	6.06	3.12	29.59	0.00	1.01	31.152	84.110	14.749	39.822	75.98	62.08

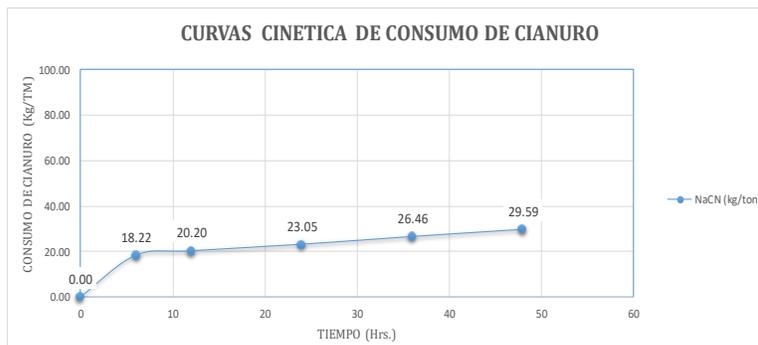
CN consumido (gr) : 20.40  
CN consumido (kg/TM) 20.40

Residuo Final (gr/TM) 22.182 84.110 22.491 39.822  
Cabeza Calculada (gr/TM) 106.293 62.313  
Cabeza Ensayada (gr/TM) 110.707 64.1474  
% Solubilidad en cianuro de 79.13 63.91

Tiempo (horas)	% DISOLUCION	
	Recuper. Au (%)	Recuper. Ag (%)
0	0.00	0.00
6	8.26	3.19
12	56.28	47.23
24	72.04	59.45
36	75.28	61.41
48	75.98	62.08

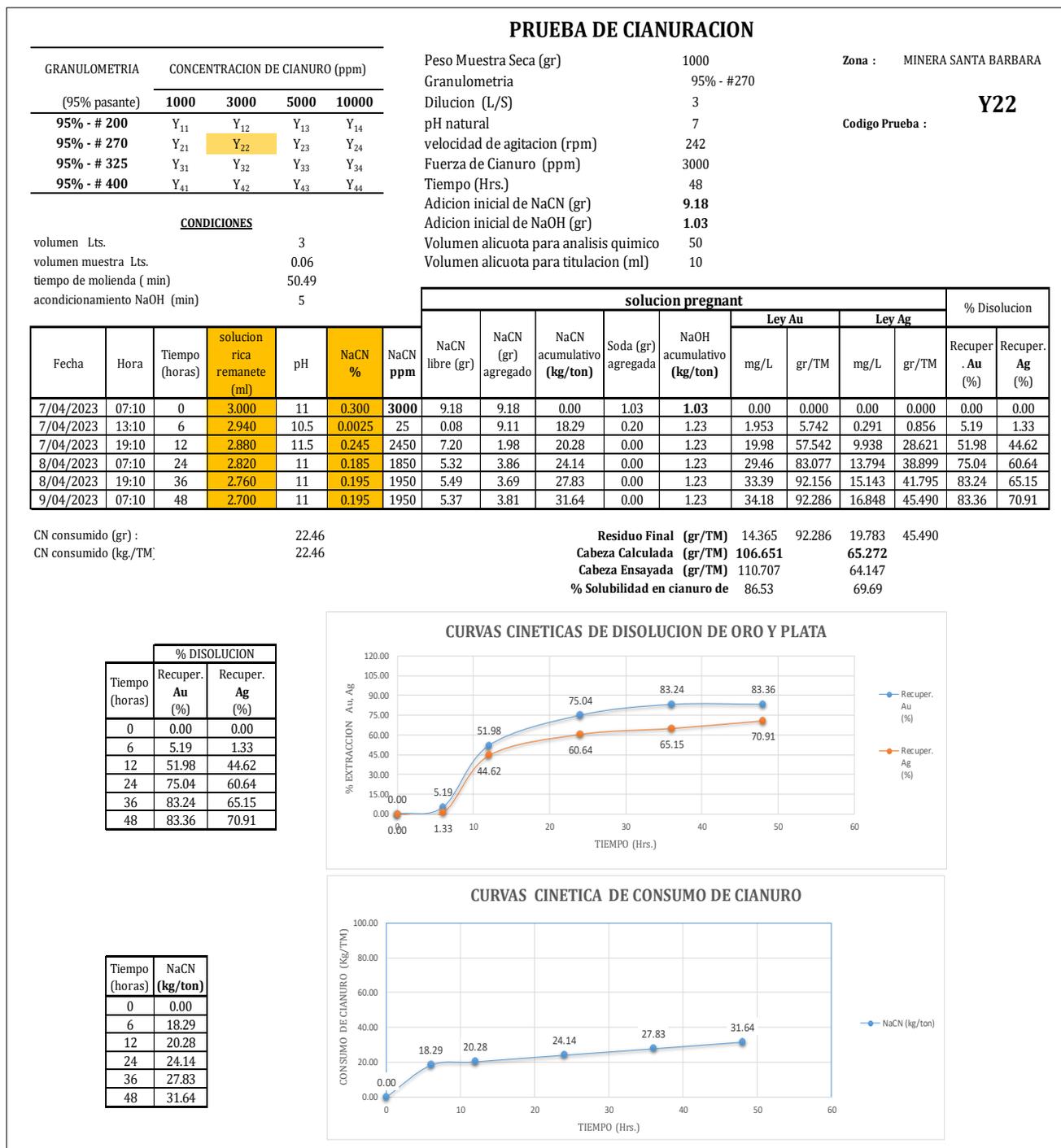


Tiempo (horas)	NaCN (kg/ton)
0	0.00
6	18.22
12	20.20
24	23.05
36	26.46
48	29.59



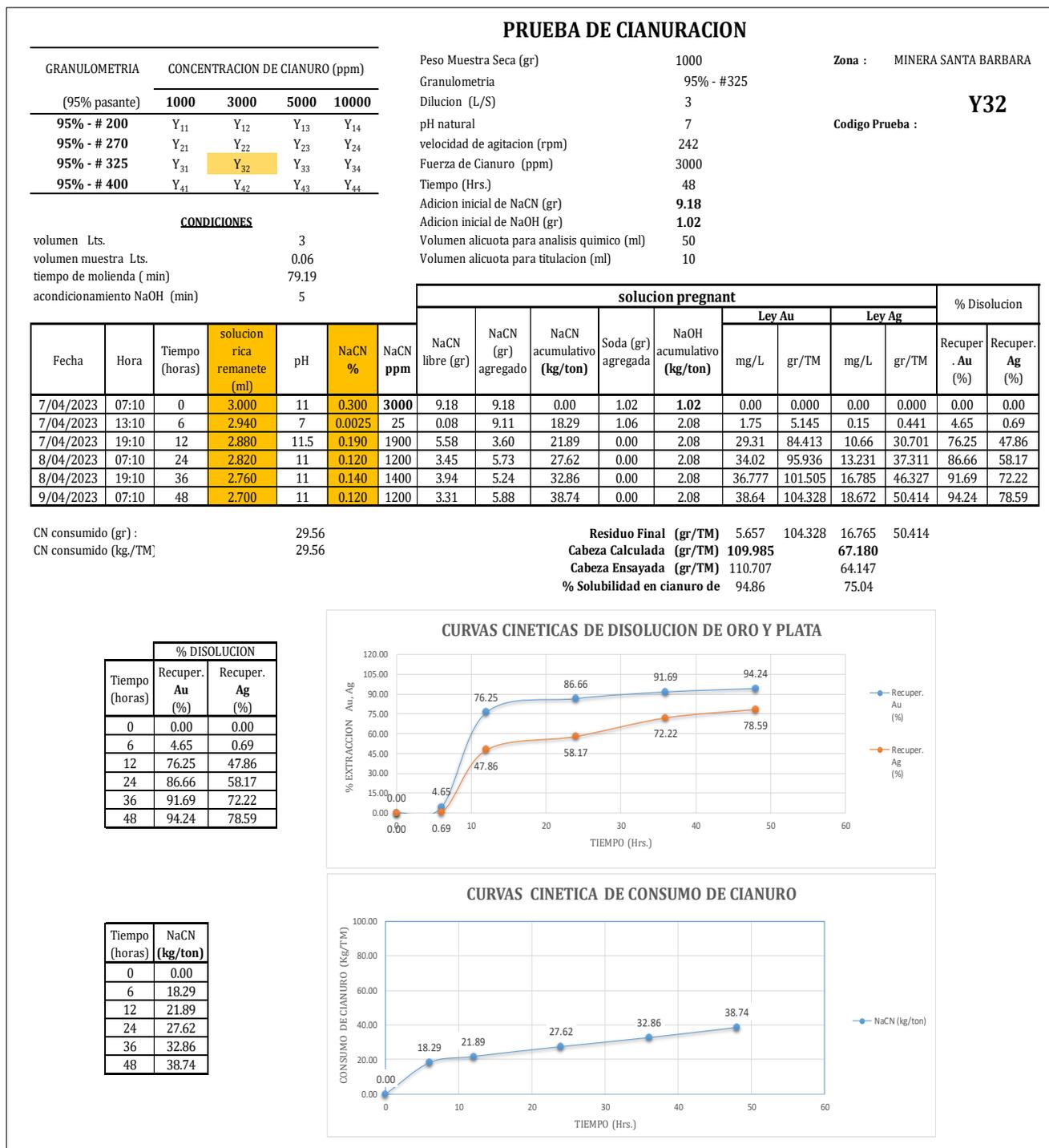


**Anexo B.6. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 22.46 kg/TM de NaCN<sup>-</sup> y 1.23 kg/TM de NaOH<sup>+</sup>.**



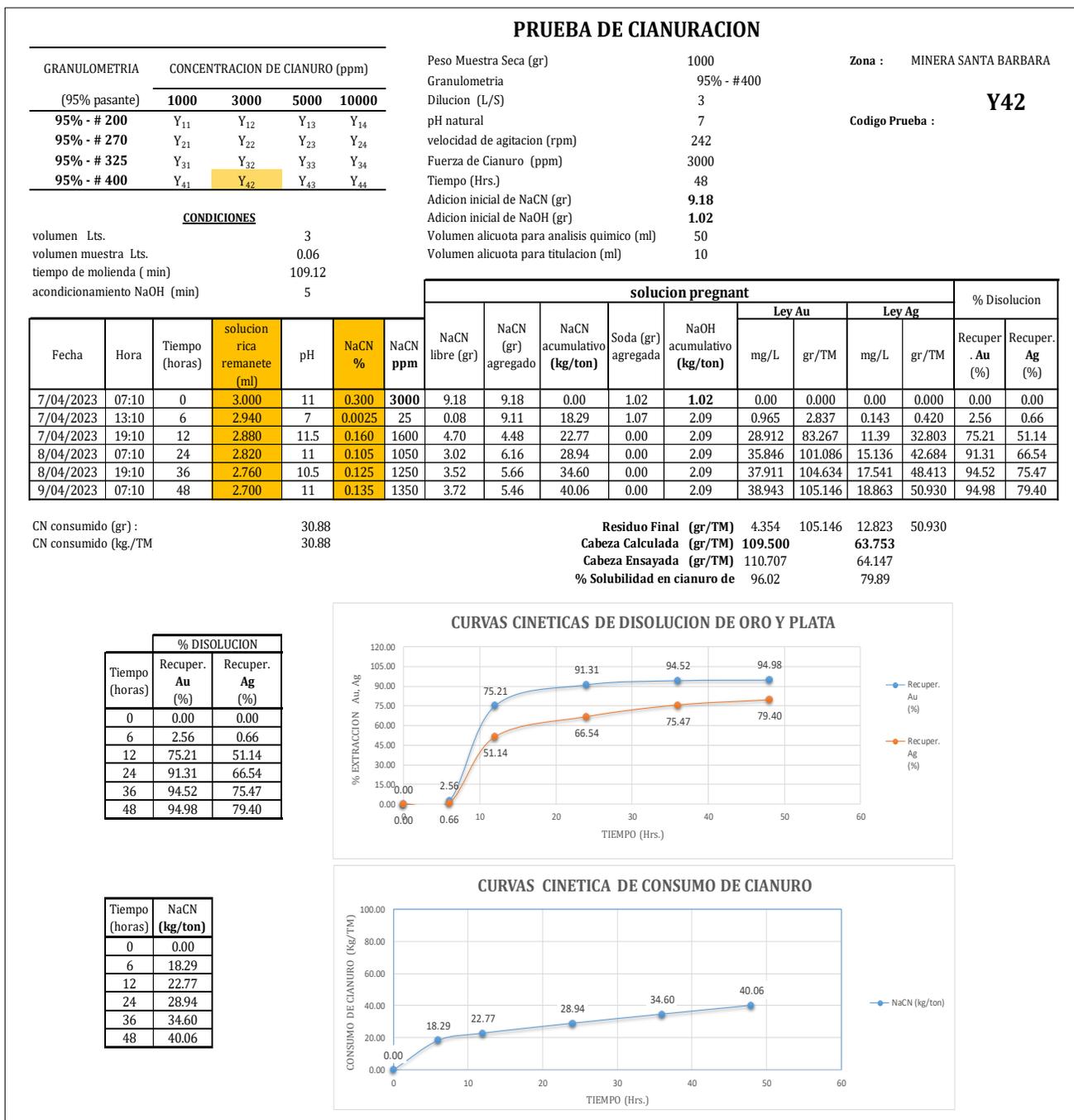


**Anexo B.7. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 29.56 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 2.08 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



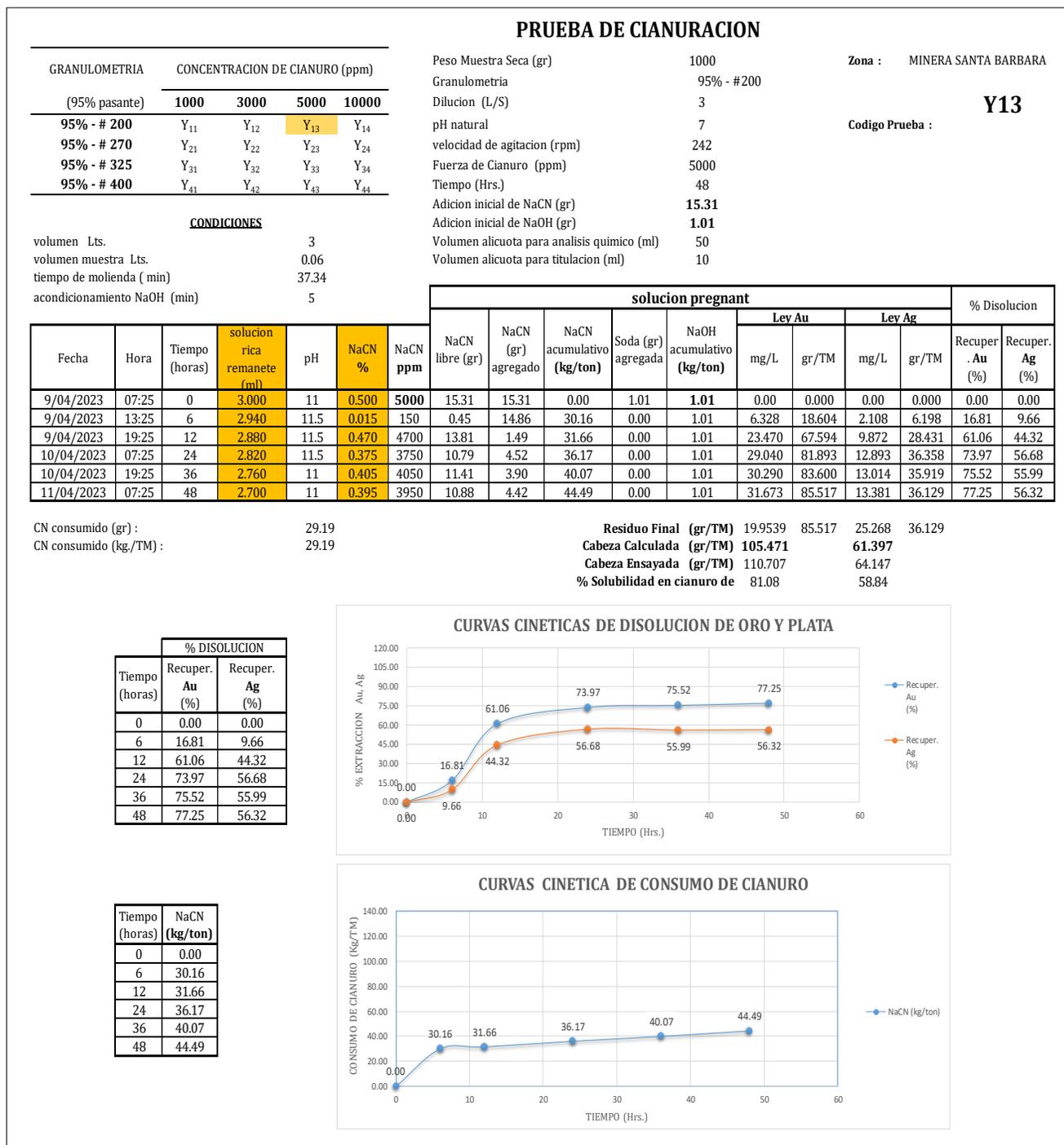


**Anexo B.8. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 3000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 30.88 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 2.09 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



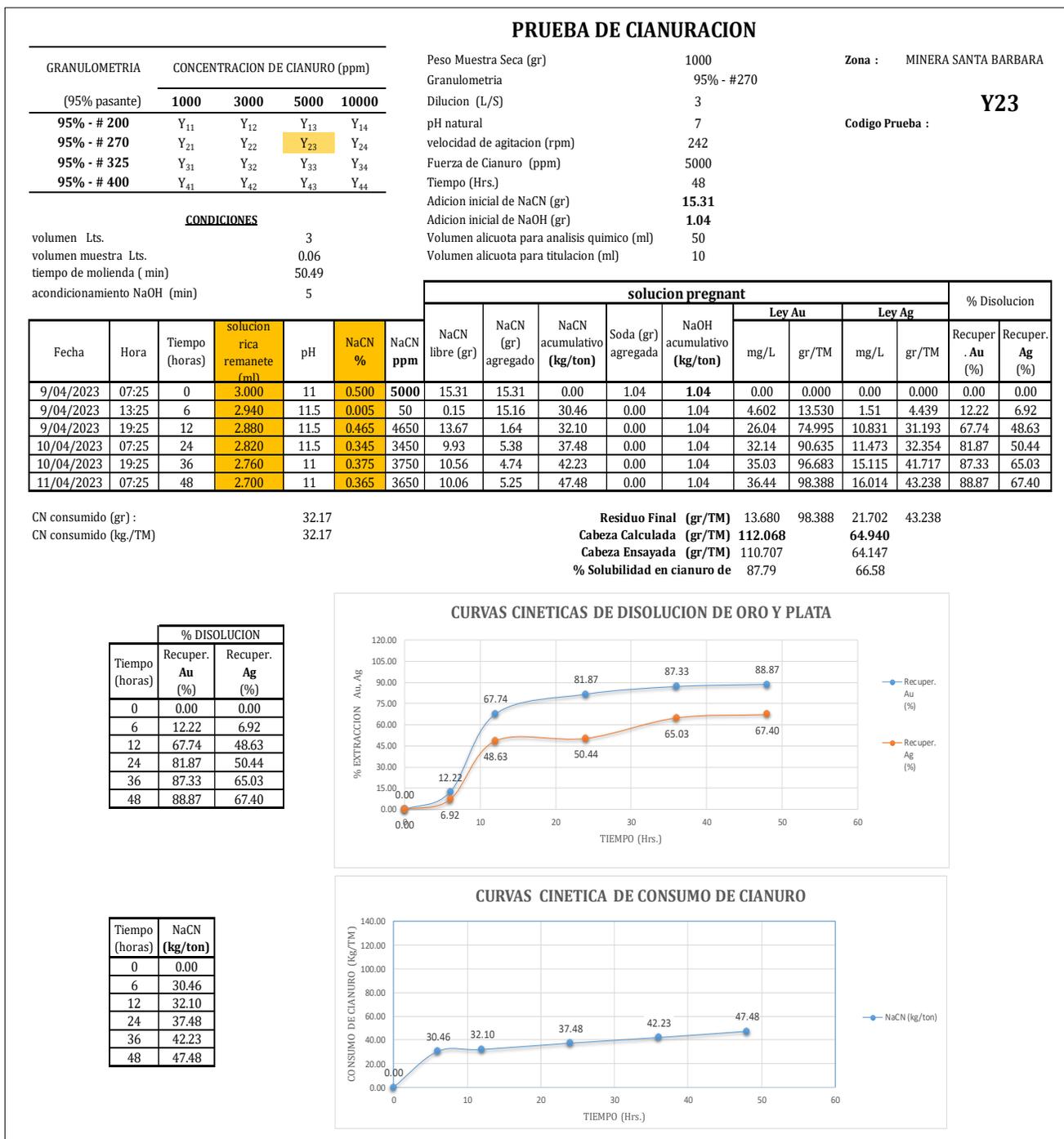


**Anexo B.9. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 29.19 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



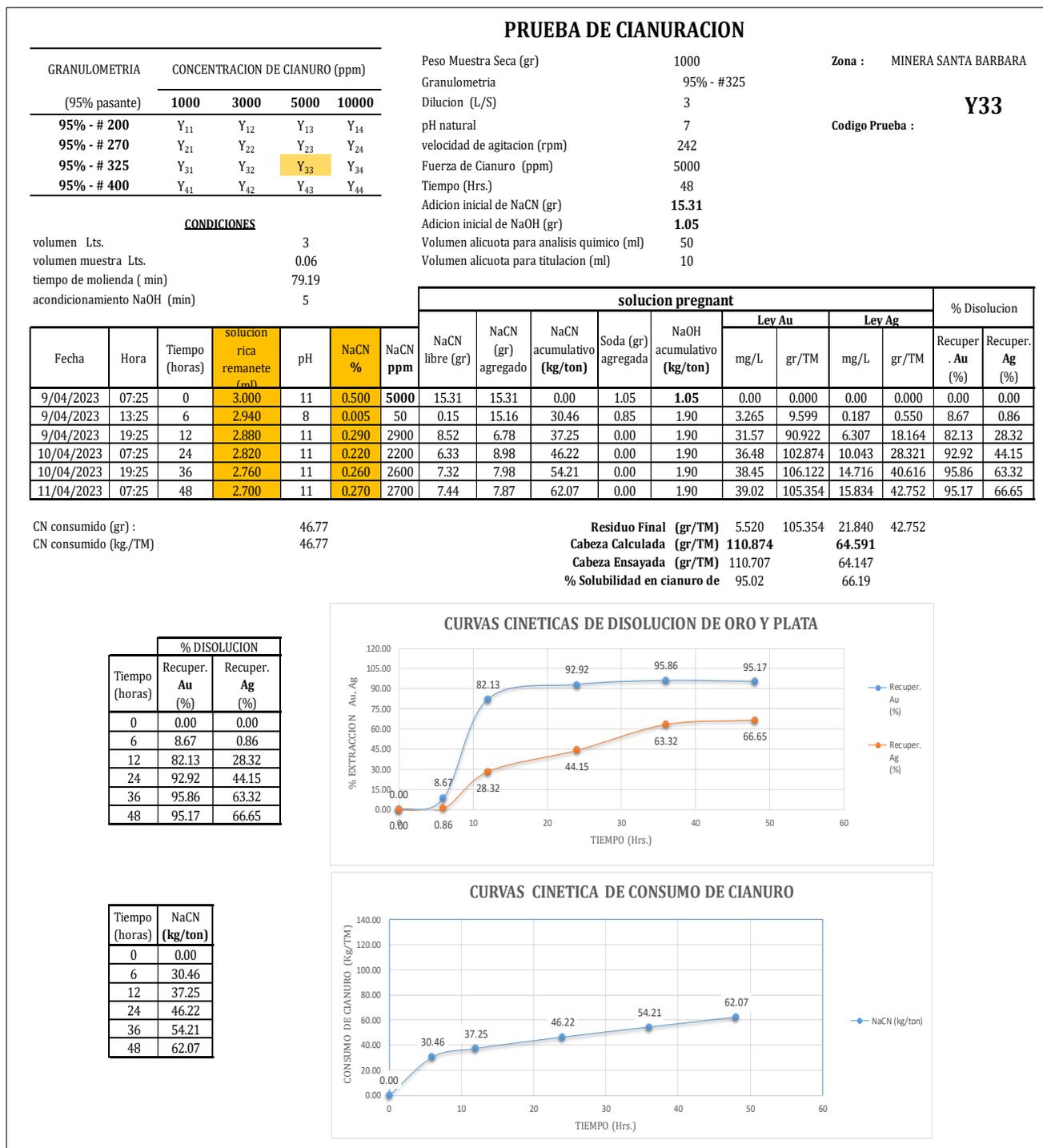


**Anexo B.10. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 32.17 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.04 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



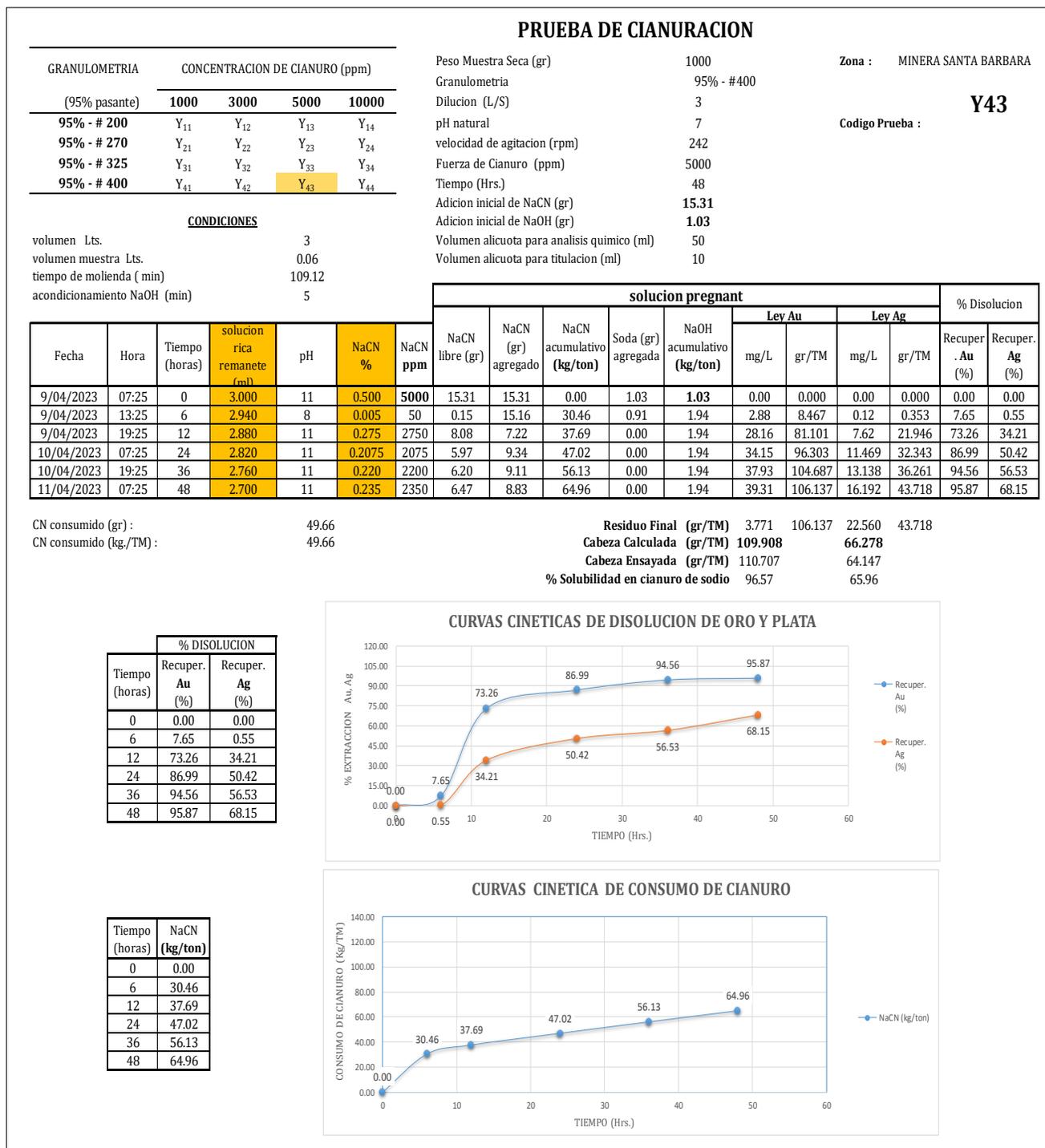


**Anexo B.11. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 46.77 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.90 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



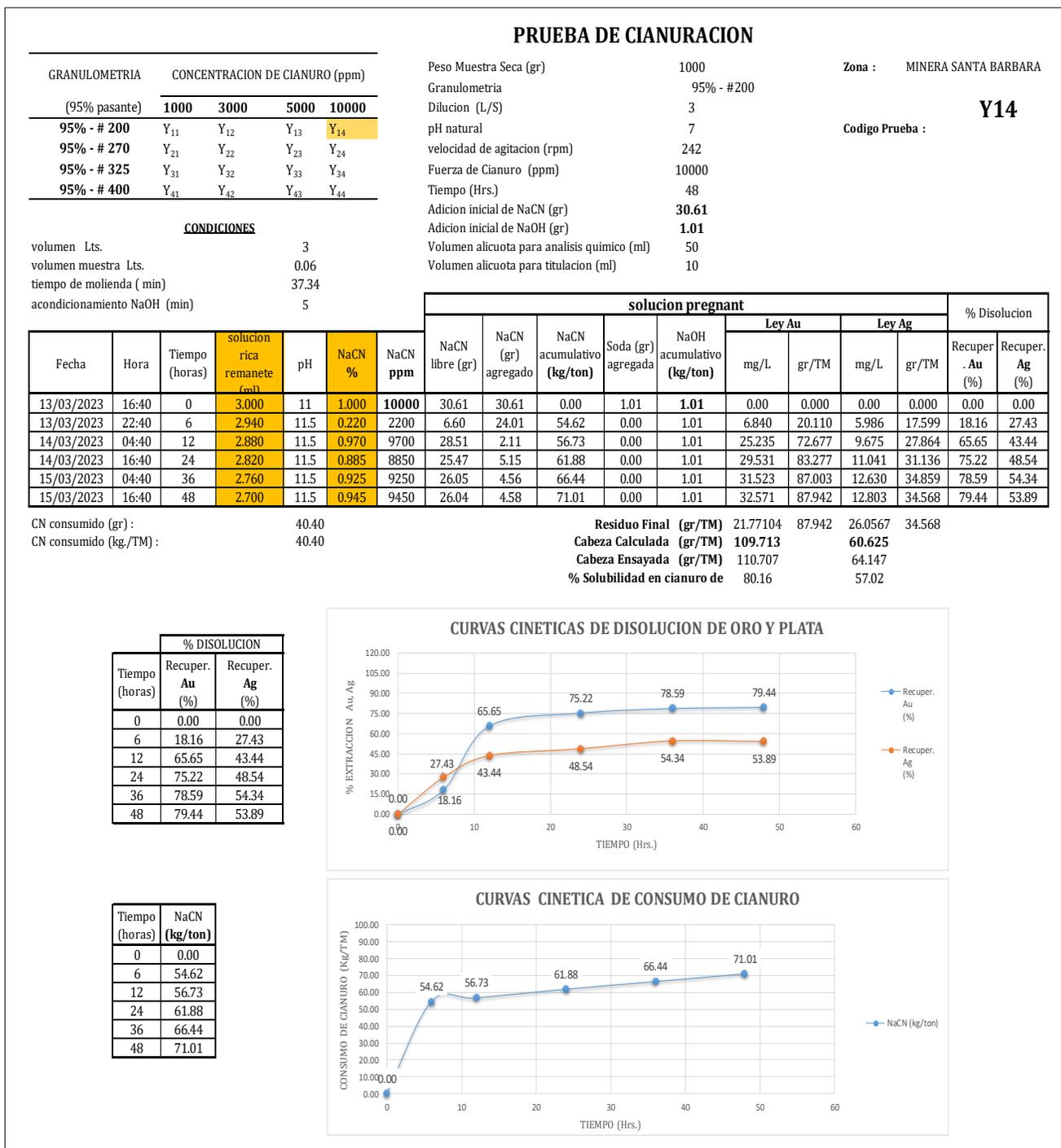


**Anexo B.12. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 5000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 49.66 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.94 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



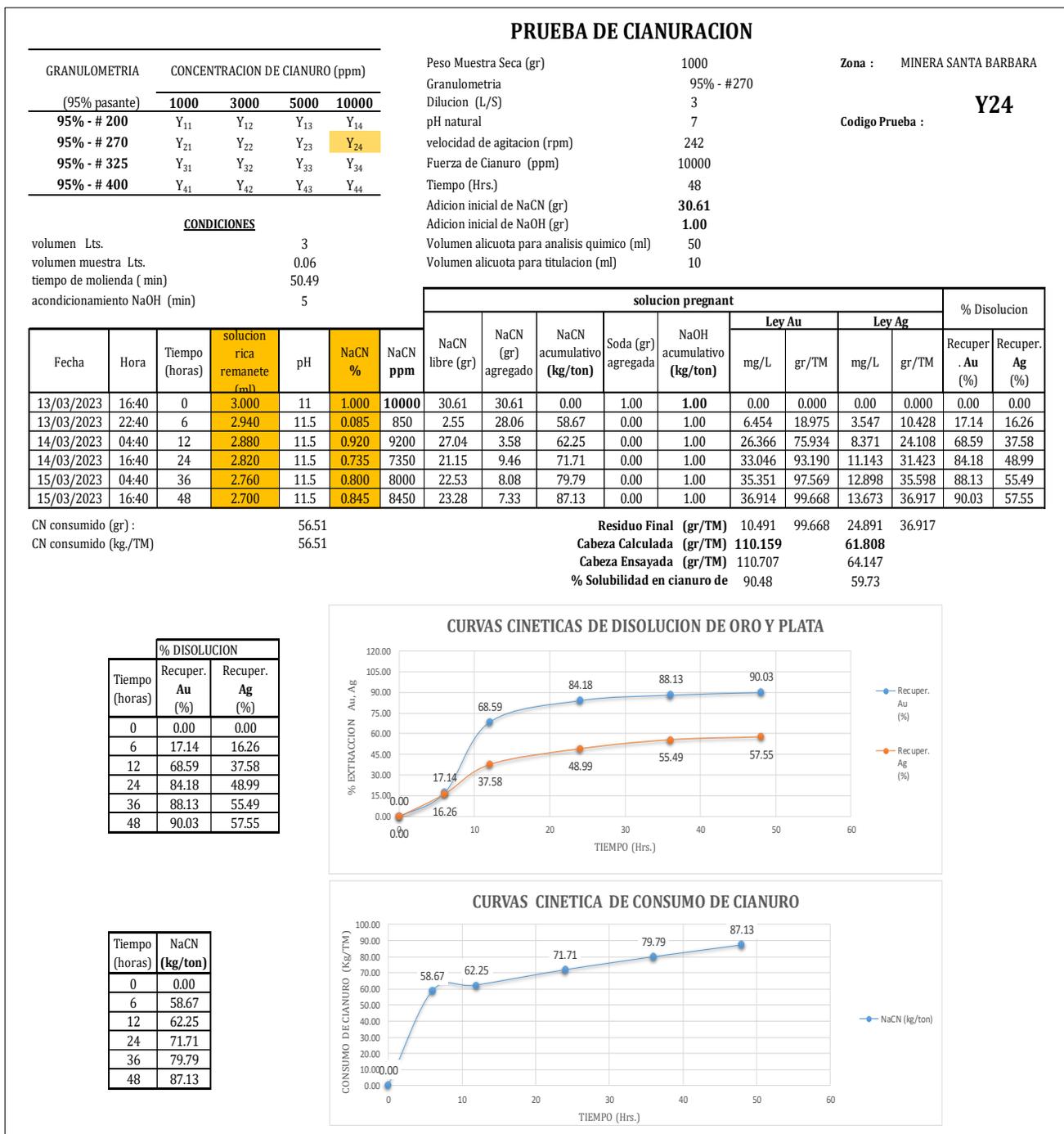


**Anexo B.13. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#200, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 40.40 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



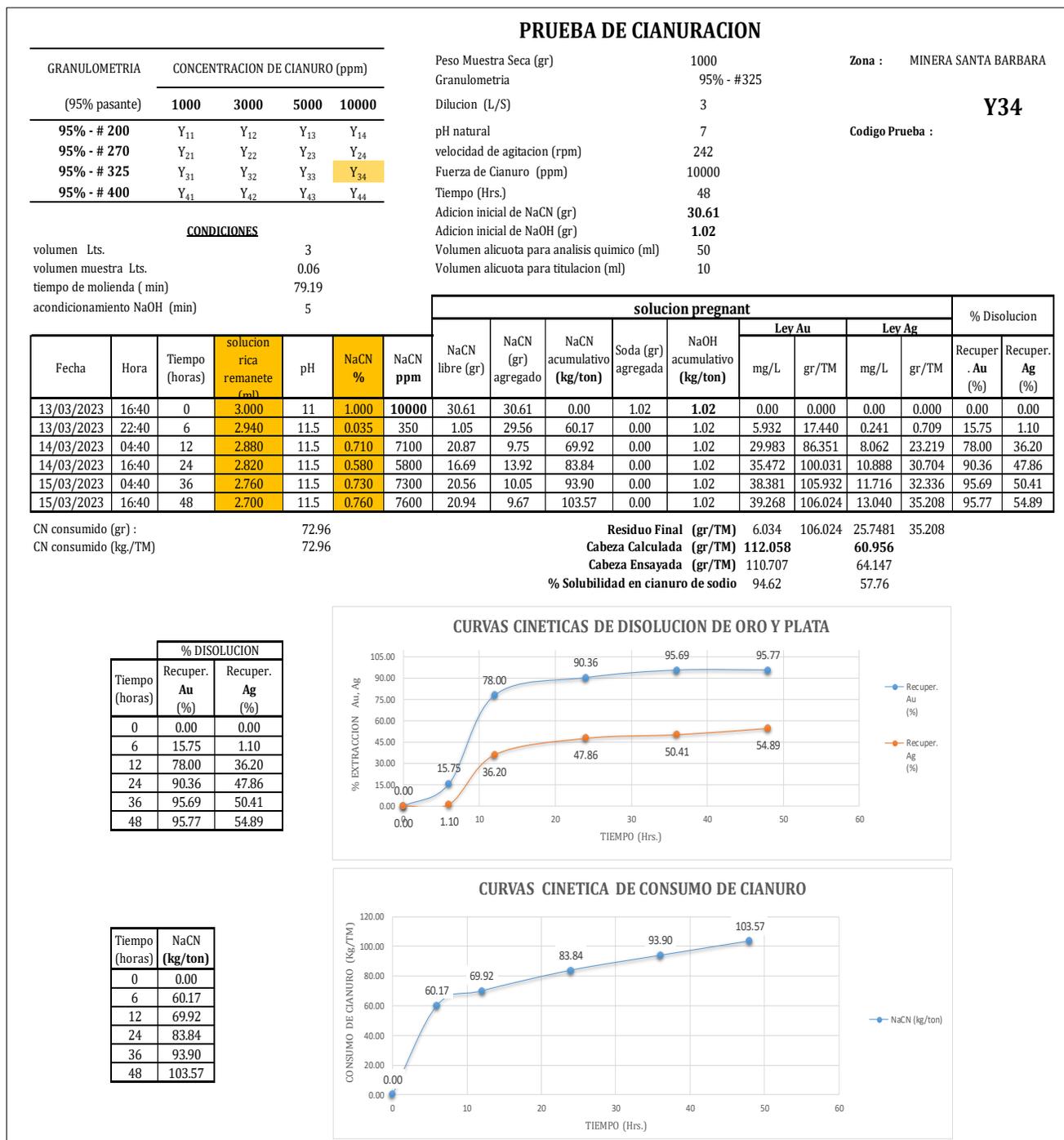


**Anexo B.14. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#270, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 56.51 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.0 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



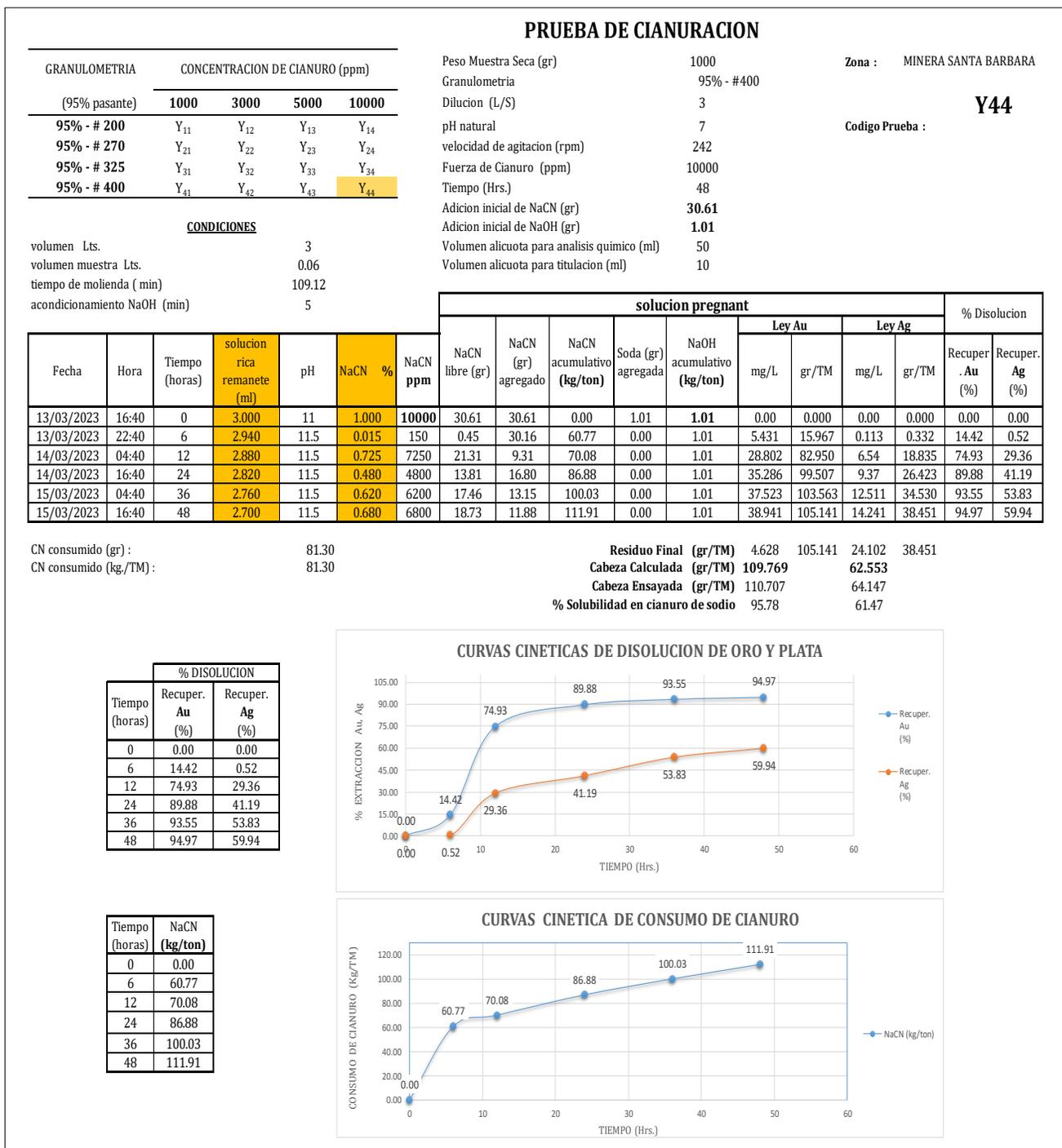


**Anexo B.15. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#325, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 72.96 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.02 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**





**Anexo B.16. Balance metalúrgico y cinética del proceso de lixiviación con 10000 ppm de cianuro de sodio, que corresponde a 95% -malla#400, en un tiempo de 48 horas de lixiviación y un consumo de 81.30 kg/TM de  $\text{NaCN}^-$  y 1.01 kg/TM de  $\text{NaOH}^+$ .**



## ANEXO C. FOTOGRAFIAS

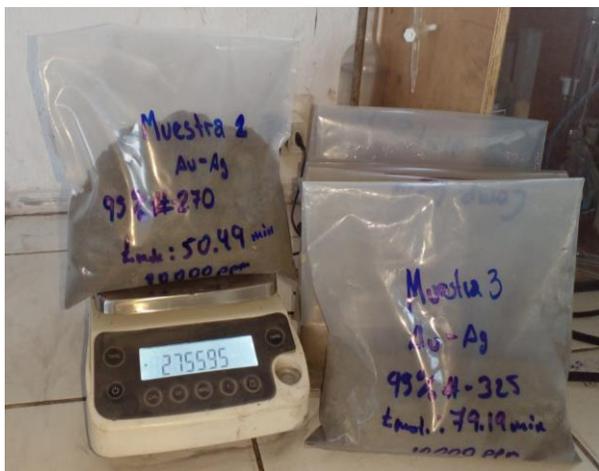
### Anexo C.1. Muestreo, cuarteo y toma de muestra del concentrado para la investigación



### Anexo C.2. Toma de muestras del concentrado para análisis químico



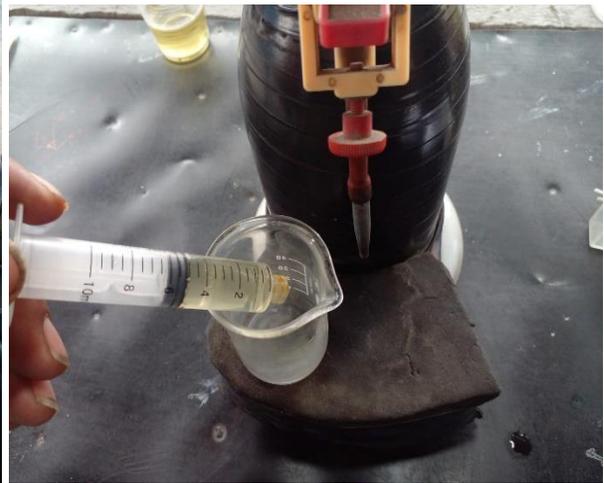
**Anexo C.3.** *Muestras para molienda, eliminación de humedad, tiempo de molienda L/S (1/1),  
preparación para agitación L/S (3/1).*



*Anexo C.4. Agitación de pruebas metalúrgicas, dosificación de  $\text{NaCN}^-$ ,  $\text{NaOH}^+$ , filtración de muestras, toma de muestras líquidas.*



**Anexo C.5. Titulación de la muestra, Determinación del pH.**



**Anexo C.6.** *muestras de relave de lixiviación, fundición, copelación, ataque y pesaje de la muestra.*



*Anexo C.7. muestras liquidas de lixiviación, filtración, calibración del equipo adsorción atómica, análisis de la muestra y toma de datos.*

