

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación
de oro en la planta procesadora Paltarumi S.A.C – Paramonga 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Jhonatan Genaro BERNUY ARTEAGA

Bach. Frank Erick ESTRADA ARMAS

Asesor:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación
de oro en la planta procesadora Paltarumi S.A.C – Paramonga 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 178-2023-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Lixiviación de Relave Fresco por Agitación en Botellas para la
Recuperación de Oro en la Planta Procesadora**

Paltarumi S.A.C – Paramonga 2021

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. BERNUY ARTEAGA, Jhonatan Genaro

Bach. ESTRADA ARMAS, Frank Erick

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. SIUCE BONIFACIO, Ramiro

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica


Índice de Similitud

10%

APROBADO

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 27 de diciembre del 2023


UNDA - UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villar Requis Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Este informe va dedicado en primera instancia a Dios quien guía mi camino dándome fuerzas y enseñándome a enfrentarme a las diversas adversidades de la vida, en segunda instancia a mis Padres por el inmenso apoyo para culminar mis estudios universitarios, y por último a los Ingenieros que dedicaron su tiempo para mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por darme salud y bienestar.
- A mis queridos padres por el gran apoyo incondicional que me brindaron; ya que sin ellos no hubiese logrado este grado académico.
- A la UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, por brindarme la gran oportunidad de desarrollar capacidades, habilidades blandas y duras; y por optar el grado académico de Ingeniero Metalurgista.
- Al personal Ingenieros y a los trabajadores de la Planta Concentradora Paltarumi S.A.C por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

RESUMEN

El estudio tiene como finalidad recuperar el oro residual de los relaves fresco producto de la lixiviación por cianuración que se deposita en la relavera de la empresa Paltarumi.

El objetivo de la investigación es realizar la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación de oro en la planta procesadora Paltarumi S.A.C. – Paramonga 2021. El estudio es del tipo experimental puro. Para la recolección de información se utilizó el diseño de los puntos muestreados, obteniéndose muestras de 20 L en balde.

Realizada las pruebas de cianuración con relave fresco y adición de cianuro fresco, se llega a las siguientes conclusiones: la ley de cabeza calculada de relave fresco es variable que tiene 1,90 a 2,77 g/ton de la cual se logra recuperar el oro residual de 20 a 28%. De acuerdo al análisis granulométrico realizado, el oro residual que se encuentra en las mallas #200, #270 y # -400. La prueba t de student calculado es 3,13, siendo mayor que el t student tabla 2,68, con lo que se demuestra que la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga, con 99% de significancia.

Palabra clave: Flocculante, sedimentación y relave.

ABSTRACT

The purpose of the study is to recover the residual gold from the fresh tailings product of leaching by cyanidation that is deposited in the tailings dam of the Paltarumi company.

The objective of the research is to carry out the leaching of fresh tailings by shaking in bottles for the recovery of gold at the Paltarumi S.A.C. processing plant. – Paramonga 2021. The study is of the pure experimental type. For the collection of information, the design of the sampled points was applied, obtaining samples of 20 l in bucket.

Once the cyanidation tests were carried out with fresh tailings and the addition of fresh cyanide, the following conclusions were reached: the head grade calculated for fresh tailings is variable, ranging from 1.90 to 2.77 g/t, from which it is possible to recover the residual gold from 20 to 28%. According to the granulometric analysis carried out, the residual gold found in meshes #200, #270 and # -400. The calculated student's t-test is 3.13, being 2.68 higher than the student's t-table, which shows that the leaching of fresh tailings by shaking in bottles influences the recovery of gold in the PALTARUMI S.A.C Processing Plant - Paramonga, with 99% significance.

Keyword: Relave, cianuración y lixiviación.

INTRODUCCIÓN

La lixiviación de minerales de oro en tanques de cianuración, es un proceso que se utiliza bajo condiciones oxidantes del oro y la plata pueden disolverse y acomplejarse en soluciones de cianuro alcalino.

Actualmente, se ha visto muchos estudios que tratan de recuperar el metal valioso proveniente de los relaves de operaciones anteriores, esto ya sea de flotación o lixiviación de metales preciosos, con la finalidad de generar beneficio económico a la empresa.

La lixiviación por cianuración de relave fresco de la Empresa Mineral Paltarumi S.A.C., nació gracias a la inquietud de querer recuperar el oro que se pierde en el relave. Esto consistió en muestrear de la descarga del último tanque descarga al cajón de relave, que tiene una ley aproximada de 2,28 g/Ton de oro, y la plata en 17 g/Ton, que al final van ser dispuesto a la relavera.

El estudio tiene como objetivo realizar la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación de oro en la planta procesadora Paltarumi S.A.C. Para lo cual, se realizaron 30 pruebas de cinética de lixiviación del relave fresco, controlándose los parámetros como: pH, consumo de cianuro, porcentaje de sólidos, densidad de pulpa, tiempo de cianuración en 14, 28 y 42 horas.

Las recuperaciones de oro que se obtienen son en el rango de 20 a 28%, esto es en función a la ley de cabeza calculada, ya que se realiza el tratamiento de minerales auríferos de diferentes yacimientos que pueden ser minerales mixtos, óxidos y sulfuros. Esto no permite una uniformidad en la ley de cabeza que ingresa al tratamiento. Además, la empresa trabaja por campaña después de acumular mineral aurífero.

Para la ejecución de la tesis y cumplir con los objetivos del estudio se estructuro de la siguiente manera:

En el capítulo I, se presentó el planteamiento del problema, objetivos y las limitaciones del estudio y la importancia del estudio y razones por la que se realiza el estudio de lixiviación de relave fresco.

En el Capítulo II, Contiene el marco teórico, en donde se presenta los antecedentes de estudio, el fundamento teórico y científico relacionado con la lixiviación por cianuración de relave, parámetros de control, conceptos de lixiviación en botellas, y algunas definiciones que se manejan dentro de la hidrometalurgia.

En el Capítulo III, contiene la metodología, en esta sección se describe como se desarrolló la investigación, el muestreo para la obtención de la población y la muestra, así mismo en el diseño los puntos de donde se obtuvo los datos para la ejecución de las pruebas y recolección de datos informativos y procesamiento de los datos.

En el Capítulo IV, discusión y resultados, se presentan todos los datos informativos de la investigación, cumpliéndose con los objetivos de estudios y la relación de las variables mediante la prueba de hipótesis, y finalizar con la conclusión.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema general	2
1.3.2.	Problemas específicos	2
1.4.	Formulación de objetivos	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	3
1.6.	Limitaciones de la investigación	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudios.....	5
2.2.	Bases teóricas - científicas	8
2.3.	Definición de términos básicos	17
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	17
	2.4.1. Hipótesis General	17
	2.4.2. Hipótesis Especificas.....	17
2.5.	Identificación de variables.....	18
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	19

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación	20
3.2.	Nivel de investigación	20
3.3.	Método de Investigación	21
3.4.	Diseño de investigación.....	21
3.5.	Población y muestra	22
3.6.	Técnica e instrumento de recolección de datos	22
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	23
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	24
3.9.	Tratamiento estadístico.....	24
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	24

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	25
4.2.	Presentación análisis e interpretación de resultados.....	31
4.2.1.	Condiciones óptimas del proceso de lixiviación por cianuración	51
4.3.	Prueba de hipótesis	56
4.4.	Discusión de resultados	59

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variables e indicadores de operación.....	19
Tabla 2	Análisis granulométrico de malla valorada de relave	27
Tabla 3	Densidades de pulpa de relave referenciales.....	28
Tabla 4	Condiciones de las pruebas experimentales	29
Tabla 5	Ensaye químico del mineral y relave	30
Tabla 6	Condiciones de operación	31
Tabla 7	Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación por cianuración	32
Tabla 8	Condiciones de Operación.....	33
Tabla 9	Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación por cianuración	33
Tabla 10	Condiciones de Operación.....	34
Tabla 11	Recuperación del oro de la prueba de lixiviación por cianuración	35
Tabla 12	Condiciones de operación	36
Tabla 13	Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación	36
Tabla 14	Condiciones de operación	37
Tabla 15	Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	38
Tabla 16	Condiciones de operación	39
Tabla 17	Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	39
Tabla 18	Condiciones de operación	40
Tabla 19	Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	41
Tabla 20	Condiciones de operación	42
Tabla 21	Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	42
Tabla 22	Condiciones de operación	43
Tabla 23	Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	44
Tabla 24	Condiciones de operación	45

Tabla 25 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	45
Tabla 26 Condiciones de operación	46
Tabla 27 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	47
Tabla 28 Condiciones de operación	48
Tabla 29 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	48
Tabla 30 Condiciones de operación	49
Tabla 31 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración.....	50
Tabla 32 Diseño factorial	51
Tabla 33 Efectos estimados para Recuperación de oro (%).....	52
Tabla 34 Análisis de Varianza para Recuperación de oro.....	53
Tabla 35 Coef. de regresión para Recuperación de oro.....	54
Tabla 36 Optimizar Respuesta.....	54
Tabla 37 Porcentajes de sólidos	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Precio del dólar	8
Figura 2 Lixiviación por cianuración en botellas	10
Figura 3 Diseño para la obtención de datos.....	22
Figura 4 Medida del peso específico del relave	26
Figura 5 Densímetro Marcy.....	28
Figura 6 Control de la alcalinidad de la solución	30
Figura 7 Cinética de recuperación de oro.....	32
Figura 8 Cinética de recuperación de oro.....	34
Figura 9 Cinética de recuperación de oro.....	35
Figura 10 Cinética de recuperación de oro.....	37
Figura 11 Cinética de recuperación de oro.....	38
Figura 12 Cinética de recuperación de oro.....	40
Figura 13 Cinética de recuperación de oro.....	41
Figura 14 Cinética de recuperación de oro.....	43
Figura 15 Cinética de recuperación de oro.....	44
Figura 16 Cinética de recuperación de oro.....	46
Figura 17 Cinética de recuperación de oro.....	47
Figura 18 Cinética de recuperación de oro.....	49
Figura 19 Cinética de recuperación de oro.....	50
Figura 20 Corrida de la prueba	51
Figura 21 Gráfico de efectos	52
Figura 22 Diagrama de Pareto.....	53
Figura 23 Superficie respuesta	55
Figura 24 Superficie respuesta espacial	55

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La planta concentradora Paltarumi S.A.C está ubicado en Paramonga provincia de Barranca, es una empresa que procesa mineral aurífero por agitación en tanques juntamente con el carbón proceso llamado (CIP).

Esta planta concentradora es una acopiadora de minerales auríferos provenientes de todo el Perú desde sus inicios del año 2016, el procesamiento de estos minerales presenta muchos problemas metalúrgicos debido a sus diferentes características mineralógicas que tiene cada uno de estos minerales ya que esto impide que los procesos metalúrgicos se realicen con los parámetros y condiciones que generalmente se realiza.

Al respecto de la actividad minera de las explotaciones antiguas y del tratamiento de relaves. Chilón Chilón, H. & Mejía Jarcia, M. (2018) afirma:

En diversas labores mineras auríferas de nuestro país, los relaves del proceso de flotación que contienen valores metálicos importantes no reciben un adecuado tratamiento para recuperar metales preciosos que aún lo acompañan, estos materiales ya pasaron por un proceso de conminución que forma la parte más

costosa del procesamiento de minerales, y para procesarlos a veces es solo necesario una remolienda y en algunos casos de pre concentración, oxidación y cianuración para beneficio de dichos metales. P (17)

Esto indica que los relaves ya sea de procesos de concentración o lixiviación no son tratados para poder recuperar el metal precioso.

En la planta de procesamiento de la minera Paltarumi se trata minerales auríferos de diferentes pequeños mineros, por lo tanto, el tratamiento de estos minerales es muy complicado porque provienen de diferentes zonas mineralizadas, siendo estos minerales oxidados, mixtos y sulfuros, motivo por la cual no se está realizando un buen control de la operación, debido a ello también, en el relave se está perdiendo 2,28 g/T de oro. Motivo por el cual lo que se pretende es realizar pruebas metalúrgicas para recuperar este oro realizando pruebas en botellas.

1.2. Delimitación de la investigación

El estudio se llevará a cabo en el laboratorio metalúrgico de la Empresa Paltarumi S.A.C. ubicado en el distrito de Paramonga, provincia de Barranca, en la Región de Lima.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo realizar la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación de oro en la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físicas y químicas del relave fresco de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021?

- ¿Cómo realiza pruebas por lixiviación en botellas con relave fresco de la operación de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021?

- ¿Cuáles son las condiciones óptimas del proceso de lixiviación en botellas donde se recupera el oro en la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas para la recuperación de oro en la planta procesadora Paltarumi S.A.C. – Paramonga 2021.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y químicas del relave fresco de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

- Realizar pruebas de lixiviación por cianuración en botellas con relave fresco de la operación de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

- Determinar las condiciones óptimas del proceso de lixiviación por cianuración en botellas de la recuperación del oro de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

1.5. Justificación de la investigación

Justificación Práctica

El trabajo de investigación se justifica debido a que nos permitirá recuperar el oro que se pierde en el relave, además nos permite desarrollar pruebas experimentales directas con el relave proveniente del proceso de cianuración y conocer la posibilidad del porcentaje de recuperación del metal precioso.

Justificación Metodológica

La ejecución de la investigación nos va permitir aplicar los conocimientos teóricos y fenomenológicos de la lixiviación por cianuración y el control de los parámetros del proceso.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se presentó en la investigación son la falta de equipos de microscopia para realizar un estudio minucioso del relave, además, la empresa no cuenta con el equipamiento adecuado para realizar un estudio a profundidad. Además, se tuvo limitación en el acceso a otras instalaciones de la planta.

CAPITULO II

. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

Chilón, H. y Mejía, M. (2018). Realizó en trabajo de investigación Tratamiento de relaves de cianuración de concentrados refractarios para la recuperación de oro y plata en la zona de Calpa – Arequipa (Tesis de titulación). Quien se planteó como objetivo realizar el tratamiento de relaves de cianuración de concentrados refractarios para la recuperación de oro – plata. Como problema tiene la necesidad de recuperar el contenido metálico del relave de cianuración de concentrados refractarios, como se sabe, en el Perú hay varias relaveras con contenidos metálicos procedentes de minerales refractarios, que no se han podido recuperar satisfactoriamente.

Del estudio llega a las siguientes conclusiones:

- Que es factible recuperar el oro y la plata por procesos de flotación - biolixiviación y cianuración los relaves de concentrados de cianuración refractaria.
- Los entrelazamientos de las especies mineralógicas referidos al oro y la plata no son posible liberar mediante procesos de conminución.

- La mejor prueba de flotación se alcanzó con dosificaciones de 70 g/Ton de xantato, obteniéndose un concentrado de 19,72 g/Ton y una recuperación de 96,31% de oro, de igual manera la plata tiene una calidad de 24,72 g/Ton de concentrado con una recuperación de 93,91%.
- Se remolió el concentrado biolixiviado a una granulometría de 90.,1 % - 200 mallas, el tiempo de cianuración fue de 36 horas en donde se logra recuperar el oro en 95,38% de oro y 97,56% de plata.

Romero, Flores y Medina (2018), realizaron el estudio de obtención de metales preciosos de residuos sólidos de relave. Como objetivo se trazaron recuperar la máxima concentración de oro de los relaves de flotación refractario con elevado contenido de metales pesados. Para ello realizaron el tratamiento por cianuración y curado del relave.

Realizada las pruebas de cianuración de 94 horas llega a las siguientes conclusiones:

- Los relaves empobrecidos de la prueba P-190 a una lixiviación de 3 horas se logra recuperar 97,38% de Au, siendo estos 19,086 ppm.
- La prueba P-192 a una granulometría de 45%, se logra una recuperación de 90,51% de oro, siendo 9,42 ppm.
- La prueba P-197 a una granulometría de 60%, se logra una recuperación 93,22% de oro, siendo 9,88 ppm.
- Los relaves de la P-190, P-192 y P-197, se caracterizan por presentar menores consumos de cianuro cuando se realiza la lixiviación por cianuración de 72 a 92 horas.

Rodríguez Romaní, (2020). Realizó el trabajo de investigación Recuperación de oro a partir de relaves por lixiviación en bateas en la unidad

minera estrella de oro CECOMSAP – Ananea, Puno (tesis de pre grado). Quien manifiesta que la empresa CECOMSAP tiene problemas por la baja recuperación de oro. El oro que se pierde en el relave es de 2,5 g/Ton lo que ocasiona pérdidas para la empresa. Como objetivo se plantea recupera el oro de los relaves por lixiviación en bateas. Realiza ocho pruebas de lixiviación en bateas, para lo cual estudia la concentración del cianuro de sodio, la granulometría y el tiempo de cianuración.

Realizada la pruebas concluye: que se debe realizar el control en 0,2 g/l la concentración del cianuro de sodio, la granulometría de malla ASTM N° 30 (0,63 mm) y un tiempo de cianuración de 10 días. Con el control de los parametros se llega a recuperar el oro en 79,8%, lo que representa un beneficio a la empresa minera.

Cutti B. (2020) realiza el estudio de recuperación de oro que se pierde en los relaves de la empresa Minera Horizonte S.A. y propone recuperar estos contenidos metálicos altos.

Los resultados son: en la malla Tyler -400 durante 24 horas de cianuración se logra recuperar 63,50% de extracción de Au, con un consumo de 0,425 kg/TM de NaCN y 0,723 kg/TM de CaO.

A una granulometría de malla tyler +100, equivalente a >147 micrones de abertura se alcanzan 72,92 % de extracción del oro, siendo la mayor, en un tiempo de 24 horas de cianuración al 0,0750 % de concentración de NaCN. El factor tiempo es la más influyente.

2.2. Bases teóricas - científicas

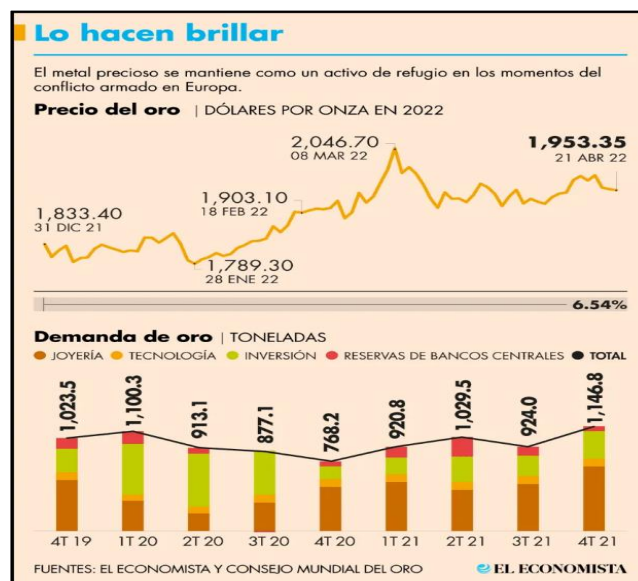
Oro

Según (López Fernandez, 2007) manifiesta: el oro se encuentra en la naturaleza y es un metal precioso por excelencia para la humanidad, y tiene una alta densidad que solo es pasada por el osmio, iridio y platino. Es un metal tan dúctil y maleable.

Últimamente el incremento del precio del oro se ha incrementado, esto debido al conflicto entre Rusia y Ucrania. Esto nos permite recuperar el oro que se deposita en la relavera.

El precio del oro alcanzó un máximo de 2,046.70 dólares por onza el 8 de marzo, ante la incertidumbre que generó la invasión de Rusia a Ucrania, y desde esa fecha ha descendido 4.56%; sin embargo, aún se mantiene 6.54% por arriba de su precio de cierre de diciembre de 2021 de 1,833.40 dólares, hasta su nivel actual de 1,953.35 dólares por onza (Mendez & Ariel, 2022).

Figura 1 Precio del dólar



Nota. Imagen tomada del economista 2022

Lixiviación

Según (Flores, 2022) “La lixiviación es un proceso químico que se utiliza para extraer materiales valiosos de una materia prima. Se utiliza ampliamente en la minería, ya que permite obtener metales preciosos como el oro y la plata de las rocas” (p.1).

La lixiviación en la minería, es un proceso químico que se utiliza para extraer el mineral valioso de un mineral. La lixiviación se da también en la naturaleza, donde las rocas que están expuestas a el agua acida, se disuelven.

Realizada la lixiviación, las rocas están con una menor cantidad de minerales de lo que inicialmente contenían. La lixiviación en la minería puede realizarse por varios métodos, lixiviación en pilas, lixiviación in situ, lixiviación por agitación.

Lixiviación por agitación

En la industria hay varios métodos de extracción del metal que está contenido en el mineral mediante disoluciones lixiviantes que permiten la purificación/concentración de estos metales.

Al respecto (Lombana Torres, Saavedra Morales, & Correa Mahecha, 2018) afirma que: “la agitación y la biolixiviación ofrecen un porcentaje de recuperación superior a los otros métodos, lo que disminuye los tiempos de operación, lo que disminuye el tiempo de operación” (p. 93-104).

Este método de lixiviación por agitación consiste en agitar el mineral que esta finamente molido y que permite la mayor área de contacto de la superficie y solución de lixiviación. El objetivo de este proceso es obtener recuperaciones más altas en tiempos más cortos (Domínica, 2001).

Figura 2 Lixiviación por cianuración en botellas



Nota. Imagen tomada de la tesis de Julca vera y Ortiz Barreto (2017)

La lixiviación por agitación se realiza en tanques verticales por agitación mecánica o neumática. Estos tanques mantienen el mineral en suspensión hasta que se realice la disolución completa.

Disolución de los metales preciosos

Las siguientes reacciones han sido dadas para la disolución de oro en soluciones diluidas de cianuro.

$4\text{Au} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 4\text{NaOH}$. Esta es conocida como la ecuación de Elsner.

$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$. Esta fue sugerida por Yanin.

$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$. El peróxido de hidrogeno formado reacciona luego de la siguiente manera:

$2\text{Au} + 4\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2\text{NaOH}$. Estas reacciones fueron sugeridas por Bodlaender. La ecuación total, sin embargo, es la misma ecuación de Elsner.

Factores de la cianuración en la disolución del oro

Según Misari (2010) menciona que hay factores que influyen en la disolución del oro. P 25-27. Que a continuación se mencionan.

Efecto del oxígeno. El uso del oxígeno esencial para la disolución del oro bajo condiciones normales de cianuración. El mayor entendimiento de las reacciones incluidas en la cianuración y un conocimiento más completo de los efectos que causan los constituyentes indeseables en los minerales, han mostrado que una aireación adecuada bajo condiciones correctas frecuentemente dará tan buenos resultados como oxidantes químicos.

Concentración de cianuro. Según Maclaurin, la disolución de oro en soluciones de cianuro logra un máximo, pasando desde una solución concentrada a soluciones diluidas.

Su trabajo muestra que este valor máximo es alcanzado utilizando una solución con concentración de 0,25% de NaCN.

Julián y Smart encontraron que la velocidad de disolución de oro aumento rápidamente con el aumento en la fuerza de la solución hasta 0,1% de KCN.

White encontró que la velocidad máxima es de 0,027% de KCN o 0,020% de NaCN, cuando la solución de cianuro es saturada de oxígeno.

Las causas de las amplias variaciones en las fuerzas de la solución encontradas por varios investigadores para dar una velocidad máxima de disolución de oro, probablemente está en la variedad de técnicas empleadas en la determinación de estos valores. Estas variaciones incluyen factores como el radio de volumen de solución a superficie de oro, velocidad de agitación y velocidad de aireación.

Efecto del tamaño de partícula. La reducción del tamaño de partícula del oro, se realiza en la molienda y clasificación de minerales de oro en circuito cerrado. Esta práctica mantiene en recirculación las partículas de oro más pesadas a la molienda hasta que ellas sean lo suficientemente pequeñas o delgadas para rebosar el clasificador en el circuito de cianuración.

Barsky et al. Encontró que la velocidad máxima de disolución de oro fue de 3,25 mg/cm²/h. Los cálculos muestran que esto es igual a una penetración de 1,68 micrones en cada lado de una partícula plana de oro a una reducción total de espesor de 3,36 micrones por hora. Así, una pieza de oro de 44 micrones de espesor (malla 325) tomaría no menos que 13 horas y una pieza de 1,19 micrones de espesor (malla 100) no mayor que 44 horas para disolver.

Efecto de la alcalinidad. Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes.

- Evita la pérdida de cianuro por hidrólisis
- Evita pérdida de cianuro por acción del dióxido de carbono del aire.
- Descompone los bicarbonatos en el agua antes de ser usados en cianuración.
- Neutraliza los compuestos ácidos tales como sales ferrosas, sales férricas y sulfatos de magnesio en el agua antes de adicionar al circuito de cianuro.
- Neutraliza los constituyentes ácidos del mineral.
- Neutraliza los compuestos ácidos que resultan a partir de la descomposición de varios minerales en soluciones de cianuro.
- Ayuda a la sedimentación de partículas de mineral fino de modo que la solución impregnada clara pueda ser separada a partir del mineral cianurado.

Barsky, Swainson y Hedley investigaron el efecto del hidróxido de calcio e hidróxido de sodio sobre la velocidad de disolución del oro en soluciones de

cianuro conteniendo 0,10% de NaCN. Sus trabajos fueron llevados a cabo teniendo un área superficial de oro de 10 cm², fue usado 100 ml de solución de cianuro y este fue aireado continuamente durante las pruebas.

Ellos encontraron que, cuando se usó hidróxido de calcio, la velocidad de disolución disminuyó rápidamente cuando el pH de la solución de cianuro estuvo cerca de 11 y la disolución fue prácticamente negligible a un pH de 12.

Efecto de la temperatura. Cuando el calor es aplicado a una solución de cianuro conteniendo oro metálico, dos factores contrarios afectan la velocidad de disolución; por un lado, el incremento en la temperatura producirá un aumento en la actividad de la solución y así se incrementaría la velocidad de disolución de oro; al mismo tiempo, la cantidad de oxígeno en la solución disminuiría porque la solubilidad de los gases disminuye con el incremento de temperatura.

Julián y Smart determinaron la solubilidad del oro en una solución con 0,25% de KCN a temperatura entre 0 °C y 100 °C. Ellos encontraron que la velocidad de disolución alcanzó un máximo a 85 °C, aunque el contenido de oxígeno de la solución a esta temperatura fue menos que la mitad de aquel a una temperatura de 25 °C. Además, ellos encontraron que a 100 °C la velocidad de disolución de oro fue solo ligeramente menor que el máximo, aunque la solución no contenía oxígeno.

Efecto de la agitación. La agitación es un parámetro importante en la lixiviación por cianuración del oro y puede realizarse de manera continua, intermitente o en contra corriente.

La agitación se consigue mediante la agitación mecánica o inyección de aire, y permite mantener la pulpa en suspensión hasta lograr la disolución completa del oro, el tiempo de contacto de los sólidos es del orden de horas. (Vesga, 2010).

Efecto del tiempo cianuración. El tiempo es muy variable y depende de factores como la composición mineralógica, tamaño de las partículas de oro y plata, grado de liberación, concentración de cianuro en la solución y la temperatura del ambiente (Armijos, 2011).

El tiempo de cianuración depende de la composición mineralógica, tamaño de partícula, grado de liberación, concentración del cianuro en la solución y de la temperatura ambiental (Armijos, 2011)

En la cianuración del oro, en la práctica se realiza con tiempos de residencia que varía de 10 a 72 horas. Además, se menciona que mientras más largo sea el tiempo de cianuración en la recuperación de la mena de oro, se necesita mayor capacidad de los tanques de lixiviación (Ramírez y Sánchez, 2016).

Pruebas de cianuración en botellas

Estas pruebas consisten en la lixiviación en botellas, donde las muestras se adicionan en botellas. Las botellas de 2.5 a 4 litros de capacidad son usadas. Es conveniente un número de botellas y determinar las taras. Cuando una pulpa húmeda tal como las colas de pruebas de concentración, es el material a ser probado por cianuración, el peso de la pulpa es obtenido pesando la botella, sus contenidos luego restando la tara. Cuando la prueba es finalizada, los sólidos son secados y pesados y la cantidad de solución usada puede ser determinada.

Una cantidad conocida de mineral es puesta en la botella como también una cantidad pesada de cal. Luego, se adiciona una cantidad medida de una solución de cianuro de fuerza conocida; la botella con la pulpa luego es agitada.

El mecanismo de agitación consiste en una serie de rodillos horizontales de 4,5” de diámetro y 30” de longitud. Ellos son espaciados a 7” y rotan de 50 a 75

rpm. La botella conteniendo la pulpa es colocada entre los rodillos, se consigue que la botella gire y así la pulpa sea agitada.

Recuperación de oro

La recuperación del oro puede realizarse por procesos hidrometalúrgicos. Al respecto (Fimbres, 2018) afirma: el oro puede ser recuperado mediante disoluciones alcalinas cianuradas y en presencia del oxígeno. Además, menciona que el mineral debe ser fracturado a un tamaño de granulometría adecuado en la que permita a la solución lixivante atrapar el metal de oro y posteriormente llevarlo a la solución.

Una adecuada granulometría se consigue, en los molinos de bolas, en una operación húmeda. El cianuro de sodio y la cal se agrega al molino para que, al fracturarse el mineral, las partículas de oro queden expuestas a la solución y empiecen a actuar y disolver el oro.

La pulpa que sale del molino mayormente es tratada por decantación en contra corriente (DCC), que consiste en una serie de lavados de la pulpa en espesadores ubicados en serie, la pulpa se introduce en el primer espesador y el agua es alimentada en el último espesador. A medida que la pulpa pasa de un espesador a otro espesador la pulpa baja en contenido de oro soluble en la descarga. Y en lo opuesto el agua añadida en el último espesador va hacia adelante, incrementado la concentración de cal, cianuro y oro. La DCC utiliza como complemento la filtración.

El queque que sale de los filtros tiene aproximadamente un 10 % de humedad, que tiene una mínima cantidad de oro disuelto, que es enviado junto con los sólidos a la presa de jales.

La solución rica posteriormente es clarificada, desoxigenada, y el oro se precipita con polvo de zinc.

Este precipitado Zn-Au-Ag es separado de la solución en los filtros, para después ser secado y enviado a la fundición, obteniéndose una barra doré con contenidos de oro y plata.

Relave

Partículas de mineral molido, que se eliminan de las operaciones mineras. La minería de sulfuros metálicos extrae grandes cantidades de material (roca) del depósito de mineral que se explota. Donde una pequeña parte del mineral valioso tiene un interés económico que se recupera (algo menos de 1%). Molido el mineral (roca) y concentrado en la flotación, se tiene un material (concentrado) con una determinada ley que se puede comercializar como concentrado o refinar hasta un metal puro. El resto del material es el relave que se tiene que confinar en la relavera (Sernageomin, s.f.).

La composición de los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos (físicos, químicos y metalúrgicos) a los cuales ha sido sometido. Una piscina de relaves de beneficio de oro tendrá un contenido económico, que podrá ser recuperado con los procesos metalúrgicos adecuados y la tecnología apropiada para este fin. El contenido aurífero, en el relave minero, será el más bajo de acuerdo con la tecnificación utilizada durante los procesos metalúrgicos de beneficio, transporte, almacenamiento y operación del depósito en particular. (Tchernitchin, 2006, Citado por Espín, Jarrin y Escobar, 2017. P.2).

2.3. Definición de términos básicos

Corrida Experimental. Son un conjunto de pruebas experimentales que se da en un laboratorio, estas pruebas se realizan en orden aleatorio del diseño factorial.

Cianuración de oro. proceso hidrometalúrgico basado en la utilización de soluciones de cianuros como medio químico para lixiviar el oro contenido en minerales

Lixiviación en botella. Son pruebas estándar que se realiza la lixiviación botellas como test indicativo, que nos permite obtener información del consumo de reactivo lixivante y recuperación del metal valioso.

Relave. Material molido, producto de las operaciones de concentración de minerales que está contenida mayormente por la ganga. Esta ganga generalmente contiene elementos metálicos en menor porcentajes.

Recuperación. Es el porcentaje de material valioso que se obtienen de un proceso de concentración.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga – 2021.

2.4.2. Hipótesis Específicas

Determinando las características físicas y químicas del relave fresco se determina el comportamiento de la mena en la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

Realizando las pruebas de lixiviación por cianuración en botellas con relave fresco se conocerá el porcentaje de recuperación del oro de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

Determinando las condiciones óptimas del proceso de lixiviación por cianuración en botellas se podrá controlar de la recuperación del oro de la planta procesadora Paltarumi SAC – Paramonga 2021.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente

Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas

Variable dependiente

Recuperación de oro

Variable interviniente

Ley de cabeza

Grado de liberación

Densidad de pulpa

Tiempo de agitación

Porcentaje de solidos de pulpa

PH.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1 Variables e indicadores de operación

Ítem	Variabes	Dimensiones	Indicadores
		Determinación de las características físicas y químicas	Ge, granulometría
V.I	Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas	Pruebas de cianuración en botellas	Tiempo hora, contenido de Au
		Condiciones óptimas del proceso de cianuración	NaCN, NaOH
V.D	Recuperación de oro	% Recuperación de oro	gr/Ton

Nota. fuente propia de variables e indicadores de operación.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y la naturaleza del problema planteado, el **tipo de investigación es experimental puro**, debido a que se realiza la manipulación de variables. En cuanto al **nivel de investigación** explicativa, debido a que se tratara de dar explicaciones a los resultados que se obtiene en las pruebas metalúrgicas.

3.2. Nivel de investigación

El método que se aplicará en la investigación será el método inductivo y método deductivo.

En primer lugar, la obtención de muestras de relave se realizará con el conocimiento adquirido de la experiencia en la planta de procesamiento hasta llevarlo al laboratorio metalúrgico.

En segundo lugar, de los resultados que se obtenga de las pruebas se realizara un análisis de los resultados.

3.3. Método de Investigación

El método científico en la presente investigación es de método Inductivo-Deductivo, el cual se utilizó la observación del estudio experimental para poder formular las hipótesis con la recolección de datos mediante pruebas metalúrgicas donde se buscará conjugar y analizar las variables independientes y obtener resultados en las variables dependientes.

Enfoque de la investigación La investigación es de carácter práctico porque se desarrolló el método mixto donde se encontró una perspectiva cuantitativa y cualitativa en un mismo estudio, con el propósito de darle el análisis e interpretación a la investigación.

A) Método cualitativo

La investigación cualitativa analiza e interpreta los datos recopilando información donde la variable de estudio es el relave final de la planta concentradora Paltarumi S.A.C y el objetivo la recuperación del Au a partir de esta pulpa de relave.

B) Método cuantitativo.

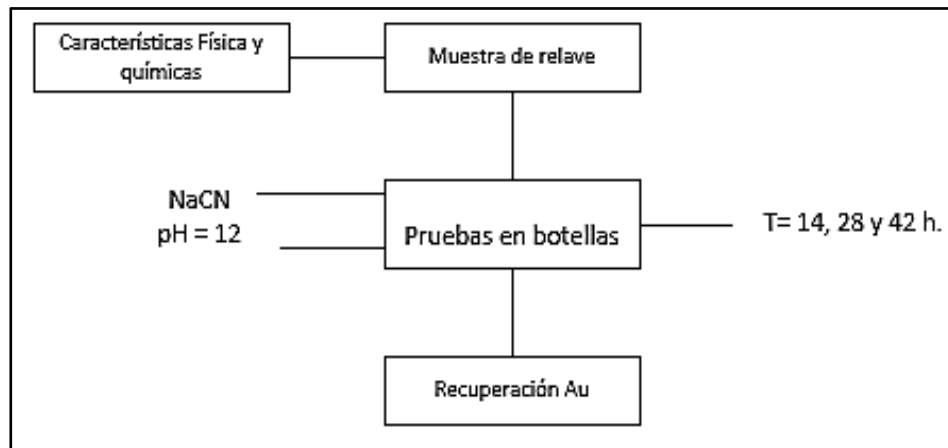
La investigación cuantitativa interpreta los datos presentados de acuerdo a la variable de estudio, con el fin de conocer los resultados de las pruebas de clasificación con o sin reactivos de la planta concentradora Paltarumi S.A.C.

3.4. Diseño de investigación

Para la obtención de datos para el estudio, en primer lugar, se tomará muestras de relave en la descarga final del tanque de lixiviación, seguidamente se trasladará en balde conteniendo relave al laboratorio metalúrgico, en donde ya se tiene preparado los equipos para las pruebas en botella.

El relave se adiciona a la botella de agitación en donde se controla el tiempo de cianuración. Se realizó varias pruebas para ver la recuperación del metal precioso. A continuación, se presentó un esquema de las pruebas que se van a realizar en el laboratorio de la empresa.

Figura 3 Diseño para la obtención de datos



Nota. Gráfico de secuencias del diseño de pruebas que se realizaron.

3.5. Población y muestra

Población

La población estuvo constituida por el tonelaje de 350 tn/día y el relave fresco que sale del proceso de metalúrgico de la planta de lixiviación.

Muestra

La muestra estuvo conformada por el relave fresco proveniente de la operación de lixiviación por agitación de la Planta Paltarumi S.A.C ubicada en Barranca – Paramonga con el tipo de muestreo que se abarco **Aleatorio o probabilístico**.

3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos

Para le ejecución del proyecto de tesis se realizó de las siguientes técnicas que a continuación detallamos:

La observación. Esta técnica lo utilizamos para realizar el muestreo de relave, también, se aplica en el proceso de cianuración en botellas.

Entrevista. Esta técnica nos permite realizar entrevista a los ingenieros supervisores para obtener información respecto al estudio de lixiviación de relaves por cianuración.

Cuaderno de apuntes. Esta técnica se utiliza para realizar anotaciones de parámetros y dosificaciones de reactivos, control del tiempo de lixiviación por cianuración.

Análisis de reportes. Mediante esta técnica se va obtener los reportes de las pruebas y la eficacia del control de la dosificación de reactivos en las pruebas metalúrgicas.

Instrumento de recolección de datos

Como instrumentos de recolección de datos hacemos uso de:

Reporte de pruebas metalúrgicas. En este instrumento se realiza los reportes de las pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio, que va contener las condiciones de las pruebas, análisis de elementos etc.

Graficas de recuperación. Este instrumento lo vamos utilizar para el análisis de recuperaciones de los elementos metálicos.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La obtención de datos será obtenida de los reportes metalúrgicos del laboratorio.

Para el procesamiento y análisis de datos de los datos se utilizará el Microsoft Excel, que nos va permitir elaborar las tablas y gráficos. Y el análisis de datos se aplicará a estas tablas como a los gráficos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos de la sedimentación se hará uso del Microsoft Excel, como también en el análisis de los gráficos

3.9. Tratamiento estadístico

Para la contrastación de la hipótesis se utiliza el análisis de varianza el cual nos va permitir aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La elaboración del estudio se realizó respetando la autoría de las citas bibliográfica, de igual manera en la elaboración del marco teórico. Así mismo se elaboró el estudio con todo el empeño aplicando la ética profesional del investigador.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La obtención de muestra se realizó en dos turnos y consistió en recolectar muestra en el cajón de relave descarga de los tanques de agitación, utilizándose un muestreador tipo cuchara de 300 ml. Esta muestra representativa se trasladó al laboratorio en balde de 20 L teniendo los respectivos cuidados de no contaminar la muestra.

Se determino las características físicas del relave, que se presenta a continuación.

Gravedad especifica

Una vez llevado la muestra al laboratorio, se comienza a homogenizar la pulpa de relave para que no se asiente las partículas en el fondo, seguidamente se toma 500 ml de muestra para ponerlo en una bandeja pequeña y seguidamente se llevará al secado.

Esta muestra nos sirve para determinar la gravedad especifica del mineral.

$$GE = \frac{P1}{(P3 - P2) - (P4 - P5)}$$

Figura 4 Medida del peso específico del relave



Nota. fuente propia.

Donde:

WP1 = Peso de mineral

WP2 = Peso de la fiola

WP3 = Peso de la fiola + agua

WP4 = Peso de la fiola + mineral + agua

WP5 = Fiola + mineral

$$Ge = 2,9 \text{ g/L}$$

A continuación, se presenta el análisis granulométrico del relave producto de las operaciones de lixiviación por agitación.

Tabla 2 Análisis granulométrico de malla valorada de relave

ANÁLISIS VALORADA RELAVE FRESCO Au					
Malla	Peso	% Peso	Ley Au	Contenido	Contenido
	Retenido		g/ton	Au gr por	Au %
	(gr.)			malla	
#45 y	1,05	0,05	27,451	0,000029	0,54
#60					
#100	15,67	0,71	1,534	0,000024	0,45
#140	90,67	4,09	1,10	0,000100	1,87
#200	143,42	6,46	2,65	0,000380	7,12
#270	245,21	11,05	2,75	0,000674	12,63
#325	24,7	1,11	2,25	0,000056	1,04
#400	16,82	0,76	2,327	0,000039	0,73
#-400	1681,88	75,78	2,40	0,004037	75,62
TOTAL	2219,42	100,00	2,405	0,005338	100,00
Ley de Cabeza calculada de Au			2,405		
Ley de cabeza Au			2,150		

Nota. Fuente propia de los datos obtenidos de laboratorio.

De la tabla 3 del análisis de malla valorada, podemos afirmar que el 75,78% del contenido de Au, se encuentra por debajo de la malla -400, ósea en los finos. Y la ley más alta de 27,45 g/Ton de Au se encuentra entre las mallas 45 a 60, esto posiblemente por la presencia de traza de carbón activado y en mayor proporción en la malla 45 y poco en la malla 60.

Densidad de pulpa

Durante el muestreo se tomó medida de la densidad de pulpa y porcentaje de sólidos, para lo cual se utilizó el densímetro Marcy.

Figura 5 Densímetro Marcy



Nota. Fotografía tomada en planta de la balanza marcy.

A continuación, le presentamos en la tabla 3 las medidas de densidades referenciales muestreados al azar.

Tabla 3 Densidades de pulpa de relave referenciales

Muestras	Densidad	% Sólidos
	g/L	
1	1320	34%
2	1310	36%
3	1300	35%
Promedio	1310	36 %

Nota. Fuente propia de datos de densidades obtenidos de planta.

Volumen de pulpa

Seguidamente se presenta la tabla 4 del cálculo del volumen de pulpa para las pruebas experimentales.

Tabla 4 Condiciones de las pruebas experimentales

Condiciones de pulpa	
Densidad de pulpa	1 310 g/L
Ge	2,9
% sólidos	36
Peso del sólido	465 g
Volumen de agua	845 ml
Litro de pulpa para 1 K	2,15
Dilución para la prueba	1,82
Agitación (rpm)	45-50

Nota. Fuente de datos de las condiciones obtenidos de planta

Control de parámetros

Se controló la alcalinidad de la solución en pH 12 durante las pruebas en botella, si baja este pH se adicionaba hidróxido de sodio.

El NaCN se controló midiendo la fuerza de cianuro sacando una pequeña muestra de solución y titular con nitrato de plata, rodamina mezclada con acetona ayudara a ver bien el color al momento de titular.

Figura 6 Control de la alcalinidad de la solución



Nota. Fotografía tomada en laboratorio de titulación.

Características químicas del mineral y relave

Características químicas de la ley de cabeza que ingresa a la planta de procesamiento y ley de relave que sale del proceso de lixiviación por agitación.

Tabla 5 Ensaye químico del mineral y relave

		Ley de cabeza		Recuperación %	
		prom.		Au	Ag
		Au	Ag	Au	Ag
		g/Ton	g/Ton		
Mineral:	Mixto, sulfuro, óxidos	25,94	46,61	91,11	60,58
Relave		2,18	18,12		

Nota. fuente propia obtenida de datos de la planta.

Como se observa en la tabla 5, la ley de cabeza de oro que ingresa al tratamiento de cianuración en planta es de 25,94 g/Ton de Au y la plata se encuentra en 46,61 g/Ton, siendo sus recuperaciones 91,11 % de Au y 60,58 g/Ton de Ag. Al relave se envía con una ley de 2,18 g/Ton de Au y 18,13 g/Ton de Ag

respectivamente. Este relave es lo que se utiliza para las pruebas de lixiviación por cianuración.

4.2. Presentación análisis e interpretación de resultados

Las pruebas que se realizaron a nivel laboratorio fueron por un periodo de un mes las pruebas se hacían a diario controlando la cinética de cianuración del relave fresco en las 14, 28 y 42 horas. El pH se controló cada 6 horas y la fuerza del cianuro.

Resultados de las pruebas de lixiviación por cianuración en botellas

Se realizaron 30 pruebas con los relaves fresco proveniente del muestreo de relave.

Las pruebas se trabajaron con una dilución de 1,84 L a 2.34 L, con un tiempo de agitación de 42 horas, el pH se controló en 12 condiciones básicas de alcalinidad y la densidad de pulpa de relave en 1290 g/L. A continuación, se presentan las condiciones de operación y el balance metalúrgico de la recuperación del oro.

Tabla 6 Condiciones de operación

Código	RELAVE-1	
Tipo	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,84	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN libre	0.2	%
Ley de sólido	1,70	g/L
Ley de solución	0,214	mg/L
Cabeza calculada	1.93	
ρ pulpa	1,30	K/L
Malla -325	77,85	%
Consumo de NaCN	0,18	K/Ton
Consumo de NaOH	0,00	K/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

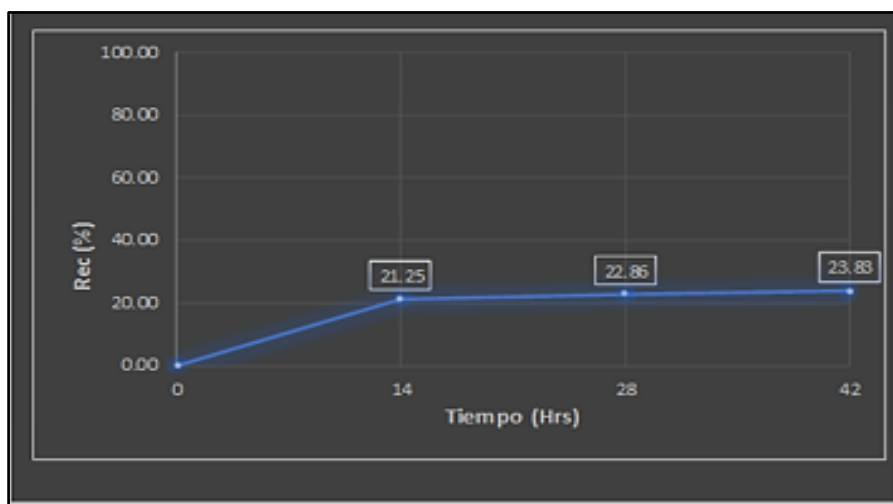
Tabla 7 Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acumulado	Relavado	Solución	Contenido de finos	Recuperación	Cabeza	Relavado	Recuperación
		g/T	(mg/L)	solución	(%)			(%)
0	0	1,70	0,12	0,23	0,00	23,85	19,45	18,45
6	14	1,50	0,220	0,40	21,25		0,00	
6	28	1,49	0,240	0,44	22,86		0,00	
6	42	1,47	0,250	0,46	23,83		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 8 se observa una recuperación de oro de 23,83 % equivalente a 1,47 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, que tiene una ley de cabeza calculada de 1,93 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 7 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 8 Condiciones de Operación

CODIGO		RELAVE - 2	
TIPO	Oxido		
Peso	1000	g	
Dilución	1,91	Litros	
Tiempo de Agitación	42 horas		
pH prueba	12		
CN Libre	0,2	%	
Ley de Sólido	1,50	g/T	
Ley de Solución	0,340	mg/l	
Cabeza Calculada	2,15		
ρ pulpa	1,29	Kg/L	
Malla >325	78,58	%	
Consumo de NaCN	0,00	k/Ton	
Consumo de NaOH	0,00	k/Ton	

Nota. fuente propia de condiciones de prueba en el laboratorio.

Tabla 9 Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación por cianuración

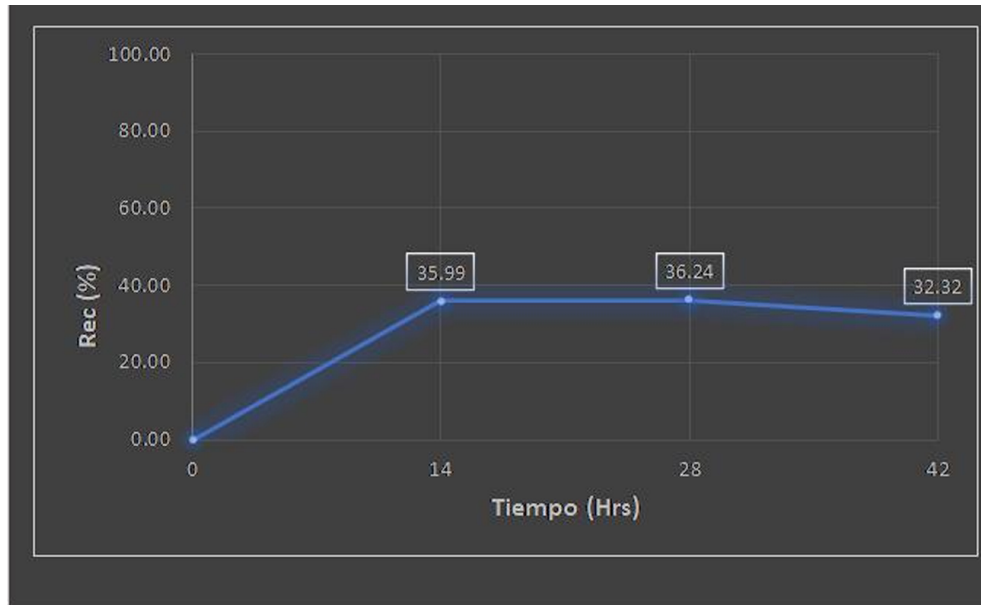
Horas		Au				Ley de Ag		
Inici	Acu	Relav	Solució	Contenid	Recuperació	Cabez	Relav	Recuperació
o	m	e	n	o de finos	n	a	e	n
		g/T	(mg/L)	solución	(%)			(%)
0	0	1,50	0,34	0,65	0,00	77,5	45,00	41,94
6	14	1,25	0,368	0,70	35,99		0,00	
6	28	1,25	0,372	0,71	36,24		0,00	
6	42	1,40	0,350	0,67	32,32		0,00	

Nota. fuente propia de balance obtenido en el laboratorio.

En la tabla 10 observamos una recuperación de oro de 36,36% para un tiempo de 28 horas y al seguir lixiviando la recuperación decae en 32,32 %, para un tiempo

de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza calculada de 2,15 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 8 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 10 Condiciones de Operación

CODIGO	RELAVE-3	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,91	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,85	g/Ton
Ley de Solución	0,483	mg/l
Cabeza Calculada	2,77	
p pulpa	1,29	Kg/L
Malla -325	79,31	%
Consumo de NaCN	0,12	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

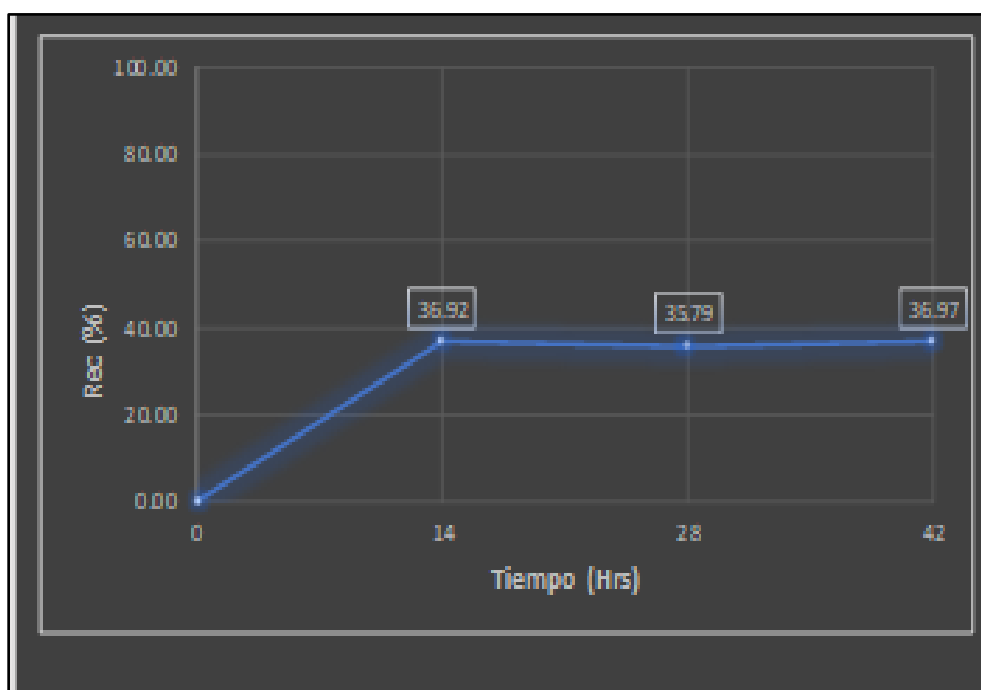
Tabla 11 Recuperación del oro de la prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	1.85	0.48	0.92	0.00	42.1	26.60	36.82
6	14	1.70	0.521	1.00	36.92		0.00	
6	28	1.72	0.502	0.96	35.79		0.00	
6	42	1.70	0.522	1.00	36.97		0.00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 12 se observa una recuperación de oro de 36,97 % equivalente a 1,70 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza calculada de 2,77 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 9 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 12 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE-4	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,91	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,90	g/Ton
Ley de Solución	0,070	mg/l
Cabeza Calculada	2,03	
p pulpa	1,30	Kg/L
Malla >325	76,66	%
Consumo de NaCN	0,35	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 13 Recuperación de oro de las pruebas de lixiviación

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
0	0	1,90	0,07	0,13	0,00	39,90	36,15	9,40
6	14	1,85	0,190	0,36	16,40		0,00	
6	28	1,85	0,197	0,38	16,90		0,00	
6	42	1,80	0,191	0,36	16,85		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 13 se observa una recuperación de oro de 16,90 % equivalente a 1,85 g/Ton, para un tiempo de agitación de 28 horas, para una ley de cabeza calculada de 2,03 g/Ton, decayendo en 42 h. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 10 Cinética de recuperación de oro

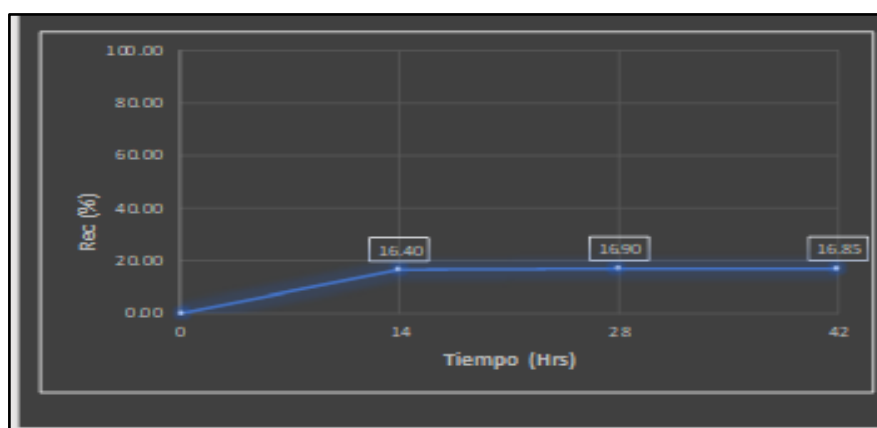


Tabla 14 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE - 6	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,91	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,80	g/Ton
Ley de Solución	0,141	mg/l
Cabeza Calculada	2,07	
p pulpa	1,29	Kg/L
Malla >325	79,36	%
Consumo de NaCN	0,57	kg/Ton
Consumo de NaOH	1,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 15 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	1,80	0,14	0,27	0,00	56,20	52,70	4,53
6	14	1,50	0,328	0,63	29,45		0,00	
6	28	1,50	0,330	0,63	29,59		0,00	
6	42	1,49	0,340	0,65	30,35		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 15 se observa una recuperación de oro de 30,35 % equivalente a 1,49 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza calculada de 2,07 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 11 Cinética de recuperación de oro

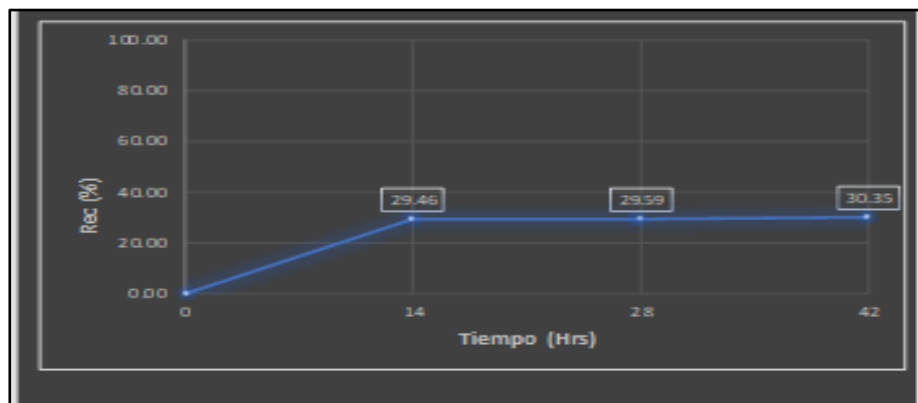


Tabla 16 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE-9	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,84	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,95	g/T
Ley de Solución	0,165	mg/l
Cabeza Calculada	2.25	
p pulpa	1,30	Kg/L
Malla -325	82,60	%
Consumo de NaCN	0,18	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 17 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

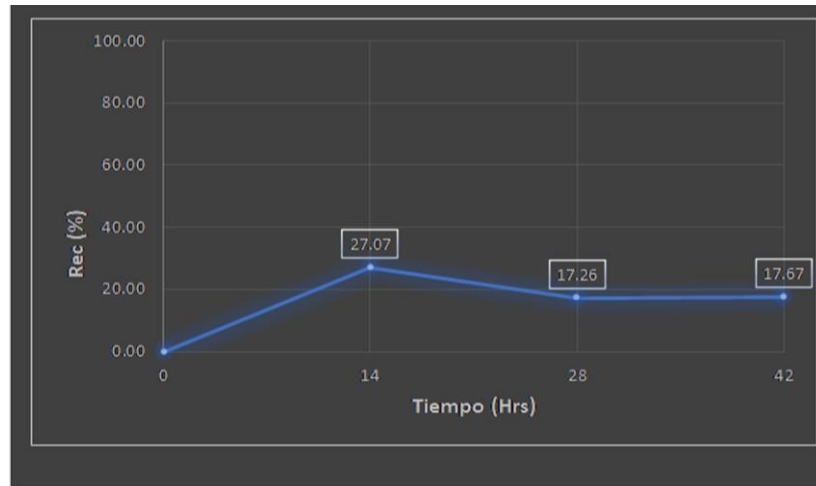
Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	1,95	0,17	0,30	0,00	85,0	15,0	82,35
6	14	1,72	0,347	0,64	27,07		0,00	
6	28	1,80	0,204	0,38	17,26		0,00	
6	42	1,80	0,210	0,39	17,67		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 17 se observa una recuperación de oro de 17,67 % equivalente a 1,80 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza

calculada de 2,25 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 12 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 18 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE -11	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,99	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,25	g/Ton
Ley de Solución	0,205	mg/l
Cabeza Calculada	1,66	
p pulpa	1,28	Kg/L
Malla -325	80,72	%
Consumo de NaCN	0,80	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/T

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

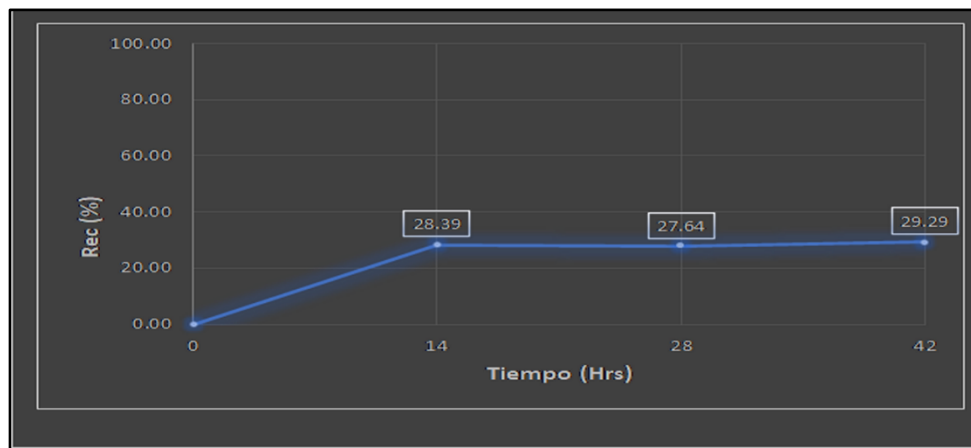
Tabla 19 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos solución	(%)			(%)
0	0	1,25	0,21	0,41	0,00	157,5	122,35	22,32
6	14	1,23	0,245	0,49	28,39		0,00	
6	28	1,24	0,238	0,47	27,64		0,00	
6	42	1,22	0,254	0,51	29,29		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 18 se observa una recuperación de oro de 29,29 % equivalente a 1,22 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza calculada de 1,66 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 13 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 20 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE -12	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1,88	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,95	g/Ton
Ley de Solución	0,227	mg/l
Cabeza Calculada	2,38	
p pulpa	1,30	Kg/L
Malla -325	79,66	%
Consumo de NaCN	0,10	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 21 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

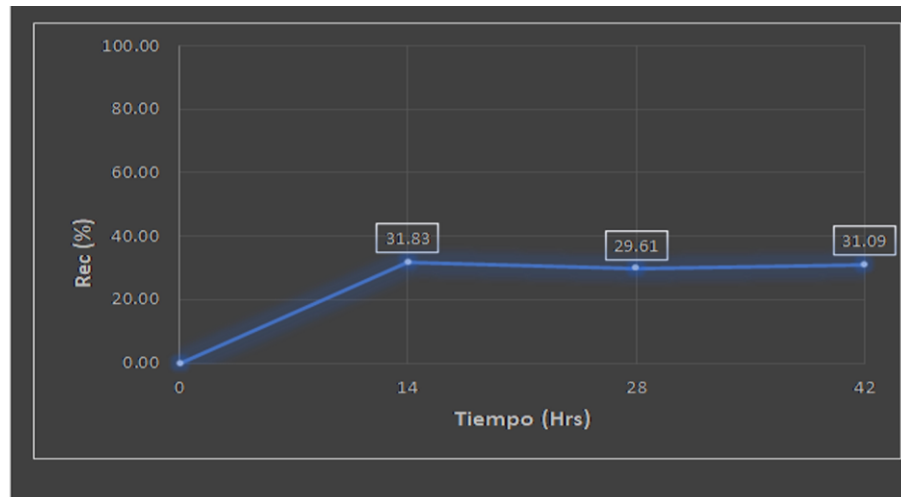
Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos solución	(%)			(%)
0	0	1,95	0,23	0,43	0,00	72,50	17,65	75,66
6	14	1,55	0,385	0,72	31,83		0,00	
6	28	1,60	0,358	0,67	29,61		0,00	
6	42	1,55	0,372	0,70	31,09		0,00	

Nota. fuente propia de datos obtenidas en laboratorio.

En la tabla 21 se observa una recuperación de oro de 31,09 % equivalente a 1,55 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza

calculada de 2,38 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 14 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 22 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE -14	
TIPO	Mixto	
Peso	1000	g
Dilución	1,91	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	2,18	g/T
Ley de Solución	0,011	mg/l
Cabeza Calculada	2.20	
p pulpa	1,32	Kg/L
Malla -325	81,50	%
Consumo de NaCN	0,00	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 23 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos solución	(%)			(%)
0	0	2,18	0,01	0,02	0,00	72,53	46,85	35,41
6	14	1,90	0,254	0,49	20,34		0,00	
6	28	1,75	0,341	0,65	27,12		0,00	
6	42	1,87	0,249	0,48	20,28		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 23 se observa una recuperación de oro de 27,12 % equivalente a 1,75 g/Ton, para un tiempo de agitación de 28 horas, y al seguir lixiviando a 42 horas la recuperación decae a 20,28%, para una ley de cabeza calculada de 1.87 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 15 Cinética de recuperación de oro

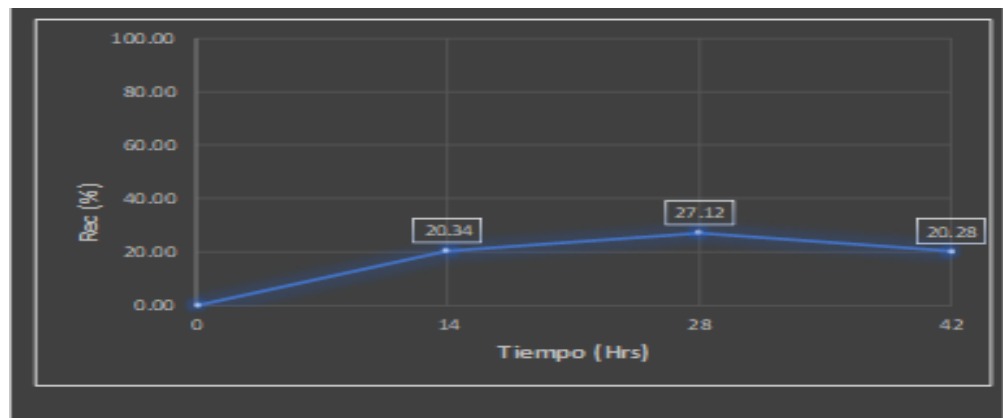


Tabla 24 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE -17	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	2,38	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	1,98	g/Ton
Ley de Solución	0,043	mg/l
Cabeza Calculada	2,08	
p pulpa	1,26	Kg/L
Malla -325	83,48	%
Consumo de NaCN	0,00	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

Tabla 25 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

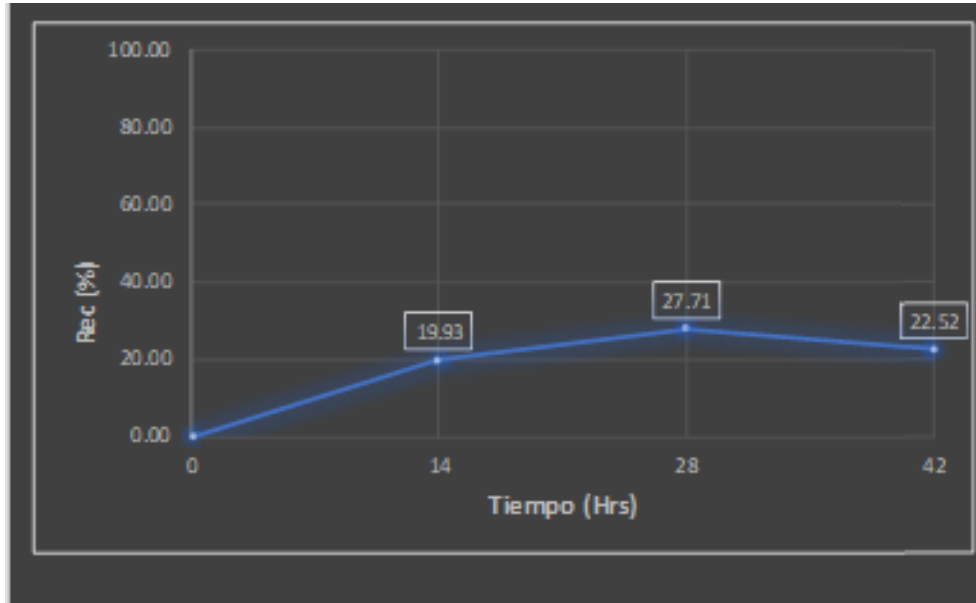
Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido de finos	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	solución	(%)			(%)
0	0	1,18	0,04	0,10	0,00	28,35	24,23	14,53
6	14	1,96	0,205	0,49	19,93		0,00	
6	28	1,72	0,277	0,66	27,71		0,00	
6	42	1,81	0,221	0,53	22,52		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 25 se observa una recuperación de oro de 22,52 % equivalente a 1,81 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, donde la recuperación cayo

de 27,71 a 22,52%, para una ley de cabeza calculada de 2,08 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 16 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 26 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE - 20	
TIPO	Mixto	
Peso	1000	g
Dilución	2,38	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	2,30	g/Ton
Ley de Solución	0,208	mg/l
Cabeza Calculada	2.80	
ρ pulpa	1,26	Kg/L
Malla -325	81,85	%
Consumo de NaCN	0,32	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

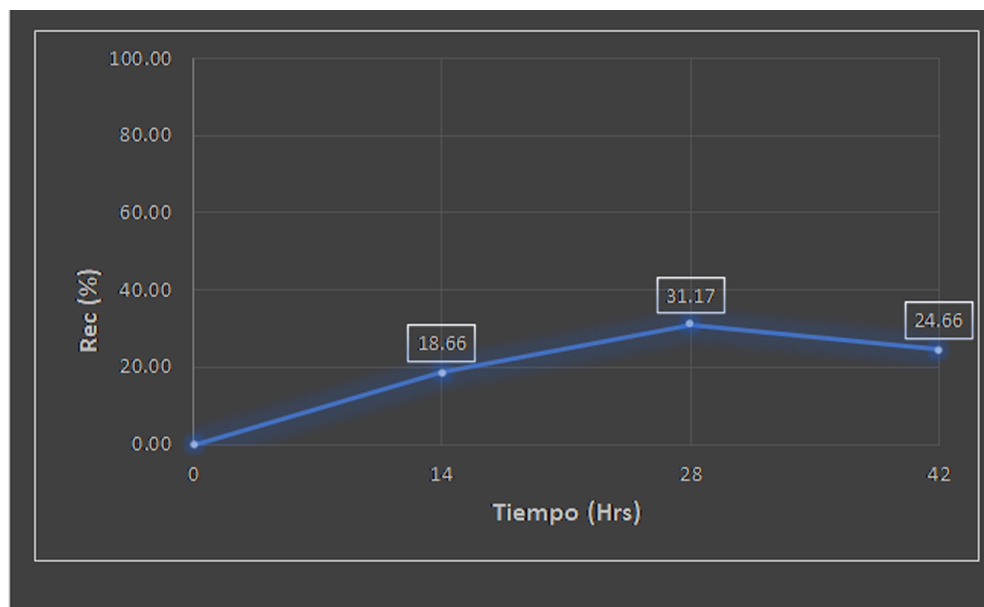
Tabla 27 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	2,30	0,21	0,50	0,00	32,05	26,12	18,50
6	14	2,20	0,212	0,50	18,66		0,00	
6	28	1,85	0,352	0,84	31,17		0,00	
6	42	2,00	0,275	0,65	24,66		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 27 se observa una recuperación de oro de 24,66 % equivalente a 2,00 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, que cayó de 31,17% a 24,66%, para una ley de cabeza calculada de 2,80 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 17 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 28 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE - 24	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	1.84	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0.2	%
Ley de Sólido	1.53	g/Ton
Ley de Solución	0.258	mg/l
Cabeza Calculada	2.00	
ρ pulpa	1.30	Kg/L
Malla -325	80.25	%
Consumo de NaCN	0.00	kg/Ton
Consumo de NaOH	0.00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

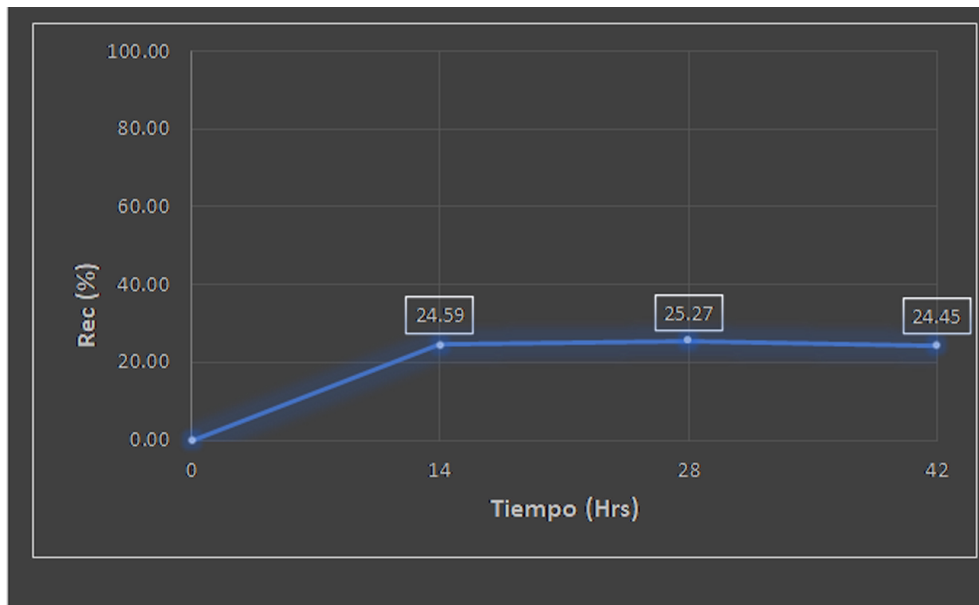
Tabla 29 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido de	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	1,53	0,26	0,47	0,00	34,30	32,20	6,12
6	14	1,49	0,264	0,49	24,59		0,00	
6	28	1,48	0,272	0,50	25,27		0,00	
6	42	1,49	0,262	0,48	24,45		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 30 se observa una recuperación de oro de 24,45 % equivalente a 1,49 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, que cayó de 25,27% a 24,45%, para una ley de cabeza calculada de 2,00 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 18 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

Tabla 30 Condiciones de operación

CODIGO	RELAVE - 29	
TIPO	Oxido	
Peso	1000	g
Dilución	,.88	Litros
Tiempo de Agitación	42 horas	
pH prueba	12	
CN Libre	0,2	%
Ley de Sólido	2,62	g/Ton
Ley de Solución	0,201	mg/l
Cabeza Calculada	3,00	
ρ pulpa	1,29	Kg/L
Malla -325	79,87	%
Consumo de NaCN	0,41	kg/Ton
Consumo de NaOH	0,00	kg/Ton

Nota. fuente propia de datos de las condiciones obtenidas en laboratorio.

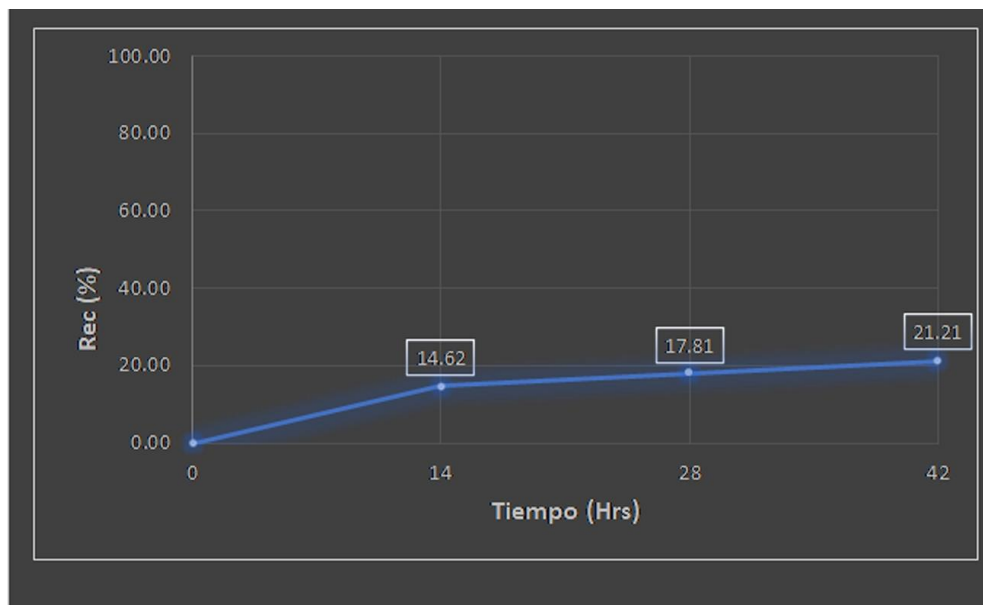
Tabla 31 Recuperación de oro de las Prueba de lixiviación por cianuración

Horas		Au				Ley de Ag		
Inicio	Acum	Relave	Solución	Contenido	Recuperación	Cabeza	Relave	Recuperación
		g/Ton	(mg/L)	de finos	(%)			(%)
				solución				
0	0	2,62	0,20	0,38	0,00	48,65	41,25	15,21
6	14	2,58	0,235	0,44	14,62		0,00	
6	28	2,42	0,279	0,52	17,81		0,00	
6	42	2,20	0,315	0,59	21,21		0,00	

Nota. Fuente propia balance obtenidos en el laboratorio.

En la tabla 31 se observa una recuperación de oro de 21,21 % equivalente a 2,20 g/Ton, para un tiempo de agitación de 42 horas, para una ley de cabeza calculada de 3,00 g/Ton. Lo mencionado lo confirmamos en la gráfica de cinética de recuperación.

Figura 19 Cinética de recuperación de oro



Nota. fuente propia foto de cinética de recuperación.

4.2.1. Condiciones óptimas del proceso de lixiviación por cianuración

Para determinar las condiciones de operación lo realizamos haciendo uso del diseño factorial para dos factores. A continuación, se presenta el diseño.

Tabla 32 Diseño factorial

Factores	Nivel bajo	medio	Nivel Alto
X1: %Sólidos	32	34	36
X2: NaCN k/Ton	0	0.25	0.50

Nota. fuente propia de datos de prueba.

Aplicando el diseño factorial tenemos

$$N=2^k$$

$$N=2^2= 4 \text{ Pruebas}$$

Realizada las 4 pruebas experimentales de cianuración de relave tenemos los siguientes resultados. También se adiciono 2 pruebas con el punto central de diseños.

Figura 20 Corrida de la prueba

BLOQUE	Pocentaje de sólidos	NaCN	Recuperación Oro
	%S	k/Tn	%
1	34.0	0.25	26.01
1	32.0	0.0	20.45
1	36.0	0.0	24.24
1	32.0	0.5	26.45
1	36.0	0.5	27.75
1	34.0	0.25	25.98

Nota. fuente propia de datos de las corridas de las pruebas.

Seguidamente tenemos los efectos de los factores

Tabla 33 Efectos estimados para Recuperación de oro (%)

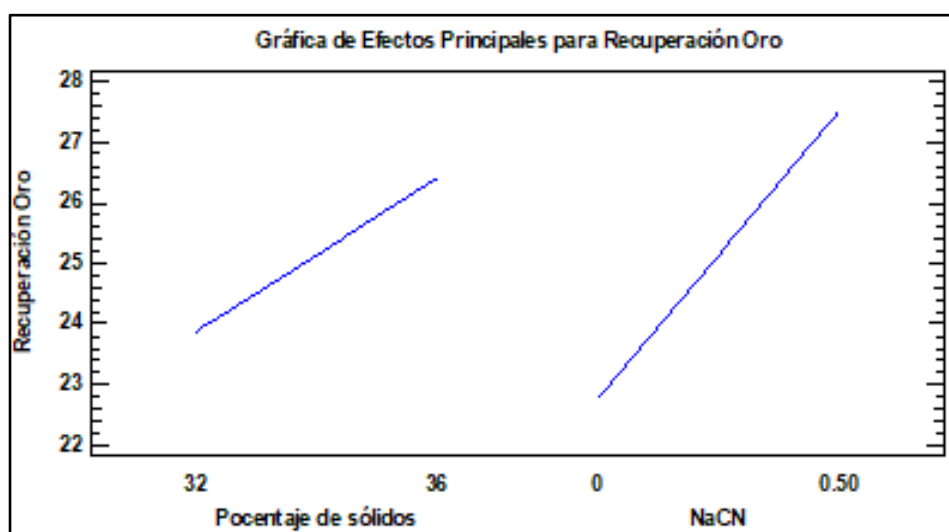
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	25,1433	0,425877	
A: % Solidos	2,535	1,04318	1,0
B: NaCN	4,745	1,04318	1,0
AB	-1,255	1,04318	1,0

Nota. fuente propia errores estándar en el error total con 2 g.l.

Interpretación de los efectos

Se observa que los efectos son positivos, siendo el factor NaCN más significativo por el valor que tiene 4,74, seguido del porcentaje de sólidos, por lo tanto, se encuentran en su nivel mínimo y tienen que ser maximizado para encontrar su rango de trabajo.

Figura 21 Gráfico de efectos



Gráficamente observamos que el efecto medio del vector respuesta nos indica el orden de mayor significancia es el factor agitación, por la pendiente más pronunciada seguido por el porcentaje de sólidos.

La figura 21 del analisis de pareto nos menciona, que el cianuro de sodio es el factor mas influyente para un $t=4,15$

Figura 22 Diagrama de Pareto

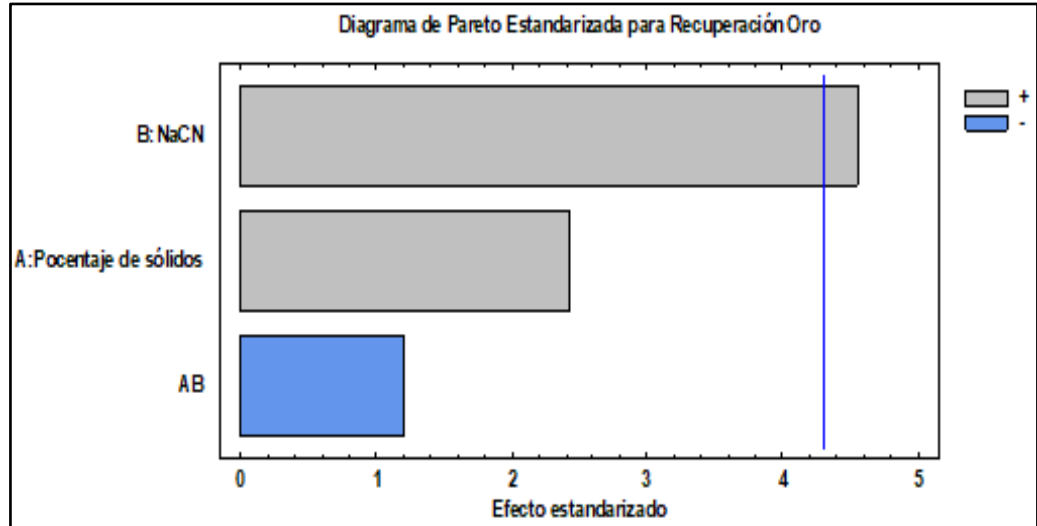


Tabla 34 Análisis de Varianza para Recuperación de oro

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: % Solidos	6,42622	1	6,42622	5,91	0,1357
B: NaCN	22,515	1	22,515	20,69	0,0451
AB	1,57502	1	1,57502	1,45	0,3520
Error total	2,17646	2	1,08823		
Total (corr.)	32,6927	5			

Nota. fuente propia datos estadísticos con datos de prueba.

R-cuadrada = 93.3427 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 83.3567 por ciento

Error estándar del est. = 1.04318

Error absoluto medio = 0.567778

Estadístico Durbin-Watson = 1.50031 (P=0.0861)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.166529

Del análisis de variancia observamos que el factor de mayor significancia es la agitación de por el P-value que tiene 0,0451.

El modelo matemático del siguiente análisis es la siguiente:

Tabla 35 Coef. de regresión para Recuperación de oro

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-9,44417
A: Porcentaje de sólidos	0,9475
B: NaCN	52,16
AB	-1,255

Nota. fuente propia datos estadísticos con datos de prueba.

El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Recuperación de oro} = -9,44417 + 0,9475 * \text{Pocentaje de sólidos} + 52,16 * \text{NaCN} - 1,255 * \text{Pocentaje de sólidos} * \text{NaCN}$$

Del cuadro de regresión para el vector respuesta

La constante del modelo matemático, viene a ser el promedio de los valores del vector respuesta, así mismo es el valor inicial del proceso en estudio, el signo negativo de la constante nos indica que está en el máximo valor del vector respuesta. También se observa que la interacción es negativa, por lo tanto, no tiene influencia en el proceso.

Tabla 36 Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Recuperación de oro

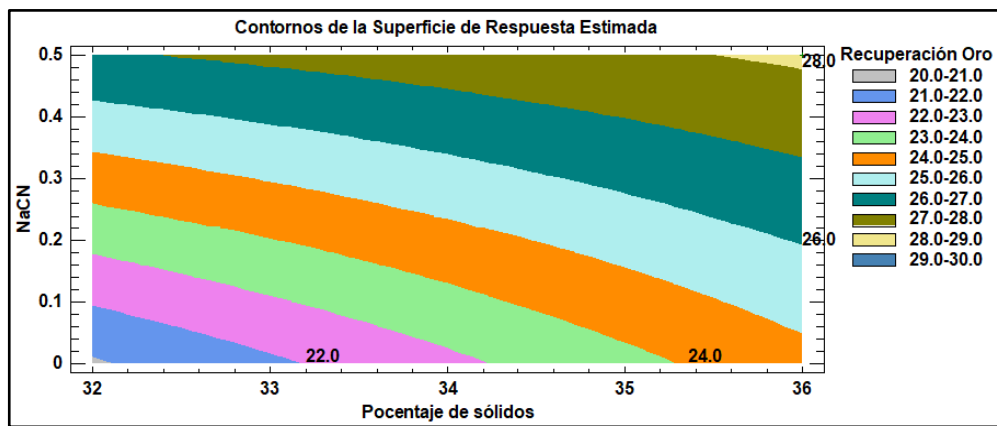
Valor óptimo = 28,17

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
% Sólidos	32,0	36,0	36,0
NaCN	0,0	25,0	0,50

Nota. fuente propia datos estadísticos con datos de prueba.

Para lograr una máxima recuperación del oro se tiene que trabajar con los niveles máximos y lograr una máxima recuperación de 28% de oro.

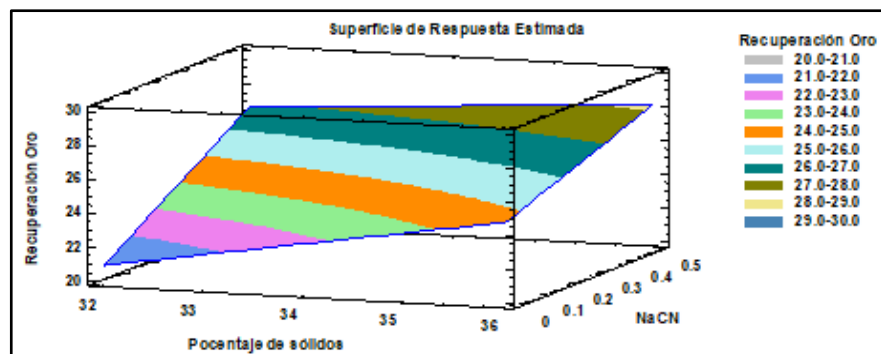
Figura 23 Superficie respuesta



Nota. fuente propia gráfico de prueba.

La superficie respuesta nos indica que tienen una pendiente negativa, por las isolíneas del gráfico. El valor óptimo que se puede alcanzar de la recuperación del oro del relave es 29%, con 36% de sólidos y NaCN de 0.50 kg/tn

Figura 24 Superficie respuesta espacial



Nota. fuente propia gráfico estadístico de prueba.

A nivel espacial se observa la forma de ubicación de los puntos experimentales y la dirección en la que se encuentra el proceso. La máxima recuperación se encuentra en la máxima agitación y porcentaje de sólidos.

Condiciones óptimas

pH	12
Tiempo	42 horas
Cianuro libre	0.5 %
%Sólidos	36

4.3. Prueba de hipótesis

Para la demostración de la prueba de hipótesis de acuerdo a los objetivos planteados nos propusimos plantear la hipótesis de la investigación.

Hipótesis de investigación

Hipótesis Nula (Ho)

La Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas no influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga – 2021.

Hipótesis Alterna (Ha)

La Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga – 2021

Prueba de hipótesis

La demostración de la hipótesis se realiza con las recuperaciones de las pruebas experimentales de relave realizadas a nivel de laboratorio.

Tabla 37 Porcentajes de sólidos

Corrida	Recuperaciones
1	23,83
2	32,32
3	36,97
4	16,85
6	30,35
9	17,67
11	29,29
12	31,09
14	20,28
17	22,52
20	24,66
24	24,45
29	21,21

Nota. fuente propia datos estadísticos con datos de prueba.

$H_0: \mu = 20 \text{ Au}$

$H_1: \mu > 20 \text{ Au}$

Nivel de significancia

$\alpha = 0,01$

Estadístico de prueba

$\bar{Y} = 25,50$

$K = 20 \text{ Au}$

$S^2 = 36,87$

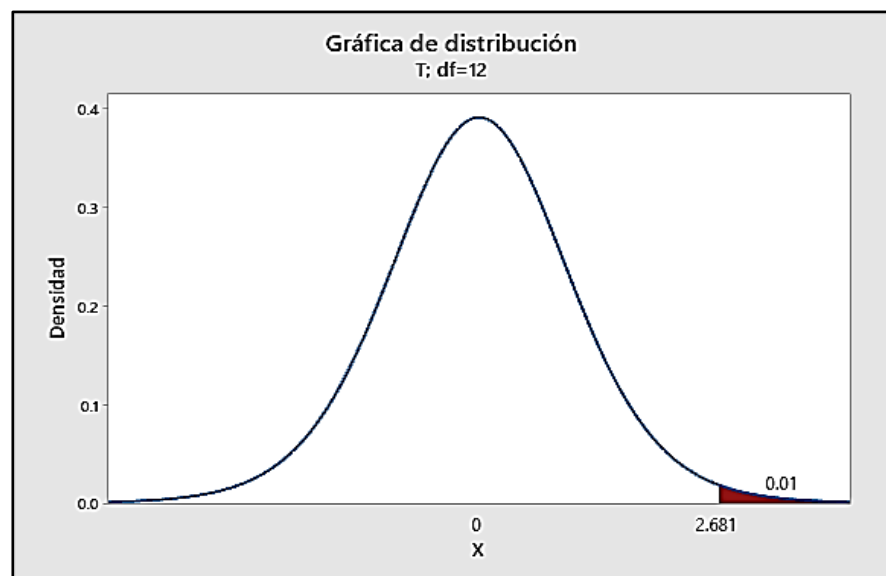
$n = 13$

$$t_c = \frac{\bar{Y} - k}{\sqrt{S^2/n}}$$

$$t_c = \frac{25,50 - 20}{\sqrt{36,87/12}} = 3,13$$

Valor de decisión: (Si $t_c > t_t$ se acepta la H_a)

$t_c > t_t$ reemplazando valores $3,13 > 2,68$



Nota. fuente propia gráfico estadístico de prueba.

Como 3,13 es mayor que 2,68 se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Decisión

Se acepta la Hipótesis Alterna

Conclusión

Existe suficiente evidencia para afirmar que la lixiviación de relave fresco por agitación en botellas influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga, con 99% de significancia.

4.4. Discusión de resultados

Después de realizar las pruebas a nivel de laboratorio se comprueba la hipótesis alterna donde, la Lixiviación de relave fresco por agitación en botellas influye en la recuperación del Oro en la Planta Procesadora PALTARUMI S.A.C – Paramonga – 2021.

El relave que sale del proceso de lixiviación por cianuración de acuerdo al ensaye químico es 2,18 g/Ton de Au y 18,12 g/Ton de Ag. Del análisis de malla valorada se puede manifestar que la mayor cantidad de oro que se pierde se encuentra por debajo de la malla -400, en 75,62 %, siendo aproximadamente 0,00403 g/malla, seguidamente la malla 270, que se pierde 12,63% siendo 0,0006 g/malla.

De las pruebas de lixiviación por cianuración en botellas para una ley de cabeza calculada de 2,18 g/Ton Au y 18,13 g/Ton de Ag, se logra recuperar entre 23% a 28% del oro del relave, obteniéndose aproximadamente de 1,47 g/Ton a 1,70 g/Ton. Esta recuperación no es constante debido a que la ley de cabeza calcula de relave es variable. Al respecto Rodríguez Romaní (2020), el relave que realiza el tratamiento son relaves provenientes de lixiviación en bateas y tiene una ley 2,5 g/Ton. por lo tanto, el relave es muy diferente a lo que se está tratando.

Los parámetros óptimos de operación se determinaron para una recuperación de 28% de recuperación de oro es trabajando con 36% de sólidos y una dosificación de cianuro de sodio de 0,50 g/ton.

CONCLUSIONES

1. Los parámetros físicos y químicos del relave son: gravedad específica 2.9 – 3.1. El contenido de oro en la ley de cabeza calculada es de 2,18 g/Ton. El oro residual que se pierde en el relave se encuentra en la malla 200, con 7,12%, # 270 con 12,63% y malla -400, con un contenido del 75,62% del Oro.
2. De las pruebas de cianuración en botellas se logra recuperar oro de 20 a 28% de oro, encontrándose el oro en las partículas finas de la malla -400. Siendo la mineralogía compleja, debido a que el mineral que ingresa al proceso proviene de diferentes yacimientos, esto dificulta el grado de liberación del mineral.
3. Los parámetros óptimos de operación aplicando el diseño factorial se determinó, que se debe controlar el porcentaje de sólidos en 36% de sólidos y la dosificación de cianuro fresco permite una mayor interacción con el oro residual del relave.
4. Con un promedio de tratamiento diaria de 350 TMS/día, se estaría haciendo un acumulado mensual de 10500 TMS/Mes lo que representaría una recuperación aproximada de 1.050 Kg de Au.
5. Determinado las condiciones óptimas del proceso de lixiviación por cianuración en botellas se podrá controlar de la recuperación del oro de la planta procesadora.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un estudio más minucioso de los parámetros físicos y químicos para tener un concepto más amplio de la mineralogía que se está tratando y así mismo un estudio de microscopía.
2. Se debe instalar una malla DSM en el último tanque carbonero para la retención del carbón activado que contiene el oro residual que se pierde en el relave. Que posiblemente arrastre oro de las mallas más finas.
3. Control de Ph ya que también si está por debajo de 10 se forma los gases cianhídricos y también se tendría problemas de disolución del Au afectando la recuperación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chilón y Mejía (2018). Tratamiento de relaves de cianuración de concentrados refractarios para la recuperación de oro y plata en la zona de Calpa – Arequipa [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Fimbres, O. (23 de setiembre de 2018). *Proceso CCD en la recuperación de oro, principios básicos*. Obtenido de Industry Manager Mining ECN automation: <https://es.linkedin.com/pulse/proceso-ccd-en-la-recuperaci%C3%B3n-de-oro-principios-b%C3%A1sicos-omar-fimbres>
- Flores, O. (5 de setiembre de 2022). *Minería en línea*. Obtenido de Lixiviación: <https://mineriaenlinea.com/glosario/lixiviacion/>
- Lombana Torres, L. M., Saavedra Morales, A. D., & Correa Mahecha, F. (11 de setiembre de 2018). Variables influyentes en el proceso de lixiviación para la recuperación de metales contenidos en lodos galvanicos. *Revista Semilleros*, 4(1), 93-104. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7739/1/6122928-2018-1-IQ.pdf>
- López Fernandez, A. (noviembre de 2007). *Metales preciosos: El oro*. Obtenido de Uco.es: <https://www.google.com/search?q=oro&oq=oro&aqs=chrome..69i57j46i433i512j46i175i199i512j0i433i512j46i175i199i512j0i433i512j69i60j69i61.2875j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Mendez, & Ariel. (22 de Abril de 2022). *El Economista*. Obtenido de Conflicto en Ucrania acentúa brillo del precio del oro: <https://www.eleconomista.com.mx/mercados/Conflicto-en-Ucrania-acentua-brillo-del-precio-del-oro-20220422-0017.html>

Rodríguez Romaní, C. A. (2020). *Recuperación de oro a partir de relaves por lixiviación en batea en la Unidad Minera Estrella de Oro CECOMSAP -Ananea, Puno*. Universidad Nacional del Altiplano (Tesis de titulación), Puno. Obtenido de

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3280310?show=full>

Sernageomin. (s.f.). *Servicio nacional de geología y minería*. Obtenido de Depósito de relaves: <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>

ANEXOS

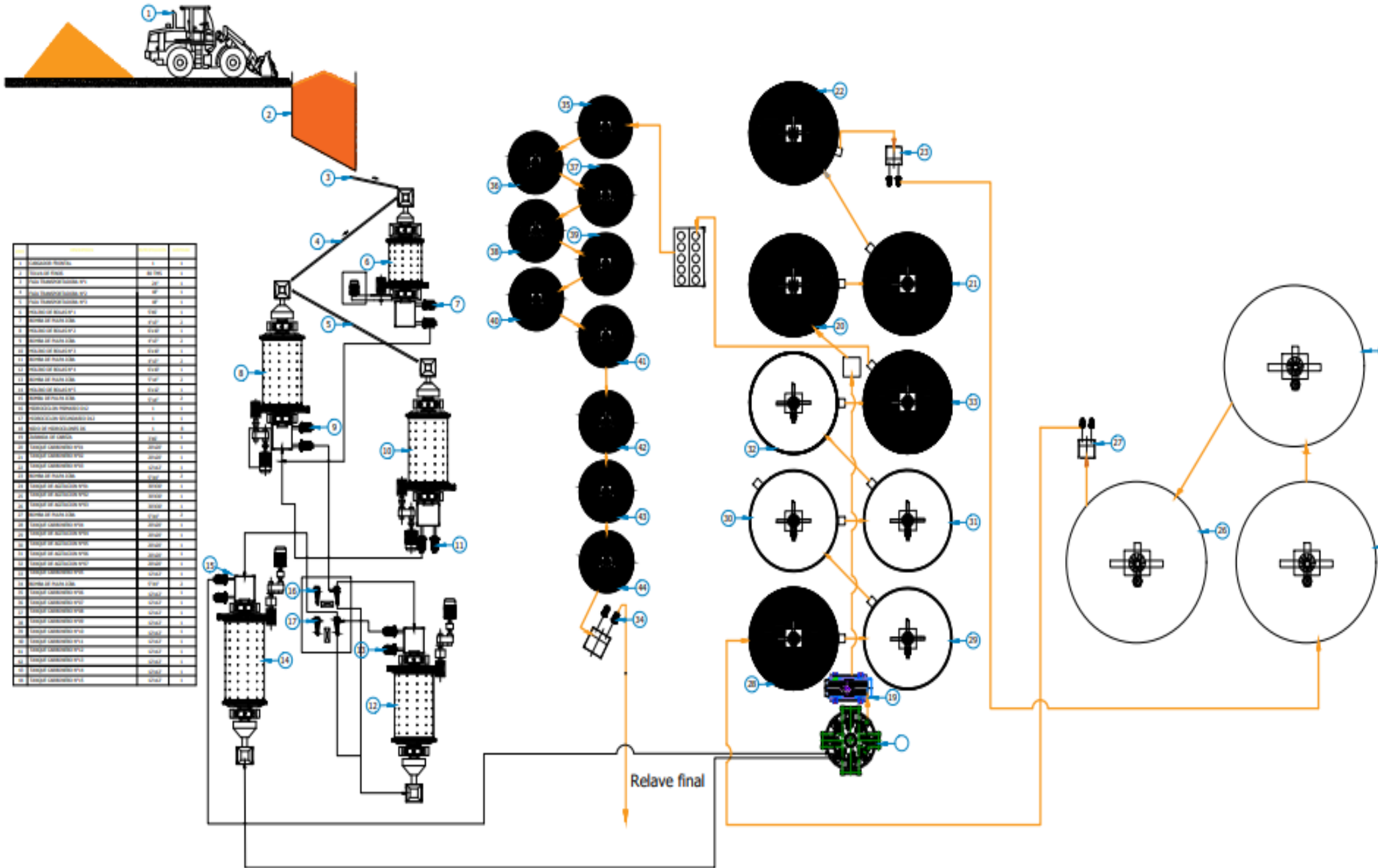
INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Análisis granulométrico de malla valorada de relave

ANÁLISIS VALORADA RELAVE FRESCO Au					
Malla	Peso	% Peso	Ley Au	Contenido	Contenido
	Retenido		g/ton	Au gr por	Au %
	(gr.)			malla	
#45 y	1,05	0,05	27,451	0,000029	0,54
#60					
#100	15,67	0,71	1,534	0,000024	0,45
#140	90,67	4,09	1,10	0,000100	1,87
#200	143,42	6,46	2,65	0,000380	7,12
#270	245,21	11,05	2,75	0,000674	12,63
#325	24,7	1,11	2,25	0,000056	1,04
#400	16,82	0,76	2,327	0,000039	0,73
#-400	1681,88	75,78	2,40	0,004037	75,62
TOTAL	2219,42	100,00	2,405	0,005338	100,00
Ley de Cabeza calculada de Au			2,405		
Ley de cabeza Au			2,150		

Condiciones de pulpa	
Densidad de pulpa	1 310 g/L
Ge	2,9
% sólidos	36
Peso del sólido	465 g
Volumen de agua	845 ml
Litro de pulpa para 1 K	2,15
Dilución para la prueba	1,82
Agitación (rpm)	45-50

Estadístico	Prueba	% extracción	OUTLIER
	1	23.83	
	2	32.32	
	3	36.97	
	4	16.85	
	6	30.35	
	9	17.67	
	11	29.29	
	12	31.09	
	14	20.28	
	17	22.52	
	20	24.66	
	24	24.45	
	29	21.21	
Media		25.50	
varianza		36.87	
Desviación		6.07	
Q1		20.745	
Q2		24.45	
Q3		30.72	
Alto		36.97	
Bajo		16.85	



Vista de la cancha de finos para el bleending y ingrese a planta.



Vista de los tanques de agitación – planta concentradora.





Vista de taller de distribución – planta concentradora.



Vista titulación de las pruebas de relave fresco – Laboratorio Metalúrgico



Vista de los molinos en planta



Vista de las mesas de agitación de las pruebas de relave fresco – Laboratorio Metalúrgico.



Vista de área de trabajo pulverizadora – Laboratorio Metalúrgico.



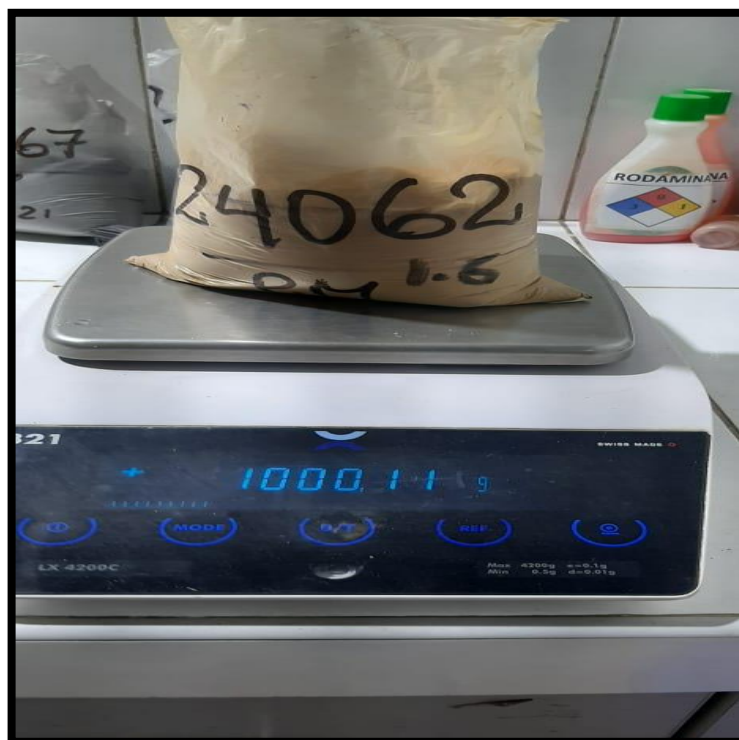


Vista de área de trabajo balanza digital – Laboratorio Metalúrgico.





Vista de área de trabajo peso de la muestra – Laboratorio Metalúrgico.





Vista de área de trabajo botellas de agitación y galones de agua oxigenada – Laboratorio Metalúrgico.





Vista de área de trabajo para pasar malla #-12 a las muestras – Laboratorio Metalúrgico.



Vista de preparación de muestras – Laboratorio Metalúrgico.



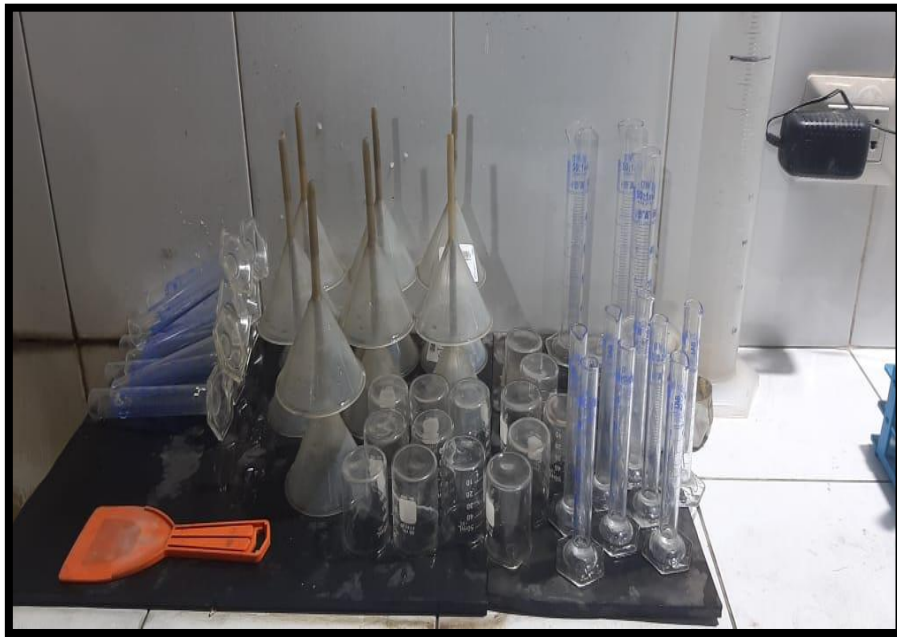
Vista de filtración de las muestras – Laboratorio Metalúrgico.



Vista del horno de secado de las muestras – Laboratorio Metalúrgico.



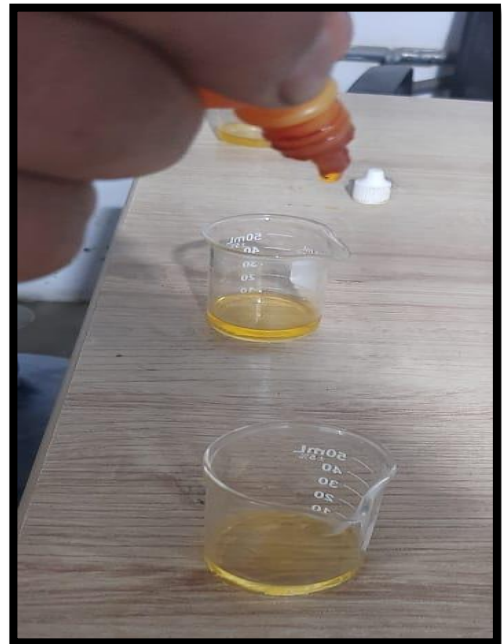
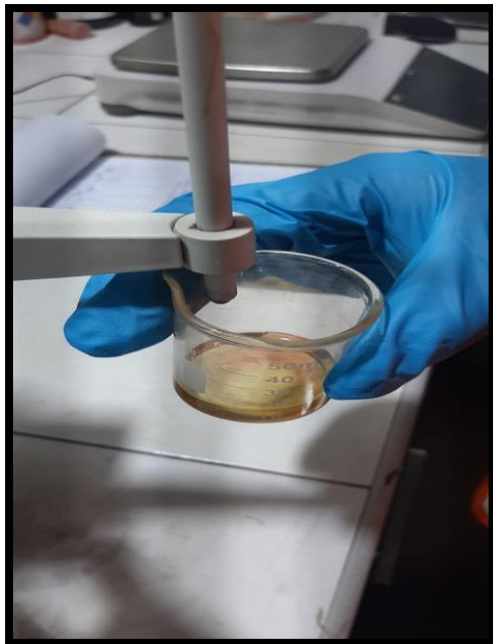
laboratorio químico – Laboratorio Metalúrgico.





Vista de reactivos – Laboratorio Metalúrgico.





Vista de control de las pruebas – Laboratorio Metalúrgico.

PRUEBAS DE CIANURACIÓN DIRECTA EN BOTELLAS (48 Horas)

Fecha: 10/05/2021 Código de Muestra: 24022 Tipo de Mineral: Sulfuro
 Dilución: 2-1 G. Específica: 3.8 Malla (-200): 91.37 pH Natural: 7

Inicio	Horas		Control	NaOH		NaCN	
	Final			pH	Agregar	CN Libre	Agregar
2:30 AM	7:30 AM			12	3.5	0.2	4.22
	1:30 PM			12		0.16	0.84
	7:30 PM			12		0.19	0.21
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12	+1	0.19	0.21
	1:30 PM			12		0.14	1.27
	7:30 PM			12		0.18	0.42
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12		0.20	—

PRUEBAS DE CIANURACIÓN DIRECTA EN BOTELLAS (48 Horas)

Fecha: 10/05/2021 Código de Muestra: 24024 Tipo de Mineral: Oxido
 Dilución: 1-1 G. Específica: 2.9 Malla (-200): 90.82 pH Natural: 7

Inicio	Horas		Control	NaOH		NaCN	
	Final			pH	Agregar	CN Libre	Agregar
5:30 AM	7:30 AM			12	3.5	0.2	3.54
	1:30 PM			12		0.17	0.53
	7:30 PM			12		0.19	0.18
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12		0.20	—
	1:30 PM			12		0.16	0.71
	7:30 PM			12		0.18	0.35
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12		0.19	0.18

PRUEBAS DE CIANURACIÓN DIRECTA EN BOTELLAS (48 Horas)

Fecha: 10/05/2021 Código de Muestra: 24026 Tipo de Mineral: MIXTO
 Dilución: 1-82 G. Específica: 3.0 Malla (-200): 89.93 pH Natural: 6

Inicio	Horas		Control	NaOH		NaCN	
	Final			pH	Agregar	CN Libre	Agregar
2:30 AM	7:30 AM			12	3.5 +1	0.2	3.67
	1:30 PM			12		0.03	3.09
	7:30 PM			12		0.07	2.36
	1:30 AM			12		0.12	1.45
	7:30 AM			12		0.15	0.91
	1:30 PM			12		0.16	0.13
	7:30 PM			12		0.12	0.36
	1:30 AM			12		0.18	0.36
	7:30 AM			12		0.20	—

PRUEBAS DE CIANURACIÓN DIRECTA EN BOTELLAS (48 Horas)

Fecha: 10/05/2021 Código de Muestra: 24022 Tipo de Mineral: Sulfuro
 Dilución: 2-1 G. Específica: 3.8 Malla (-200): 91.37 pH Natural: 7

Inicio	Horas		Control	NaOH		NaCN	
	Final			pH	Agregar	CN Libre	Agregar
5:30 AM	7:30 AM			12	3.5	0.2	4.22
	1:30 PM			12		0.16	0.84
	7:30 PM			12		0.19	0.21
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12	+1	0.19	0.21
	1:30 PM			12		0.14	1.27
	7:30 PM			12		0.18	0.42
	1:30 AM			12		0.20	—
	7:30 AM			12		0.20	—

Vista de nido de ciclones – planta procesadora.

