



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

RECUPERACIÓN DE METALES POR FLOTACIÓN DE RELAVES
AURÍFEROS EN LA SOCIEDAD CIVIL MINERA "GOLDMINS"
UBICADA EN EL CANTÓN ZARUMA

GUANUCHI OCAMPO LISSETTE PAULETTE
INGENIERA QUÍMICA

ROMERO TACURY DARWIN RAMIRO
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

RECUPERACIÓN DE METALES POR FLOTACIÓN DE RELAVES
AURÍFEROS EN LA SOCIEDAD CIVIL MINERA "GOLDMINS"
UBICADA EN EL CANTÓN ZARUMA

GUANUCHI OCAMPO LISSETTE PAULETTE
INGENIERA QUÍMICA

ROMERO TACURY DARWIN RAMIRO
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

RECUPERACIÓN DE METALES POR FLOTACIÓN DE RELAVES AURÍFEROS EN
LA SOCIEDAD CIVIL MINERA "GOLDMINS" UBICADA EN EL CANTÓN
ZARUMA

GUANUCHI OCAMPO LISSETTE PAULETTE
INGENIERA QUÍMICA

ROMERO TACURY DARWIN RAMIRO
INGENIERO QUÍMICO

ROMERO BONILLA HUGO ITALO

MACHALA, 08 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

RECUPERACION DE METALES POR FLOTACIÓN DE RELAVES AURIFEROS EN LA SOCIEDAD CIVIL MINERA "GOLDMINS" UBICADA EN EL CANTON ZARUMA

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%
2	studylib.es Fuente de Internet	1%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
4	fortytwometals.com Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%
8	www.scribd.com	

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, GUANUCHI OCAMPO LISSETTE PAULETTE y ROMERO TACURY DARWIN RAMIRO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado RECUPERACIÓN DE METALES POR FLOTACIÓN DE RELAVES AURÍFEROS EN LA SOCIEDAD CIVIL MINERA "GOLDMINS" UBICADA EN EL CANTÓN ZARUMA, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de mayo de 2020



GUANUCHI OCAMPO LISSETTE PAULETTE
0750185217



ROMERO TACURY DARWIN RAMIRO
0704860501

DEDICATORIA

Con todo el amor dedico este trabajo a mis padres Ángel Guanuchi y Luz María Ocampo por haberme forjado como la persona que soy ahora por todas sus palabras de aliento que me dan día a día y hacen que me esfuerce para alcanzar cada meta. A mi abuelita Genoveva Orellana a mi hermano Steven Guanuchi y mi sobrina Sheyla Guanuchi por darme su amor y apoyo incondicional. A mi ángel que sé que desde el cielo está tan contento de saber que con esfuerzo y dedicación logré uno de los muchos sueños que me proponga abuelito esto y mucho más es por ti. A Dios por haber forjado mi camino y guiarme para saber afrontar cada lección de vida que se me ha presentado en el transcurso de mi formación profesional.

Egda. Paulette Guanuchi

Esta tesis le dedico a Dios, a mis padres Rolando Romero y Esther Tacury, a mis hermanos Boris y Jimmy Romero, por todo su apoyo, comprensión y pilar fundamental a lo largo de la carrera.

Egdo. Darwin Romero

AGRADECIMIENTO

A Dios quien ha forjado mi camino y me ha sabido guiar con su amor y me ha permitido alcanzar todos mis logros.

A mis padres Ángel Guanuchi y Luz María Ocampo que son el pilar fundamental en la formación de mi persona por todo su amor, sacrificios, valores y consejos que me han inculcado. A mi hermano Steven Guanuchi por el amor infinito y apoyo incondicional que me ha brindado en los momentos buenos y malos. A mi abuelita Genoveva Orellana por el amor infinito y consejos que me ha sabido dar. A mi sobrina Sheyla Guanuchi por llenarme de amor con sus ocurrencias día a día.

Le agradezco a mi tutor Dr. Hugo Romero Bonilla por brindarme su apoyo y asesoramiento en la realización de mi trabajo.

A mi compañero de tesis y periodo académico Darwin Romero por ser parte de este logro que hemos realizado en el transcurso para que esta tesis culmine exitosamente.

Mi agradecimiento también va dirigido a la sociedad civil minera Goldmins, sus trabajadores por el apoyo que me brindaron en el transcurso del tiempo que realice mi tesis al Señor Yordy Pesantes por darme la oportunidad de colaborar en tan prestigiosa empresa. A los Ing. Juan Espinoza y Manuel Anastasio por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A la Universidad Técnica de Machala por haber aceptado ser parte de ella y abrirme sus puertas para estudiar mi carrera, así como también a todos los diferentes docentes que brindaron su conocimiento y su apoyo para seguir adelante día a día.

Gracias mil Gracias.

Egda. Paulette Guanuchi

A Dios por permitirme terminar mi tesis, a mis padres Rolando Romero y Esther Tacury, a mis hermanos Boris y Jimmy Romero por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de la carrera, a mi compañera de tesis Paulette Guanuchi por la paciencia y apoyo, a mi tutor Dr. Hugo Romero por guiarme en la elaboración de la tesis, al personal que labora el laboratorio especialmente al Ing. Juan Espinoza y al Ing. Manuel Anastasio por el conocimiento brindado, al Sr Yordy Pesantes gerente de la sociedad civil minera “Goldmins” por brindarme la oportunidad de realizar la tesis y finalmente a mis amigos por todo su apoyo.

Egdo. Darwin Romero

RESUMEN

La presente investigación tiene por objeto la recuperación de metales de los relaves auríferos, provenientes del proceso de flotación por espuma en la sociedad civil minera “Goldmins”, ubicada en el cantón Zaruma sitio el Portete, para ello se procedió a realizar una caracterización química de los relaves, mediante barrido de multielementos ICP, que fue realizadas en el laboratorio Alex Stewart (Internacional) ubicada en la ciudad de Lima-Perú el cual mostró la presencia de metales Pb y Zn, también se realizaron pruebas físicas, densidad de pulpa, densidad aparente, pH y granulometría.

Para la recuperación de Pb y Zn se usó el proceso de flotación por espuma tipo batch a nivel de laboratorio, en el cual se utilizó los activadores (NaClO , H_2O_2 , CuSO_4), colectores (DT-404, Xantato Amílico de Potasio Z-6), espumantes (aceite de pino, Frother-350). Los activadores y colectores se prepararon al 1% y los espumantes se agregaron sin dilución. Las pruebas de flotación se realizaron en una celda tipo DENVER con una velocidad de rotación de 900 rpm, el tiempo de flotación fue de 5 min y la densidad de la pulpa fue del 30% p/p. Para las condiciones experimentales se agregaron 6 ml de activadores, 5 ml de colectores y 0.4 ml de espumantes el análisis de prueba de flotación se realizó mediante vía húmeda en el equipo de absorción atómica PerkinElmer AAnalysst 400.

En las pruebas preliminares de flotación se obtuvo una mayor recuperación para Pb con el colector Ditiostato/404 (DT-404) y para Zn con el colector Xantato Amílico de Potasio Z-6 por ese motivo se decidió a elaborar un complejo de colectores a partir del Z-6 y DT-404. Usando el complejo se procedió a realizar más pruebas de flotación, los resultados obtenidos indican que el esquema de reactivos CuSO_4 como activador, el complejo de Xantato Amílico de Potasio Z-6, Ditiostato/404 (DT-404) como colectores y el Frother-350 como espumante permitieron obtener la mayor concentración en Pb del 85% y 74% en Zn, esto se debe a la activación del mineral del CuSO_4 , los iones de cobre en la solución de sulfato de cobre puede reaccionar preferentemente con CN, formando un complejo de cobre debido a la absorción de iones de cobre libres en superficies frescas, las especies de sulfuro de cobre en la superficie forman y activan los minerales. El efecto de activación del sulfato de cobre es mejor entre estos activadores.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de flotación se procedió a determinar la cinética con las mismas condiciones iniciales de dosificación de reactivos, velocidad de agitación y densidad de la pulpa, el tiempo de flotación fue de 7 min, las muestras de espuma de concentrado se recolectaron cada 1 min, luego se procedió a realizar el análisis vía humedad.

Con los resultados obtenidos se construyó la cinética, se evaluó para el modelo clásico, el modelo en función de la recuperación máxima y el modelo de segundo orden, en la linealización de las curvas de los dos modelos de cinética (clásico y en función de la recuperación máxima) se demostró que no existe mayor variación, por lo tanto, ambos modelos son aplicables para determinar la constante de flotación.

Palabras claves: Flotación de relaves, Activadores, cinética de flotación, colector, caracterización físico-química de relaves.

ABSTRACT

The purpose of this research is to recover metals from gold tailings, from the foam flotation process in the mining civil society "Goldmins", located in the Zaruma canton, El Portete site, for which a chemical characterization of the tailings, by means of an ICP multi-element sweep, which was carried out in the Alex Stewart (International) laboratory located in the city of Lima-Peru, which showed the presence of Pb and Zn metals, physical tests were also carried out, pulp density, density apparent, pH and particle size.

For the recovery of Pb and Zn, the batch-type foam flotation process was used at the laboratory level, in which the activators (NaClO , H_2O_2 , CuSO_4), collectors (DT-404, Amyl Xanthate of Potassium Z-6), foamers (pine oil, Frother-350), activators and collectors were prepared at 1% and the foamers were added without dilution. The flotation tests were carried out in a DENVER cell with a rotation speed of 900 rpm, the flotation time was 5 min and the pulp density was 30% w/w. The experimental conditions were added 6 ml of activators, 5 ml of collectors and 0.4 ml of sparkling wines. The floatation test analysis was carried out by means of a wet route in the PerkinElmer AAnalysst 400 atomic absorption equipment.

In the preliminary flotation tests, a greater recovery was obtained for Pb with the Dithiophostat/404 (DT-404) collector and for Zn with the Potassium Xantate Amyl Z-6 collector, for this reason it was decided to develop a collector complex from of the Z-6 and DT-404.

Using the complex, further flotation tests were carried out, the results obtained indicate that the CuSO_4 reagent scheme as activator, the complex of Potassium Amyl Xantate Z-6, Dithiophostat/404 (DT-404) as collectors and the Frother-350 As the foaming agent allowed to obtain the highest concentration in Pb of 85% and 74% in Zn, this is due to the activation of the mineral of CuSO_4 , the copper ions in the copper sulfate solution can preferentially react with CN, forming a complex of Copper Due to the absorption of free copper ions on fresh surfaces, the copper sulfide species on the surface form and activate minerals. The activating effect of copper sulfate is best among these activators.

With the results obtained in the flotation tests, the kinetics were determined with the same initial conditions of dosing of reagents, stirring speed and pulp density, the flotation time was 7 min, the samples of concentrate foam were collected every 1 min, then the analysis was carried out via humidity. With the results obtained, the kinetics were constructed, and the linear model of the curves of the two kinetic models (classical and based on the maximum

recovery) it was shown that there is no greater variation, therefore, both models are applicable to determine the floating constant.

Keywords: Tailings flotation, Activators, flotation kinetics, collector, physicochemical tailings characterization.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
HIPÓTESIS	5
VARIABLES	5
Variables independientes	5
Variable dependiente	5
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	6
1.1. Generalidades de la empresa.....	6
1.1.1. <i>Ubicación Geográfica</i>	6
1.1.2. <i>Antecedentes</i>	6
1.1.3. <i>Diagrama de proceso de flotación de la sociedad civil minera “Goldmins”</i>	6
1.2. Marco conceptual.....	8
1.2.1. <i>Minerales de plomo y zinc</i>	8

1.2.1.1.	<i>Plomo</i>	8
1.2.1.2.	<i>Zinc</i>	9
1.2.2.	<i>Procesos de flotación</i>	9
1.2.2.1.	<i>Flotación</i>	9
1.2.3.	<i>Variables del proceso de flotación</i>	11
1.2.4.	<i>Tipos de flotación de espuma</i>	11
1.2.4.1.	<i>Flotación Bulk</i>	11
1.2.4.2.	<i>Flotación Selectiva</i>	11
1.2.5.	<i>Circuitos de flotación</i>	11
1.2.6.	<i>Reactivos utilizados para la flotación</i>	12
1.2.6.1.	<i>Activadores</i>	12
1.2.6.2.	<i>Colectores</i>	13
1.2.6.3.	<i>Espumantes</i>	13
1.2.6.4.	<i>Depresores</i>	13
1.2.7.	<i>Cinética de flotación</i>	14
1.2.8.	<i>Flotación de los minerales de Pb y Zn</i>	17
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA		19
2.1.	<i>Materiales y métodos</i>	19
2.1.1.	<i>Materiales</i>	19
2.1.2.	<i>Reactivos</i>	19
2.1.3.	<i>Equipos</i>	19
2.2.	<i>Ubicación de investigación</i>	20
2.3.	<i>Caracterización de las muestras de relaves</i>	20
2.3.1.	<i>Caracterización Física</i>	20
2.3.1.1.	<i>Densidad Real</i>	20
2.3.1.2.	<i>Densidad Aparente</i>	21
2.3.1.3.	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	21
2.3.1.4.	<i>Granulometría</i>	21
2.4.	<i>Caracterización química</i>	21
2.4.1.	<i>Barrido ICP</i>	21
2.5.	<i>Obtención de las muestras para la cinética de flotación</i>	22
2.6.	<i>Análisis de la ley de relaves</i>	22
2.7.	<i>Diseño experimental</i>	22

2.8.	Ensayos de flotación	23
2.9.	Prueba de flotación	23
2.10.	Cinética de flotación	24
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....		25
2.1.	Características físicas.....	25
2.2.	Características químicas	25
2.3.	Ensayos de flotación	26
2.3.1.	<i>Ensayos de flotación con el activador NaClO.....</i>	27
2.3.2.	<i>Ensayos de flotación con el activado H2O2.....</i>	28
2.3.3.	<i>Ensayos de flotación con el activador CuSO4</i>	29
2.3.4.	<i>Pruebas de flotación para el Zn utilizando un complejo DT-404 y Z-6 como colectores.....</i>	30
2.3.5.	<i>Pruebas de flotación para el Pb utilizando un complejo DT-404 y Z-6 como colectores.....</i>	32
2.3.6.	<i>Determinación de la cinética de recuperación de plomo y zinc en los relaves mediante el proceso de flotación</i>	33
2.3.6.1.	<i>Modelo clásico de Cinética.....</i>	35
2.3.6.2.	<i>Modelo de cinética en función de la recuperación máxima</i>	37
2.3.6.3.	<i>Modelo de cinética de segundo orden</i>	39
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES		42
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES		43
BIBLIOGRAFÍA		44
ANEXOS		49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Porcentaje de Recuperación del activador NaClO	28
Gráfico 2 Porcentaje de Recuperación del activador H ₂ O ₂	29
Gráfico 3 Porcentaje de Recuperación del activador CuSO ₄	30
Gráfico 4 Porcentaje de Recuperación del Zn	31
Gráfico 5 Porcentaje de Recuperación de Pb.....	33
Gráfico 6 Recuperación de Zn con respecto al tiempo	34
Gráfico 7 Recuperación de Pb con respecto al tiempo	35
Gráfico 8 Curvas del modelo clásico de cinética de Pb para las repeticiones 1 y 2	36
Gráfico 9 Curvas del modelo clásico de cinética de Zn para las repeticiones 1 y 2.....	36
Gráfico 10 Curvas de cinética del Pb para repetición 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral	38
Gráfico 11 Curvas de cinética del Zn para repetición 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral.	38
Gráfico 12 Cinética de flotación para Pb en función del modelo de segundo orden.....	40
Gráfico 13 Cinética de flotación para Zn en función del modelo de segundo orden.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Ubicación geográfica de la sociedad civil minera “Goldmins”	6
Ilustración 2	Diagrama de flotación de la sociedad civil minera “Goldmins”	7
Ilustración 3	Esquema del proceso de flotación	10
Ilustración 4	Esquema de un circuito de flotación con tratamiento intermedio	12
Ilustración 5	Curva de una prueba de flotación por lotes, % de recuperación vs tiempo ..	15
Ilustración 6	Esquema de la celda de flotación tipo DENVER	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Acción de los reactivos de flotación	14
Tabla 2 Efecto del nivel de cianuro en la flotación de galena	17
Tabla 3 Diseño del experimento	22
Tabla 4 Características Físicas del Relave	25
Tabla 5 Resultado del análisis multielemento ICP	25
Tabla 6 Concentración de Pb y Zn de la muestra para las pruebas de flotación.....	26
Tabla 7 Resultados preliminares de las pruebas de flotación	26
Tabla 8 Resultados de las pruebas de flotación para el Zn utilizando el complejo 404/Z-631	
Tabla 9 Resultados de las pruebas de flotación para el Pb utilizando el complejo 404/Z-6	32
Tabla 10 Recuperación acumulado de Pb y Zn	33
Tabla 11 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función al modelo clásico de flotación	35
Tabla 12 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral	37
Tabla 13 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función al modelo de segundo orden	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 resultado del análisis granulométrico del relave	49
Anexo 2 Determinación del d80	49
Anexo 3 Toma de muestra de la relavera general de la sociedad civil minera Goldmins	50
Anexo 4 Recolección de muestras de relaves	50
Anexo 5 Caracterización de las muestras en el laboratorio Alex Stewart (Internacional) del Perú	51
Anexo 6 Determinación de la densidad aparente del relave	52
Anexo 7 Preparación de los reactivos	52
Anexo 8 Regulador de pH (cal)	53
Anexo 9 Celda de Flotación tipo DENVER	53
Anexo 10 Flotación de relaves para Pb-Zn	54
Anexo 11 Efecto de los Activadores en los relaves	54
Anexo 12 Pesado del concentrado obtenido en el proceso de flotación	55
Anexo 13 Digestión acida de las muestras de flotación	55
Anexo 14 Lectura de las muestras en el equipo de absorción atómica	56

INTRODUCCIÓN

El sector minero siempre ha tenido una gran importancia en la economía mundial en comparación con otras industrias, destacando el procesamiento de minerales que generan un gran valor comercial, para la recuperación de los minerales se han desarrollado diferentes técnicas para su exploración y explotación, que afectan a grandes proporciones de suelos y fuentes de agua en los países donde se realizan la explotación de minerales debido a que estos procesos utilizan sustancias químicas¹.

La explotación minera es una actividad que ha perturbado al medio ambiente y está vinculada a grandes impactos sociales². En la actualidad la minería en el Ecuador presenta un considerable avance en recuperación de minerales de gran interés económicos (Au, Ag y Cu), pero todavía existen procesos pocos eficientes en el tratamiento de los minerales produciendo pérdidas o desaprovechando minerales de menor interés económico, estos minerales generalmente no se recuperan, son acumulados en relaveras.

El proceso utilizado en la recuperación de minerales en las plantas de beneficio generalmente es la flotación por espuma debido a que generan buenos resultados y bajo costos económicos, pero es un proceso poco eficiente que presenta pérdidas por procesos inadecuados, por las características intrínsecas de los minerales que varían significativamente no solo de una veta a otra, sino también dentro de la misma veta, también errores del personal produciendo una pérdida en la recuperación del mineral de interés³.

En el Ecuador el incremento de la minería ilegal y artesanal genera un aumento en la contaminación por metales pesados⁴, especialmente los relaves mineros que presentan un elevado contenido de pirita residual, sulfuros metálicos, reactivos de flotación nocivos que causan daño al ponerse en contacto con el ambiente⁵, incluido el lecho de roca, el suelo, el aire, el agua subterránea y sus elementos bióticos⁶. Dentro de los relaves también tenemos minerales de interés en bajas concentraciones y minerales de menor interés económico como el Pb, Zn, Mn, Fe, que son deprimidos en los procesos de flotación.

La presente investigación se realizó en la sociedad civil minera Goldmins, que se dedica a la exploración y explotación de minerales auríferos (Au, Ag y Cu) mediante procesos de extracción de la mina, transporte a la zona de trituración y molienda, proceso de flotación por espuma y cianuración, en estos procesos se utilizan depresores (CN^- , Dicromato, sulfato de Zinc) para minerales de bajo interés económico.

Este trabajo tiene la finalidad en recuperar metales presentes en los relaves, para ellos se realizó una caracterización física y química de los relaves, ensayos de flotación a nivel laboratorio en una celda tipo DENVER, los análisis de los ensayos de flotación se realizaron mediante el método de vía húmeda en el equipo de absorción atómica PerkinElmer AAnalyst 400 en el laboratorio metalúrgico de la sociedad civil minera Goldmins.

PROBLEMA

La sociedad civil minera “Goldmins” ubicada en el sitio el Portete, cantón Zaruma, desde el inicio de sus operaciones hasta la actualidad realiza la exploración, explotación y concentración de minerales mediante el proceso de flotación bulk, obteniendo concentrados de (Au, Ag y Cu). En el proceso de flotación deprimen los minerales de bajo interés como el plomo y zinc debido a su menor valor económico, al no existir un plan de recuperación y aprovechamiento para estos minerales, estos son depositados en relaveras.

El principal problema con los relaves es la acidificación del agua, el drenaje de sulfuros metálicos en especial la pirita y la presencia de metales pesados, los cuales contaminan el suelo, los ríos, el aire, causando graves daños a flora y fauna, también provoca repercusiones en la salud de los pobladores de los cantones Zaruma-Portovelo.

JUSTIFICACIÓN

En la sociedad civil minera “Goldmins” no existe un aprovechamiento para los relaves que se generan del proceso de flotación, esta investigación trata de encontrar un método que permita la recuperación de plomo y zinc mediante la realización de pruebas de flotación utilizando diferentes activadores (NaClO , H_2O_2 , CuSO_4), obteniendo beneficios económicos para la empresa y reduciendo la contaminación que generan los relaves al medio ambiente.

En las pruebas de flotación se espera que la recuperación de los minerales de Pb y Zn sea superior al 70%, además se pretende encontrar que modelo de cinética es adecuado para el proceso de flotación de los minerales de Pb y Zn, que permita encontrar la constante de flotación que referencie en un futuro los parámetros óptimos para el proceso de flotación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar los relaves auríferos de la sociedad civil minera Goldmins con la finalidad de determinar la presencia de Pb y Zn para su recuperación mediante el proceso de flotación por espuma.

Objetivos específicos

- Caracterizar la presencia metálica en los relaves del proceso de flotación de la sociedad civil minera Goldmins.
- Identificar el esquema de reactivos de flotación que alcanza una mayor recuperación de Pb y Zn presentes en los relaves.
- Estudiar la cinética de flotación para la recuperación de metales presentes en los relaves auríferos.

HIPÓTESIS

Se podrá recuperar Pb y Zn de los relaves auríferos mediante la flotación colectiva, considerando la utilización de activadores en la sociedad civil minera “Goldmins”.

VARIABLES

Variables independientes

- Adición de activadores (CuSO_4 , H_2O_2 , NaClO)
- Tiempo de flotación
- Adicción de colectores

Variable dependiente

- Recuperación de plomo y zinc

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de la empresa

1.1.1. Ubicación Geográfica

La sociedad civil minera Goldmins se encuentra ubicada en el cantón Zaruma, parroquia Malvas sector el Portete.

Ilustración 1 Ubicación geográfica de la sociedad civil minera “Goldmins”



Fuente. Tomado de Google maps

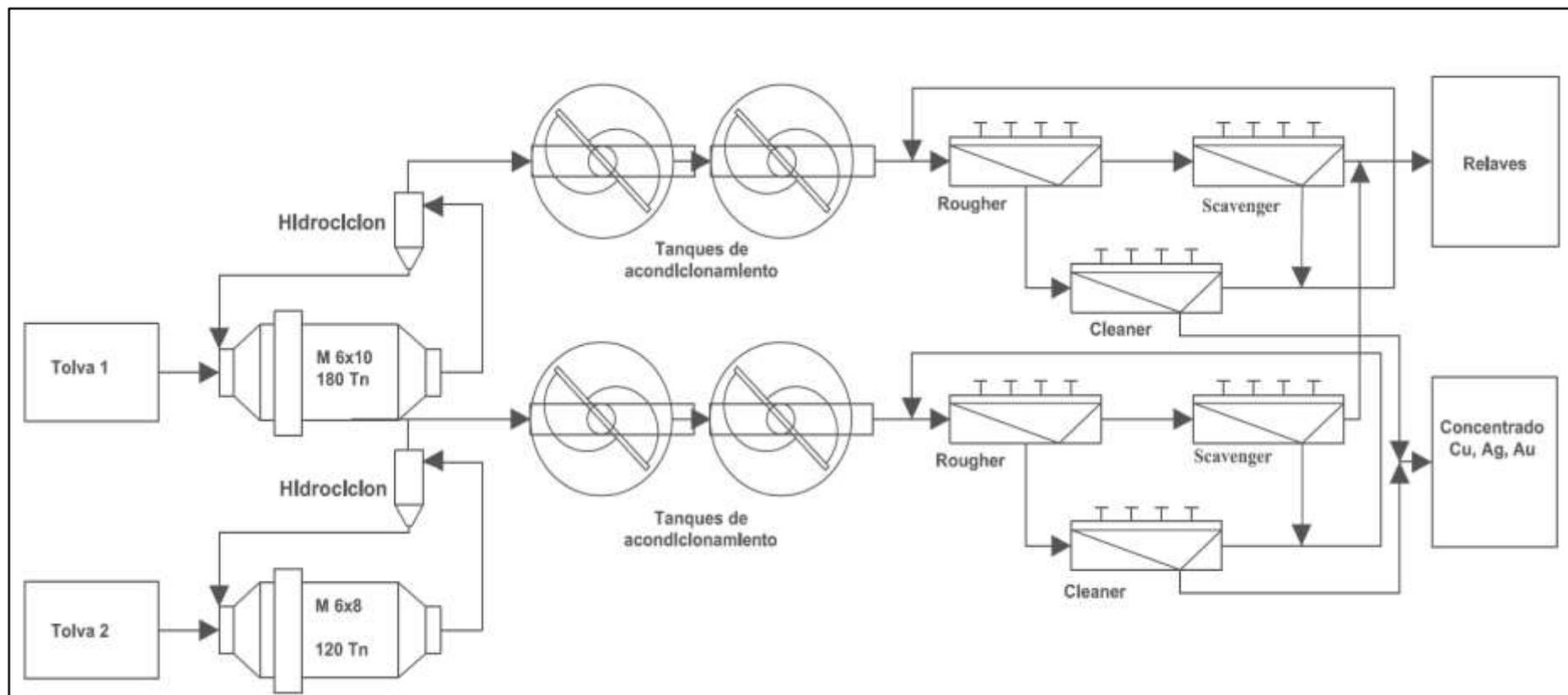
1.1.2. Antecedentes

La sociedad civil minera Goldmins realiza explotación y refinación de metales como Au, Ag y Cu mediante el proceso de cianuración y flotación, con una capacidad de procesamiento de 250 toneladas diarias de mineral proveniente de la mina Sansón y Yarita.

1.1.3. Diagrama de proceso de flotación de la sociedad civil minera “Goldmins”

El circuito de flotación se muestra en la ilustración 2, consta de dos tolvas que alimentan dos molinos de bolas de M6x10 con capacidad de 180 Ton y M6x8 con capacidad de 120 Ton, celda de flotación rougher, scavenger y cleaner, zona de secado de concentrado de Cu, Au, Ag y depósito de relaves.

Ilustración 2 Diagrama de flotación de la sociedad civil minera “Goldmins”



Fuente. Elaboración propia

1.2. Marco conceptual

1.2.1. *Minerales de plomo y zinc*

La demanda de metales básicos ha aumentado continuamente debido al desarrollo de industrias en todo el mundo, por lo tanto, es necesario mejorar el procesamiento de minerales de sulfuro⁷ entre los cuales se encuentran los minerales de plomo y zinc, los cuales son los más abundantes en el planeta tierra y se encuentran diseminados por diferentes zonas como América del Norte, América del Sur, Península Balcánica, Europa, Rusia, Australia y África. Como un recurso importante de plomo y zinc, el mineral de sulfuro juega un papel importante en el desarrollo de la economía mundial. Sin embargo, en la mayoría de los casos los minerales de plomo-zinc-sulfuro de hierro se agrupan en los relaves⁸.

La mayor parte de los minerales de plomo y zinc son tratados para la recuperación de plata debido a la alta concentración de este mismo. La producción de concentrado de plomo y concentrado de zinc están acompañadas del alto consumo de energía, la generación de residuos sólidos, la emisión de gases de efecto invernadero y la descarga de iones de metales pesados⁹.

El esquema de reactivos utilizados en el tratamiento de minerales de plomo-zinc varían considerablemente y depende de la naturaleza y mineralogía del mineral. En la mayoría de los casos el sistema depresor NaCN – ZnSO₄ se usa con colectores de Xantato + Ditiostato. Estos esquemas de reactivos son normalmente empleados para el tratamiento de carbonatita y sulfuros masivos de grano grueso¹⁰, si existen concentraciones altas de minerales de sulfuro se utiliza un esquema más complejo de reactivos.

1.2.1.1. *Plomo*

El plomo es un metal blando y maleable de color azul-grisáceo, de número atómico 82 y peso atómico 207, tiene un punto de fusión bajo, por lo general no se encuentra en su estado elemental¹¹, se presenta comúnmente como sulfuro de plomo en la galena, también se encuentra plomo en la desintegración radiactiva proveniente de los minerales de uranio y de torio¹².

El plomo es un elemento que se extrae fácilmente de sus minerales desde la prehistoria en Asia Occidental, las personas ya tenían este conocimiento. Se extrae principalmente de la galena que es el mineral principal de plomo, a menudo lleva plata cuyo interés ayudó a iniciar la extracción y el uso generalizado de plomo en la antigua Roma. Debido a la abundancia, el

bajo costo y a sus propiedades, el plomo se usa extensivamente en construcción, plomería, baterías, proyectiles de armas de fuego, pesas, soldaduras, peltre, aleaciones fusibles, pinturas blancas, gasolina con plomo y protección contra la radiación.

El plomo es una toxina que se acumula en los tejidos blandos y los huesos, actúa como una neurotoxina que daña el sistema nervioso e interfiere con la función de las enzimas biológicas. Es particularmente problemático en los niños, incluso si los niveles sanguíneos se normalizan rápidamente con el tratamiento puede producirse trastornos neurológicos, como daño cerebral y problemas de comportamiento¹³.

1.2.1.2. Zinc

El zinc posee en número atómico 30, es frágil a temperatura ambiente, pero es maleable a una temperatura de 100 a 150°C. Es uno de los metales más importantes requeridos en las industrias metalúrgicas y químicas. A medida que disminuyen los recursos de alto grado, el tratamiento de relaves de plantas de procesamiento puede considerarse como una fuente importante de metal¹⁴.

El zinc es el elemento más abundante en la corteza terrestre, gran parte de la producción actual de zinc proviene de la extracción de depósitos alojados en rocas sedimentarias ricas en carbonato, en las que se produce como mineral esfalerita (ZnS), lo que convierte al zinc en un elemento calcófilo¹⁵. En la producción de zinc la mayoría de los minerales de sulfuro que contienen zinc multimetal se procesan por flotación, los minerales valiosos flotan antes de la esfalerita, en este proceso, la esfalerita se trata con un depresor antes de la flotación de otros minerales, luego se activa y se concentra¹⁶.

La inhalación de humo recién formado por el zinc puede causar escalofríos, también conocida como fiebre de los fundidores. Los síntomas son fiebre y tos, seguidos de escalofríos, después de 48h de la exposición los efectos secundarios son mínimos, debido a que los trabajadores que están expuestos desarrollan rápidamente una resistencia a estos efectos¹⁷.

1.2.2. Procesos de flotación

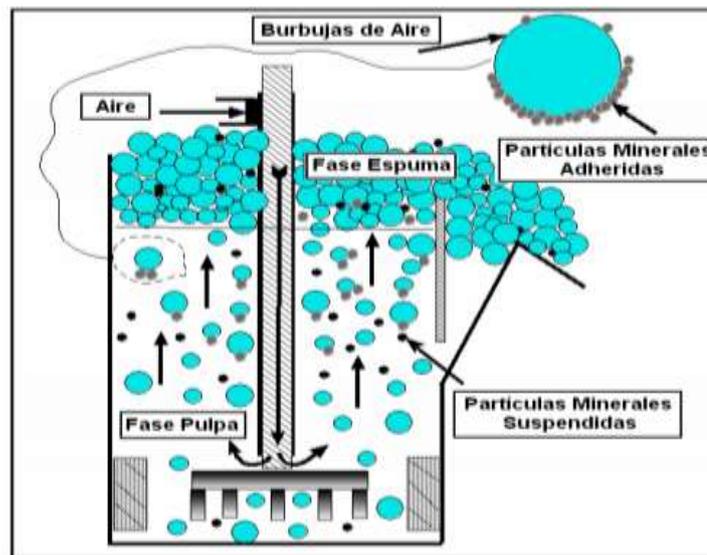
1.2.2.1. Flotación

La flotación por espuma es un proceso complicado que es difícil establecer un modelo general para la recuperación de minerales¹⁸, es una técnica de separación convencional que se emplea para recuperar minerales valiosos a partir de minerales extraídos de la explotación minera¹⁹, en la flotación la separación se produce mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a las burbujas de aire, típicamente el mineral se muele para dar una suspensión

acuosa de partículas grandes que son principalmente minerales no deseados mezclados con una pequeña cantidad de las partículas minerales deseadas²⁰.

La concentración por flotación depende principalmente de la diferencia de las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de partículas minerales²¹, en el proceso se realiza un tratamiento químico de la pulpa del mineral con el objetivo que se adhieran las partículas minerales a las burbujas de aire, así el agregado burbuja-partícula asciende a través de una pulpa²² como se observa en la ilustración 3.

Ilustración 3 Esquema del proceso de flotación



Fuente. Tomado de²¹

La clave en el proceso de flotación, es decir la unión de partículas de burbujas están determinados por las competencias entre las fuerzas de Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) y la fuerza hidrófoba, las fuerzas de DLVO estabilizan una película acuosa en la superficie de las partículas y dificultan la unión mientras que las fuerzas hidrófobas desestabilizan la película y favorecen la formación de líneas de contacto trifásicas²³.

Existen tres mecanismos principales por los cuales las burbujas pueden ayudar a los sólidos suspendidos a ser elevados a la superficie: (1) Adhesión de una burbuja de gas a una fase suspendida o sólida, (2) Atrapamiento de una burbuja de gas en una estructura de flóculo a medida que aumenta la burbuja de gas, (3) Adsorción de burbujas de gas en una estructura de flóculo, a medida que se forma la estructura de flóculo²⁴. También es importante controlar la velocidad de rebose de la espuma de cada banco, generalmente se realiza mediante PID²⁵.

En ocasiones la flotación no cumple con todos los requisitos industriales, debido a factores como el tamaño de partícula del mineral, el arrastre de agua y la oxidación de la superficie¹⁹.

1.2.3. Variables del proceso de flotación

Las variables más usadas en el proceso de flotación son:

- **Tipo de reactivos:** Los reactivos se logran agrupar en colectores, espuma y modificadores. El procedimiento depende de la elección del mejor método de reactivo.
- **Dosis de reactivo:** La medida de reactivos que se requiere en el proceso depende de las pruebas metalúrgicas fundamentales y el interés económico en la evaluación de los insumos²⁶.
- **Densidad de la pulpa:** Existe una proporción de sólidos óptimos para el procedimiento que afecta el tiempo de residencia del mineral en los circuitos²⁷.
- **Aireación:** Incrementa o retarda la flotación en función a la recuperación o la ley.
- **Regulación de pH:** La flotación depende del pH, particularmente con respecto a la flotación selectiva.
- **Tiempo de residencia:** Depende de la energía de flotación de la cinética de acción de reactivos de los minerales, el volumen de las celdas, el nivel de sólidos de pulpa en las celdas.

1.2.4. Tipos de flotación de espuma

1.2.4.1. Flotación Bulk

En esta flotación llamada también flotación gruesa o colectiva, los minerales con alto valor económico se flotan conjuntamente formando un concentrado, se realiza en una sola etapa con un pH superior a 7 a temperatura ambiente²⁸.

1.2.4.2. Flotación Selectiva

También llamada flotación diferencial, en este proceso de flotación los minerales son flotados en circuitos dispuestos para obtener por separado el mineral valioso²⁹.

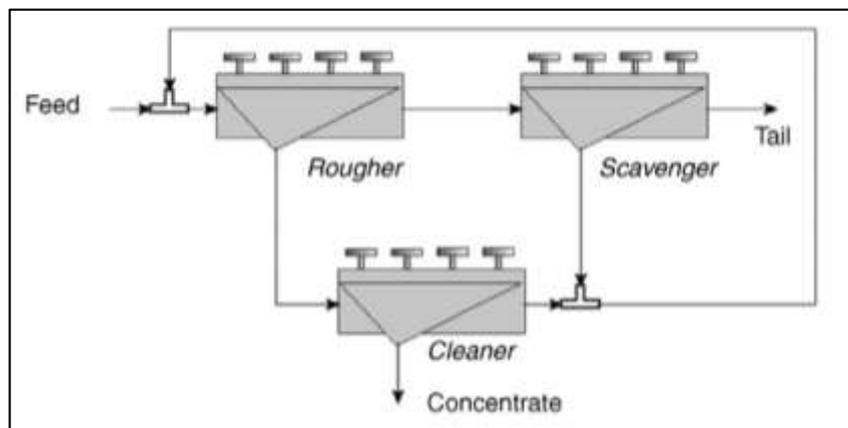
1.2.5. Circuitos de flotación

La separación completa de los minerales de valor de la ganga es imposible que pase, por lo tanto, se diseñan celdas de flotación conectadas en serie como un banco de celdas para mejorar la eficiencia de separación del mineral de interés³⁰, cada banco (que puede ser una sola celda) se distingue por su propósito general, y se conocen como:

- **Rougher:** Es la primera etapa de la flotación, que trata la alimentación del circuito de molienda, donde se recuperará la mayor parte del material valioso.
- **Scavenger:** En esta etapa se tratan las colas provenientes de la etapa rougher, aquí la recuperación se maximiza antes de desechar los relaves.
- **Cleaner:** Esta etapa corresponde a limpieza de los concentrados de la etapa rougher para reducir la cantidad de ganga en el producto, los relaves de las celdas Cleaner contienen una cantidad significativa de minerales de valor y por lo tanto se envían a las celdas rougher.

Un circuito de flotación por espuma, consta de etapas Rougher, Scavenger y Cleaner, el diseño y disposición de las celdas de flotación en las diferentes etapas determina el rendimiento general del circuito de flotación.

Ilustración 4 Esquema de un circuito de flotación con tratamiento intermedio.



Fuente. Tomado de³¹

1.2.6. Reactivos utilizados para la flotación

Son reactivos químicos que corresponden a sustancias orgánicas e inorgánicas, y son la parte más importante en el proceso de flotación porque promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo³², los productos químicos más utilizados son los activadores, colectores, espumantes y depresores.

1.2.6.1. Activadores

Son compuestos inorgánicos que aumenta la absorción del colector con la superficie del mineral³³, mejoran el rendimiento de la flotación de minerales de valor modificando la superficie de las partículas para hacerlas susceptibles a la adsorción por parte de los colectores³⁴.

El uso de un activador selectivo en la flotación puede significar una mejora en las diferencias de la flotabilidad entre minerales de interés y la ganga³⁵. Según²⁶ los activadores que se usan frecuente en el proceso de flotación de minerales son los siguientes:

- Sulfato de cobre que sirve para activar a la esfalerita.
- Nitrato de plomo utilizado para reactivar sulfuros de cobre.
- Sulfuro de hidrogeno disminuye plata, oro, cobre y fierro en ausencia de molibdenita.

1.2.6.2. Colectores

Son reactivos que se utilizan para adsorberse específicamente en las superficies de las partículas³⁶. La mayoría de los colectores son ácidos, bases o sales, son heteropolares y tienen dos extremos funcionales, uno iónico, que pueden asimilarse en la superficie del mineral, puede ser por respuesta química de mezcla con las partículas de la superficie del mineral (adsorción química) o por apreciación electrostática del exterior del mineral (adsorción física), y por otro lado una cadena orgánica que le da la superficie hidrofóbica al mineral³⁷.

1.2.6.3. Espumantes

Son compuestos heteropolares de superficie activa que reducen la tensión superficial del agua y poseen la capacidad de absorberse en la interfaz de burbuja aire-agua con un grupo polar que da la solubilidad en agua y un grupo hidrocarbonado no polar.

La fijación de partículas hidrofóbicas de las burbujas depende de cuánto aumenta la fase líquida, la resistencia de las películas de la burbuja, es el aumento del tamaño de la burbuja, es la tensión superficial, el pH es otro factor que afecta la efectividad del espumante³⁸.

1.2.6.4. Depresores

Son reactivos que dificultan la absorción del mineral por el colector y por lo tanto impiden la flotación, una cualidad de los depresores es que mejoran la selectividad del mineral de interés al evitar la flotación de minerales no deseados, actuando como una barrera para la adsorción del colector sobre la superficie de los minerales no flotantes y la unión de las burbujas de aire³⁹. Los depresores más usados en el proceso de flotación son²⁶:

- El cianuro de sodio, es un dispersante fuerte de sulfuro. Piritas, pirrotita, arsenopirita y esfalerita.

- La cal, disminuye flotabilidad de la pirita, la galena, el zinc, se puede usar como cal hidratada o como óxido de calcio
- Dicromato, disminuye a la galena.
- Silicato de sodio, utilizado para disminuir la sílice.
- Hidróxido de sodio, deprime partículas de sales solubles.

El exceso y defecto de los reactivos de flotación se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Acción de los reactivos de flotación

RESPUESTA AL PROCESO DE FLOTACIÓN		
Reactivos	Exceso de reactivo	Defecto del reactivo
Aeropromoter 404	Ocasionan el incremento de adicción de cal, cianuro de sodio, sulfato de zinc.	
XANTATO (Amílico de potasio)	Z6 Decae drásticamente selectividad	la Los sulfuros valiosos se pasan al relave
Aceite de pino	Incremento innecesario	Muy baja la columna de espuma
Cal	Se eleva el pH	Baja el Ph
Regula pH, deprime pirita	Se debilitan las espumas	Se espesa la espuma
	Aumenta el consumo de colectores	Flota pirita
Sulfato de cobre ($CuSO_4$)	Se incrementa el consumo de cal.	
Reactiva los sulfuros de zinc	Se espesan las espumas y se ensucian con pirita	

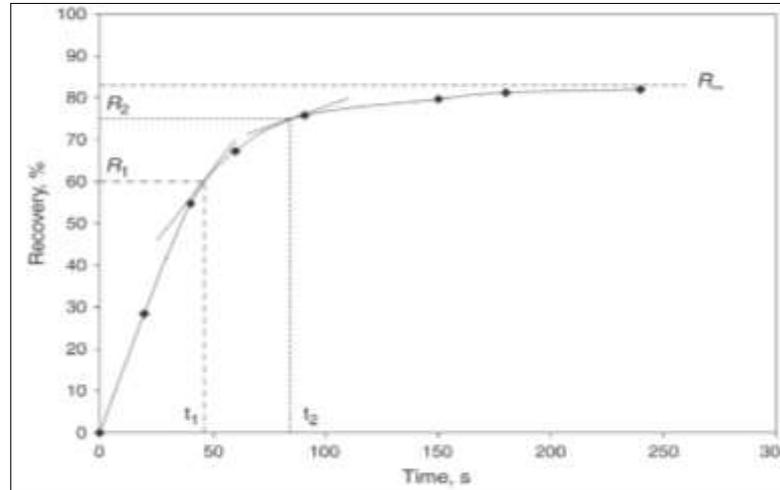
Fuente. Elaboración propia

1.2.7. Cinética de flotación

El concentrado obtenido de una celda de flotación por lotes cambia de carácter con el tiempo a medida que las partículas que flotan cambian de tamaño, grado y cantidad. Del mismo modo el concentrado de las últimas celdas en un banco continuo es diferente del que se eliminó de las celdas anteriores. Las partículas del mismo mineral flotan a diferentes

velocidades debido a las diferentes características de las partículas y las condiciones de las celdas³¹. La curva de una prueba de flotación batch de recuperación vs tiempo se representa en la ilustración 4.

Ilustración 5 Curva de una prueba de flotación por lotes, % de recuperación vs tiempo



Fuente. Tomado de³⁸

Donde R_∞ , corresponde a recuperación máxima del mineral en un tiempo de flotación prolongado, R representa la recuperación del mineral en un determinado tiempo, el uso de modelos cinéticos de flotación analiza el comportamiento del mineral de gran interés para optimizar el proceso de flotación y mejorar el índice de separación de minerales⁴⁰.

Muchas pruebas de flotación establecen que la flotación sigue una cinética de primer orden con $n=1$, para describir el proceso, este modelo considera el proceso de flotación en una celda de flotación como una reacción entre burbujas y partículas en un reactor químico³⁰, debido a que el flujo de aire durante el proceso es constante, la velocidad de flotación depende de las partículas sólidas y depende linealmente de su concentración⁴¹, el modelo se representa por la ecuación diferencial.

$$-\frac{dC_p}{dt} = kC_p \quad (1)$$

Integrando la ecuación

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -kt \quad (2)$$

Donde:

C_t = concentración de partículas en un tiempo (t)

C_o = Concentración inicial

k = Constante de flotación

t = Tiempo de flotación

La constante de velocidad de flotación es necesaria para ampliar las unidades de flotación a escala industrial a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio. Esta constante también ofrece una forma de evaluar y predecir el rendimiento⁴².

La recuperación es el índice metalúrgico que determina la calidad del proceso de flotación del mineral⁴³, la que se puede expresar en función de la concentración, mediante la siguiente ecuación.

$$R = \frac{C_o - C_t}{C_o} \quad (3)$$

O también

$$R = \frac{x_C(x_F - x_R)}{x_F(x_C - x_R)} \quad (4)$$

Donde:

x_C = concentración del mineral en el concentrado

x_F = concentración del mineral en la alimentación

x_R = concentración del mineral en el relave

Finalmente, el modelo clásico de flotación se puede expresar en función de la recuperación del mineral de interés, con la siguiente ecuación.

$$\ln(1 - R) = -kt \quad (5)$$

Como no es posible obtener un 100% de recuperación del mineral en sistemas de flotación real, se modifica el modelo clásico que incluye un parámetro de recuperación máxima R_∞ , que representa la recuperación máxima después de un tiempo de flotación prolongado⁴¹.

$$\ln \left(1 - \frac{R}{R_{\infty}} \right) = -kt \quad (6)$$

Modelo de segundo orden

$$\frac{1}{R} = \frac{kR_{\infty}^2}{R} + \frac{t}{R_{\infty}} \quad (7)$$

1.2.8. Flotación de los minerales de Pb y Zn

Debido a los diferentes tipos y variedades de minerales de Pb y Zn sus propiedades de flotación varían, la esfalerita se deprime con sulfato de zinc ($ZnSO_4$) antes de la flotación preferencial de otros minerales de sulfuro con excelente flotabilidad. En el procesamiento posterior, la activación de la esfalerita deprimida con $ZnSO_4$ es necesaria para la recuperación máxima de los recursos de zinc⁴⁴, por eso se deben emplear diferentes esquemas de reactivos, por ejemplo, la tabla muestra el efecto del cianuro en flotación de galena.

Tabla 2 Efecto del nivel de cianuro en la flotación de galena

Ore grade and reserves of the most important lead-zinc sedimentary deposits						
Deposit	Tonnage (m/t)	Assays (% g/t)				Host gangue
		Pb	Zn	Ag	Cu	
Likak, USA	22	3.0	8.8	55	—	Carbonaceous shale or chert
Red Dog, USA	87	5.0	16.5	72	—	Carbonaceous shale
Cirque, Canada	33	2.0	8.0	57	—	Carbonaceous shale, chert
Faro DY, Canada	20	5.7	7.0	87	0.1	Carbonaceous shale
Faro Grum, Canada	40	4.0	7.0	65	0.1	Carbonaceous shale
Faro Vangorda, Canada	8	3.0	5.0	56	0.1	Carbonaceous shale
Sullivan, Canada	170	5.8	55	59	—	Carbonaceous shale
Navan, Ireland	70	2.6	10	33	—	Carbonate
Tara Mines, Ireland	60	3.0	8.0	66	—	Carbonate
Meggen, Germany	60	1.3	10	1.5	0.2	Carbonaceous shale
El Aguilar, Argentina	50	6.5	8.5	150	0.1	Shale, schist
Bleikvassali, Norway	8	2.5	42	—	0.2	Gneiss
Koushk, Iran	10	6.0	12.0	—	—	Carbonaceous shale
Broken Hill, S.Africa	87	3.6	1.8	48	—	Carbonaceous shale
HYC, Australia	190	4.1	9.5	40	—	Gneiss
Dugal River, Australia	40	2.0	12.0	37	—	Carbonate
Mount Isa, Australia	90	7.0	6.0	160	—	Carbonaceous shale
Lady Loretta, Australia	40	8.0	14.0	110	—	Carbonaceous shale
Hilton, Australia	40	8.0	10.0	180	—	Carbonaceous shale

Fuente. Tomado de⁴⁵

Sin embargo, existe otros minerales que flotan a un pH elevado, los minerales bajos de pirita responden bien a la flotación usando el esquema de reactivo simple¹⁰. Otros minerales flotan a un pH de 8.3 y en pulpa 40% por lo tanto deben adicionarse con el $ZnSO_4$ y el NaCN para reducir las partículas de pirita y escalerita³⁷.

En la flotación de Zn se efectúa el acondicionamiento de la pulpa con el propósito de cambiar la superficie de los minerales de zinc, estos se encuentran asociados a minerales de pirita²⁷. Los relaves como los concentrados deben tener un pH de 12 para que disminuya la concentración en la solución de iones metálicos³⁷.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Materiales y métodos

2.1.1. *Materiales*

- Vasos de precipitación de 100 ml, 250 ml, 1000 ml
- Cubetas plásticas
- Jeringas
- Probeta de 1000 ml
- Pipetas volumétricas
- Agitador
- Matraz aforado de 25, 50, 100, 250, 500, 1000 ml
- Tubos de ensayo de 10 ml
- Porta tubos de ensayo
- Bandejas metálicas
- Espátulas
- Piseta
- Embudo

2.1.2. *Reactivos*

- Cal
- Hipoclorito de Sodio al 1%
- Peróxido de Hidrógeno al 1%
- Sulfato de cobre al 1%
- Frother-350
- Ditiofostato 404/(DT-404) al 1%
- Xantato Amílico de Potasio Z-6 al 1%
- Aceite de pino
- Estándar de Plomo y Zinc
- Ácido Nítrico al 68%

2.1.3. *Equipos*

- Cocineta
- Balanza analítica OHAUS

- Balanza analítica RADWAG
- Equipo de absorción atómica PerkinElmer AAnalysst 400
- Cámara de gases
- Celda de flotación tipo Denver
- Compresor

2.2. Ubicación de investigación

La presente investigación se realizó en los meses de octubre de 2019 a febrero del 2020 en el Laboratorio Metalúrgico de la sociedad civil minera “Goldmins” ubicado en el cantón Zaruma.

2.3. Caracterización de las muestras de relaves

2.3.1. Caracterización Física

2.3.1.1. Densidad Real

La densidad del material es solo la proporción de la masa del material sobre su volumen³. El procedimiento para calcular la densidad real se detalla a continuación:

- Se pesó el picnómetro sin humedad.
- Se pesó 1 gr de muestra del material y se colocó dentro del picnómetro.
- Se llenó con agua destilada el picnómetro colocando el tapón y retirando el exceso de agua y se registró el peso.
- Se aforó el picnómetro con agua destilada y se pesó.

La densidad real se calcula mediante la fórmula:

$$Dr = \frac{d_w(w_s - w_a)}{(w_s - w_a) - (w_{sw} - w_w)} \left(\frac{g}{ml} \right) \quad (8)$$

Donde:

Dr = Densidad real (g/ml)

d_w = Densidad del agua (g/ml)

w_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

w_a = Masa del picnómetro vacío (g)

w_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

w_w = Masa del picnómetro con agua (g)

2.3.1.2. Densidad Aparente

Para calcular la densidad aparente utilizamos la técnica de la probeta.

- Se eliminó la humedad de una probeta graduada de 50 ml y se registró su peso.
- Se agregó la muestra del relave en la probeta hasta llegar a los 20 ml y se registró su peso.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{W_{pr+m} - W_{pr}}{20 \text{ ml}} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}} \right) \quad (9)$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/ml)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

2.3.1.3. Potencial de Hidrógeno (pH)

Para medir el pH se recolectó la muestra directamente de la cola de la flotación y se tomó la lectura con las bandas indicadoras de pH.

2.3.1.4. Granulometría

En la prueba de granulometría las muestras fueron pasadas por tamices de #35 (850 um) #60 (500 um) #100 (150um) #140 (106 um) #200 (75 um), luego se secó el relave y se peso 300 gr de material y se registró el peso obtenido por cada malla.

2.4. Caracterización química

2.4.1. Barrido ICP

Las muestras de relaves se obtuvieron en el mes de octubre utilizando un muestreo aleatorio simple, posteriormente las muestras se enviaron al laboratorio Alex Stewart (Internacional) ubicada en la ciudad de Lima-Perú.

2.5. Obtención de las muestras para la cinética de flotación

Las muestras para la cinética de flotación fueron obtenidas en los meses de noviembre, diciembre del 2019 y enero del 2020, fueron recogidas en los turnos de día-tarde-noche que se encontraron en el Laboratorio Metalúrgico de la sociedad civil mineral “Goldmins”.

2.6. Análisis de la ley de relaves

En la cinética de flotación de los metales plomo y zinc se procedió a analizar la ley de las muestras obtenidas de los turnos día-tarde-noche mediante análisis vía húmeda.

Se pesó 0.25 gr de muestra, se agregó 20 ml de ácido nítrico, se calentó y se realizó la digestión acida en la cámara de gases, la solución se aforo en un balón del 100 ml y se realizó la lectura en el equipo de absorción atómica.

2.7. Diseño experimental

Para realizar las ensayos de flotación se utilizaron los activadores (NaClO , H_2O_2 , CuSO_4), los colectores (Z-6, DT-404), al 1 % y los espumantes (aceite de pino y Frother-350), al 100%, la concentración de pulpa fue del 30%, la velocidad de agitación fue de 900 rpm, el diseño se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Diseño del experimento

CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN				
Dosificación de Reactivos				
Exp	% Sol. Pulpa	Activador	Colector	Espumante
1	30	NaClO (6 ml)	404 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
2	30	NaClO (6 ml)	Z-6 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
3	30	H_2O_2 (6 ml)	404 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
4	30	H_2O_2 (6 ml)	Z-6 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
5	30	CuSO_4 (6 ml)	404 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
6	30	CuSO_4 (6 ml)	Z-6 (5 ml)	Ac pino (0.4 ml)
7	30	NaClO (6 ml)	404 (5 ml)	350 (0.4 ml)
8	30	NaClO (6 ml)	Z-6 (5 ml)	350 (0.4 ml)
9	30	H_2O_2 (6 ml)	404 (5 ml)	350 (0.4 ml)

Tabla 3 (continuación)

10	30	H ₂ O ₂ (6 ml)	Z-6(5 ml)	350 (0.4 ml)
11	30	CuSO ₄ (6 ml)	404 (5 ml)	350 (0.4 ml)
12	30	CuSO ₄ (6 ml)	Z-6 (5 ml)	350 (0.4 ml)

Fuente. Elaboración propia

2.8. Ensayos de flotación

Los parámetros iniciales para la flotación del relave fueron las siguientes:

- Celda tipo Denver capacidad 3 L
- Peso de la muestra seca 900 gr
- pH 11
- Colector: DT-404 y Z6 (5 ml)
- Espumantes: Aceite de pino y Frother-350 (0.4 ml)
- Activadores: NaClO, H₂O₂, CuSO₄ (6 ml)
- Tiempo de acondicionamiento (3 min)
- Tiempo de flotación (5 min)
- Velocidad de agitación: 900 rpm.

Procedimiento

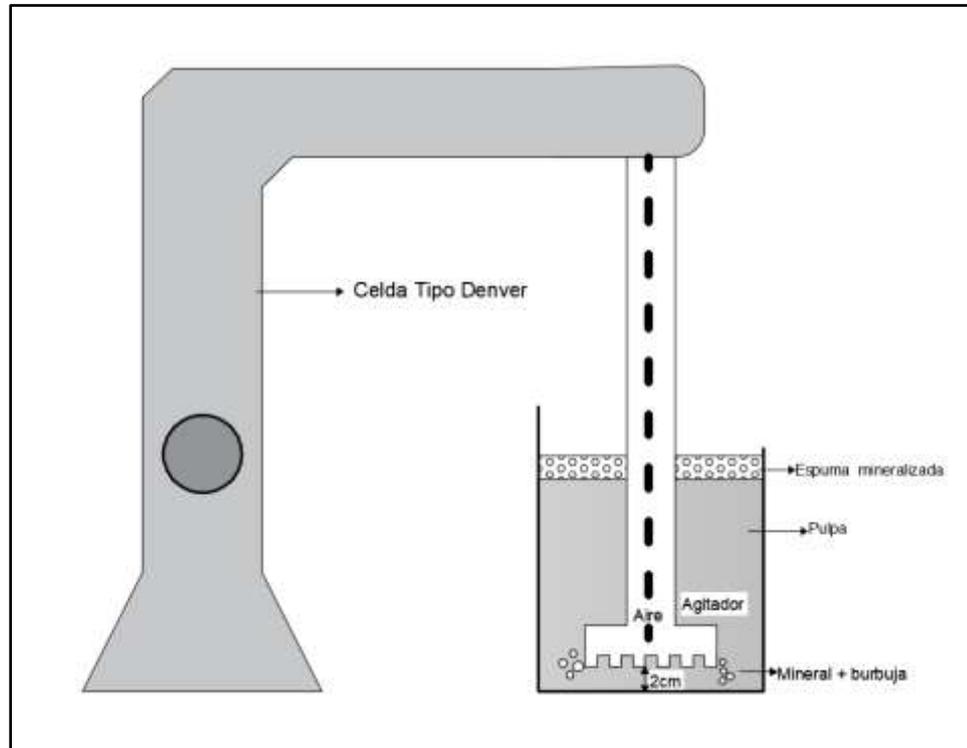
- Se pesó 900 gr de muestra, y se le adiciono 2100 ml de agua.
- Se sometió la pulpa un acondicionamiento de 3 min.
- Se agregó 6 ml de activador y se acondicionó por 3 min.
- Se agregó 5 ml de colector y se acondicionó por 3 min.
- Se agregó (3 gr de cal) y se esperó 1 min y se midió pH.
- Se agregó 0.4 ml de espumantes y se acondiciono por 3 min.
- Se inyectó aire al proceso de flotación una vez que la espuma empezó a desbordarse se recolectó el concentrado con una paleta de forma manual por 5 min.
- El concentrado se secó y se procedió hacer el análisis por vía húmeda para determinar el porcentaje de plomo–zinc

2.9. Prueba de flotación

Las pruebas de flotación se realizaron en una celda tipo DENVER con una capacidad de 3 lt, la agitación se realizó a 900 rpm, la densidad de la pulpa fue de 30% p/p, la dosificación de

los activadores (NaClO , H_2O_2 , CuSO_4) fueron de 6 ml, 5 ml para los colectores (Ditiofostato 440/(DT-404), Xantato Amilico de Potasio Z-6) y se agregó 0.4 ml de aceite de pino y Frother-350 el diagrama de funcionamiento de la celda se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 6 Esquema de la celda de flotación tipo DENVER



Fuente. Elaboración propia

2.10. Cinética de flotación

Para la construcción de la cinética de flotación se procedió a realizar una prueba de flotación con las condiciones experimentales descritas en la sección 2.8-2.9, para las pruebas de flotación el tiempo fue de 7 min tomando muestra de los concentrados en intervalos de 1 min.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Características físicas

El relave se caracterizó de acuerdo a lo descrito en la sección 2.3, donde se determinó la densidad real, densidad aparente, pH y d80, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Características Físicas del Relave

Densidad Real	2.57 g/ml
Densidad Aparente	1.18 g/ml
pH	7
d80	635 um

Fuente. Elaboración propia

3.2 Características químicas

La caracterización del mineral que ingresa al proceso de flotación se realizó mediante el método de multielementos ICP los resultados se observan en la tabla 5. El resultado completo se muestra en anexo 5.

Tabla 5 Resultado del análisis multielemento ICP

MÉTODO	ELEMENTO	CONCENTRACIÓN
ASA-I 60993	Ag	23.3 ppm
ASA-I 60993	Al	1.37 %
ASA-I 60993	As	120 ppm
ASA-I 60993	Ba	30 ppm
ASA-I 60993	Bi	9 ppm
ASA-I 60993	Ca	0,36 %
ASA-I 60993	Cd	19 ppm
ASA-I 60993	Co	29 ppm
ASA-I 60993	Cr	26 ppm
ASA-I 60993	Cu	6211 ppm
ASA-I 60993	Fe	>2.00 %
ASA-I 60993	Ga	7 ppm
ASA-I 60993	Hg	<1 ppm
ASA-I 60993	In	<1 ppm
ASA-I 60993	K	0.03 %
ASA-I 60993	La	2 ppm
ASA-I 60993	Li	11 ppm
ASA-I 60993	Mg	0.79 %
ASA-I 60993	Mn	1116 ppm
ASA-I 60993	Mo	4 ppm
ASA-I 60993	Na	0.01 %

Tabla 5 (continuación)

ASA-I 60993	Ni	8 ppm
ASA-I 60993	P	214 ppm
ASA-I 60993	Pb	1045 ppm
ASA-I 60993	S	>2.00 %
ASA-I 60993	Sb	12ppm
ASA-I 60993	Se	<1 ppm
ASA-I 60993	Sn	<2 ppm
ASA-I 60993	Sr	5 ppm
ASA-I 60993	Te	6 ppm
ASA-I 60993	Ti	0.03 %
ASA-I 60993	Tl	<2 ppm
ASA-I 60993	V	24 ppm
ASA-I 60993	W	<2 ppm
ASA-I 60993	Zn	1833 ppm
ASA-I 60993	Zr	1 ppm

Fuente. Elaboración propia

La caracterización para las pruebas de flotación se lo realizó mediante el método de vía húmeda descrita en la sección 2.6, los resultados se observan la tabla 6.

Tabla 6 Concentración de Pb y Zn de la muestra para las pruebas de flotación

Elemento	Ley (%)
Pb	0,925
Zn	0,675

Fuente. Elaboración propia

3.3 Ensayos de flotación

Las pruebas preliminares se realizaron usando los activadores NaClO, H₂O₂, CuSO₄ según la investigación realizada⁴⁶, se usaron dos colectores Ditiofostato 404/(DT-404), Xantato Amfílico de Potasio Z-6 con los espumantes Frother-350 y aceite de pino, los resultados de las condiciones preliminares de las pruebas de flotación se muestran en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados preliminares de las pruebas de flotación

CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN						
E.	Dosificación de Reactivos			Espumante	Recuperación	
	% Sol. Pulpa	Activador	Colec tor		Zn	Pb
1	30	NaClO	404	Ac de pino	46%	95%
2	30	NaClO	Z6	Ac de pino	88%	81%

Tabla 7 (continuación)

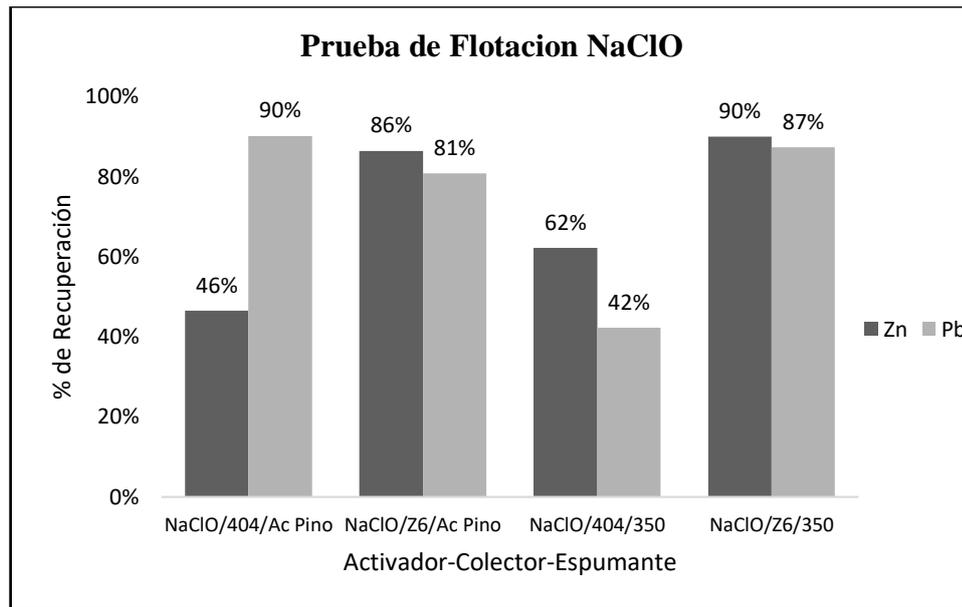
3	30	NaClO	404	350	62%	42%
4	30	NaClO	Z6	350	94%	89%
5	30	H ₂ O ₂	404	Ac de pino	46%	53%
6	30	H ₂ O ₂	Z6	Ac de pino	55%	43%
7	30	H ₂ O ₂	404	350	59%	56%
8	30	H ₂ O ₂	Z6	350	86%	70%
9	30	CuSO ₄	404	Ac de pino	75%	58%
10	30	CuSO ₄	Z6	Ac de pino	91%	82%
11	30	CuSO ₄	404	350	80%	90%
12	30	CuSO ₄	Z6	350	83%	78%

Fuente. Elaboración propia

3.3.1 Ensayos de flotación con el activador NaClO

En los ensayos 1-4, se utilizó NaClO como activador, el Ditiofostato 404/(DT-404), Xantato Amilico de Potasio Z-6 como colectores, aceite de pino y Frother-350 como espumantes, los resultados se muestran en la gráfico 1 donde la mezcla de NaClO con DT-404 alcanza la mayor recuperación para Pb mientras que la mezcla del NaClO con Z-6 alcanza la mayor recuperación para el Zn.

Gráfico 1 Porcentaje de Recuperación del activador NaClO



Fuente. Elaboración propia

En el gráfico 1 muestra el resultado de la recuperación de zinc que alcanza el 90% y para Pb es del 87%, para el esquema de reactivos (NaClO, Z – 6, 350) esto se atribuye al hecho de que el NaClO inhibe la adsorción de cianuro por la conversión de cianuro en cianato, esto se demuestra en la siguiente reacción.



Si el cianuro no se convierte completamente en ion cianato, la oxidación de los iones de azufre seguirá efectuándose.



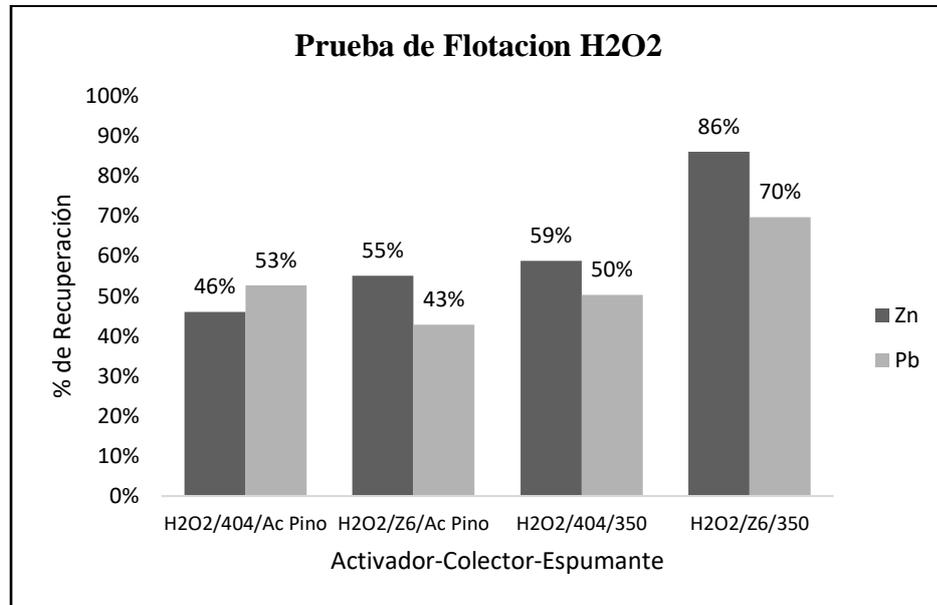
Esto demuestra que el NaClO tiene una mayor capacidad para oxidar. Por lo tanto, se puede deducir que el hipoclorito destruye los cianuros y posteriormente ataca los sulfuros.

3.3.2 Ensayos de flotación con el activado H_2O_2

En los ensayos 5-8, se utilizó H_2O_2 como activador, el Ditiofostato440/(DT-404), Xantato Amílico de Potasio Z-6 y los espumantes Frother-350 y aceite de pino, los resultados se

muestran en la gráfica 2 donde el esquema de H_2O_2 , Z-6 y 350 alcanza la mayor recuperación para Pb y Zn.

Gráfico 2 Porcentaje de Recuperación del activador H_2O_2



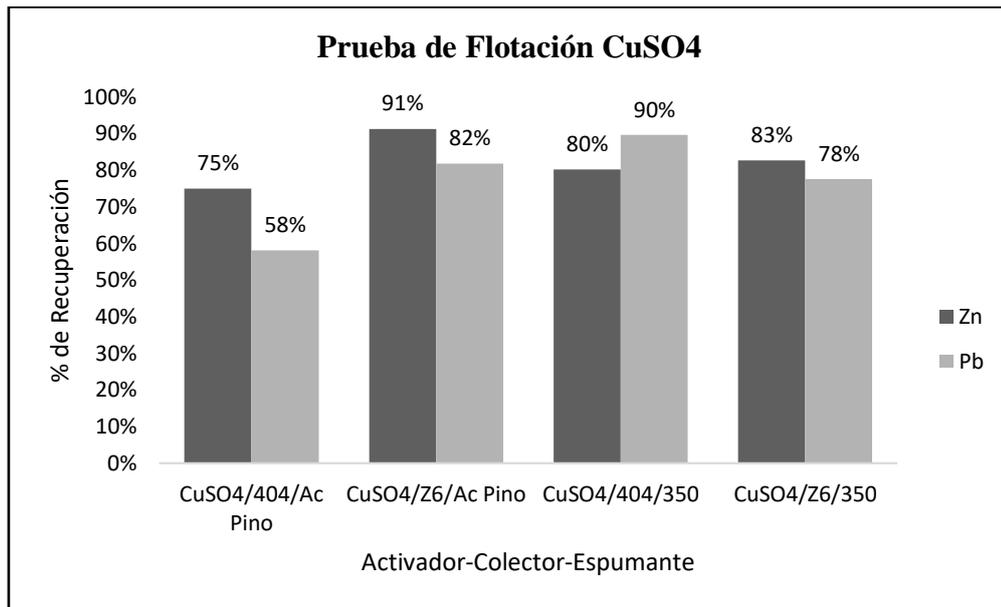
Fuente. Elaboración propia

En el gráfico 2 muestran los resultados de la recuperación de Zn que alcanza un 86% y 70% para Pb usando el esquema de reactivos H_2O_2 /Z6/350, se puede inferir que en las mismas condiciones de flotación el H_2O_2 tiene una menor capacidad oxidante.

3.3.3 Ensayos de flotación con el activador $CuSO_4$

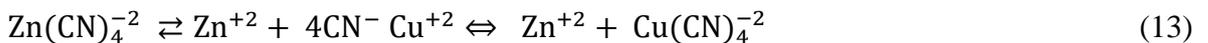
En los ensayos 9-12, se utilizó $CuSO_4$ como activador, Ditiostato404/(DT-404) y Xantato Amílico de Potasio Z-6, los espumantes aceite de pino y Frother-350, los resultados se muestran en la gráfico 3 donde la mezcla de $CuSO_4$ con Z-6 alcanza la mayor recuperación para Pb mientras que la mezcla del $CuSO_4$ con Z-6 y aceite de pino alcanza la mayor recuperación para Zn.

Gráfico 3 Porcentaje de Recuperación del activador CuSO_4



Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 3 muestran una recuperación de 91% para Zn y 82% para Pb usando el esquema de reactivos $\text{CuSO}_4/\text{Z6}/\text{aceite de pino}$, según⁴⁶ los iones de cobre en la solución de sulfato de cobre pueden reaccionar preferentemente con CN, formando un complejo de cobre según la siguiente reacción.



Debido a la absorción de iones de cobre libres en superficies frescas, las especies de sulfuro de cobre en la superficie forman y activan los minerales de Pb, Zn.

De acuerdo con los resultados de las pruebas preliminares de flotación se observa que el colector DT-404 incrementa la recuperación para Pb y el colector Z-6 incrementa la recuperación para Zn, por esta razón se procedió a realizar más pruebas de flotación utilizando un complejo de DT-404 y Z-6.

3.3.4 Pruebas de flotación para el Zn utilizando un complejo DT-404 y Z-6 como colectores.

En las pruebas de flotación para el Zn se utilizaron los activadores NaClO , H_2O_2 , CuSO_4 el complejo de colectores DT-404 y Z-6 y los espumantes Frother-350 y aceite de pino, los resultados se observan en la tabla 8.

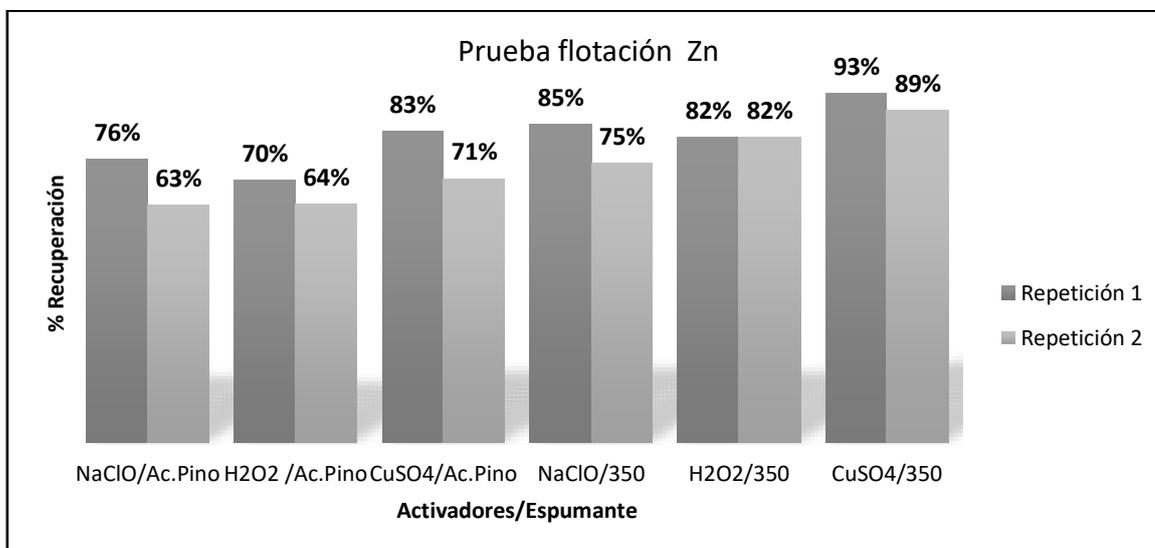
Tabla 8 Resultados de las pruebas de flotación para el Zn utilizando el complejo 404/Z-6

CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN					
Ensayo	Dosificación de Reactivos			Recuperación (%)	
	% Sol. Pulpa	Activador-Espumante	Colector	Zn	
				Rep.1	Rep.2
13-14	30	<i>NaClO</i> -ac. pino	404/Z-6	76	63
15-16	30	<i>H₂O₂</i> -ac. pino	404/Z-6	70	64
17-18	30	<i>CuSO₄</i> -ac. pino	404/Z-6	83	71
19-20	30	<i>NaClO</i> -350	404/Z-6	85	75
21-22	30	<i>H₂O₂</i> -350	404/Z-6	81	82
23-24	30	<i>CuSO₄</i> -350	404/Z-6	93	89

Fuente. Elaboración propia

La gráfica 4 muestra los porcentajes de recuperación de Zn del ensayo 13-24 donde el activador $CuSO_4$ alcanza una mayor recuperación para Zn debido a la absorción de iones libres en las superficies fresca lo que forman y activan al mineral.

Gráfico 4 Porcentaje de Recuperación del Zn



Fuente. Elaboración propia

3.3.5 *Pruebas de flotación para el Pb utilizando un complejo DT-404 y Z-6 como colectores.*

En las pruebas de flotación para el Pb se utilizaron los activadores NaClO, H₂O₂, CuSO₄, el complejo de colectores DT-404 y Z-6 y los espumantes Frother-350 y aceite de pino, los resultados se muestran en la tabla 9.

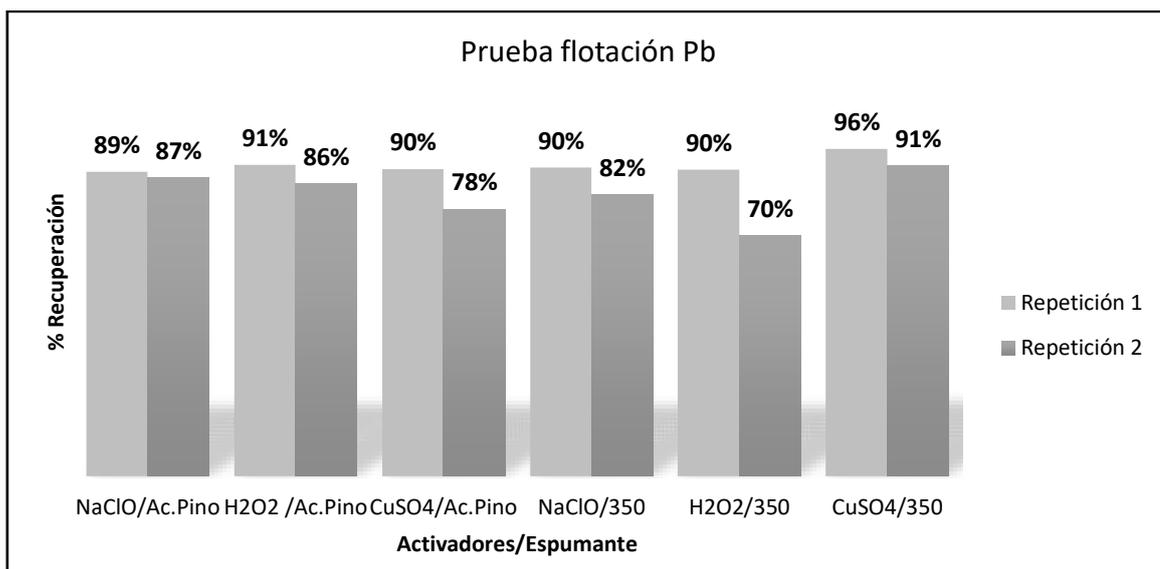
Tabla 9 Resultados de las pruebas de flotación para el Pb utilizando el complejo 404/Z-6

CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN					
Dosificación de Reactivos				Recuperación (%)	
Exp.	% Sol. Pulpa	Activador-Espumante	Colector	Pb	
				Rep. 1	Rep. 2
25-26	30	NaClO-ac. pino	404/Z-6	89	87
27-28	30	H ₂ O ₂ -ac. pino	404/Z-6	91	86
29-30	30	CuSO ₄ – ac. pino	404/Z-6	90	78
31-32	30	NaClO – 350	404/Z-6	90	82
33-34	30	H ₂ O ₂ – 350	404/Z-6	90	70
35-36	30	CuSO ₄ – 350	404/Z-6	96	91

Fuente. Elaboración propia

La gráfica 5 muestra los porcentajes de recuperación de Pb para las repeticiones 1 y 2 donde el activador CuSO₄ desarrolla una mayor recuperación.

Gráfico 5 Porcentaje de Recuperación de Pb



Fuente. Elaboración propia

Con los resultados obtenidos utilizando el complejo (DT-404 y Z-6), como se muestran en las gráficas 4-5 (89% - 96% para Zn y 91%-96% para Pb, para las repeticiones 1 y 2), el activador que alcanza la mayor recuperación es el CuSO_4 en combinación con el espumante Frother-350 que desarrolla una mayor estabilidad de la espuma.

3.3.6 Determinación de la cinética de recuperación de plomo y zinc en los relaves mediante el proceso de flotación

La tabla 10 muestra los resultados de la repetición 1-2 de la recuperación de Pb y Zn con respecto al tiempo de flotación.

Tabla 10 Recuperación acumulado de Pb y Zn

Tiempo	Repetición 1		Repetición 2	
	% Recuperación		% Recuperación	
	Pb	Zn	Pb	Zn
0	0%	0%	0%	0%
1	37,71%	22,96%	31,64%	18,24%
2	44,54%	30,44%	42,44%	32,98%
3	68,16%	42,70%	58,46%	47,49%

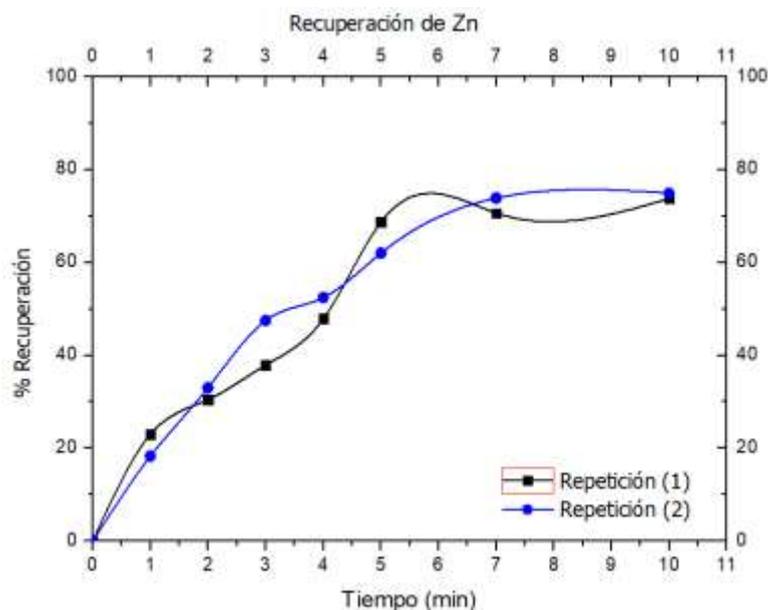
Tabla 10 (continuación)

4	73,47%	54,94%	66,44%	52,46%
5	76,59%	68,08%	77,66%	63,18%
6	82,19%	70,66%	82,29%	72,29%
7	83,52%	73,78%	82,83%	74,95%

Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 6 se muestra los porcentajes de recuperación para Zn, donde a medida que aumenta el tiempo de flotación se obtiene un porcentaje de recuperación de 73,78% para la repetición 1 y 74,95% para la repetición 2.

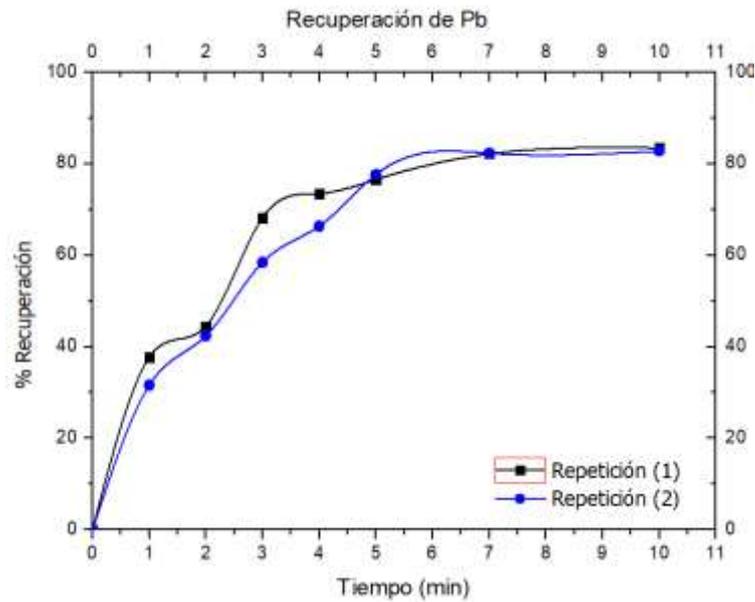
Gráfico 6 Recuperación de Zn con respecto al tiempo



Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 7 se muestra los porcentajes de recuperación para Pb, donde a medida que aumenta el tiempo de flotación se obtiene un porcentaje de recuperación de 83,52% para la repetición 1 y 82,83% para la repetición 2.

Gráfico 7 Recuperación de Pb con respecto al tiempo



Fuente. Elaboración propia

3.3.6.1 Modelo clásico de Cinética

En la tabla 11 se muestra los valores de $\ln(1 - R)$ para la obtención de la constante de flotación de acuerdo al modelo clásico de cinética.

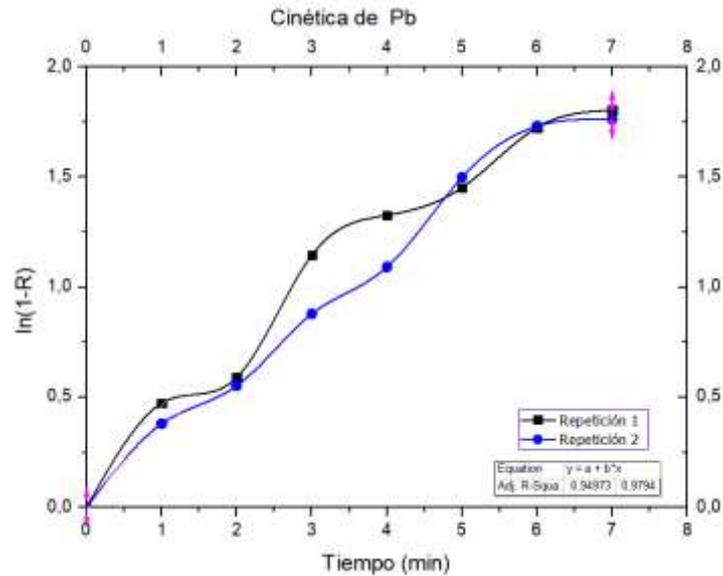
Tabla 11 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función al modelo clásico de flotación

CINÉTICA (CuSO ₄)	Repeticion 1		Repeticion 2	
	Ln (1 - R)		Ln (1 - R)	
Tiempo	Pb	Zn	Pb	Zn
0	0	0	0	0
1	0,473	0,261	0,380	0,201
2	0,590	0,363	0,552	0,400
3	1,145	0,557	0,879	0,644
4	1,327	0,797	1,092	0,743
5	1,452	1,142	1,499	0,999
6	1,725	1,226	1,731	1,283
7	1,803	1,339	1,762	1,384

Fuente. Elaboración propia

El gráfico 8 muestra las curvas del modelo clásico de flotación para la obtención de la constante del Pb para las repeticiones 1 y 2.

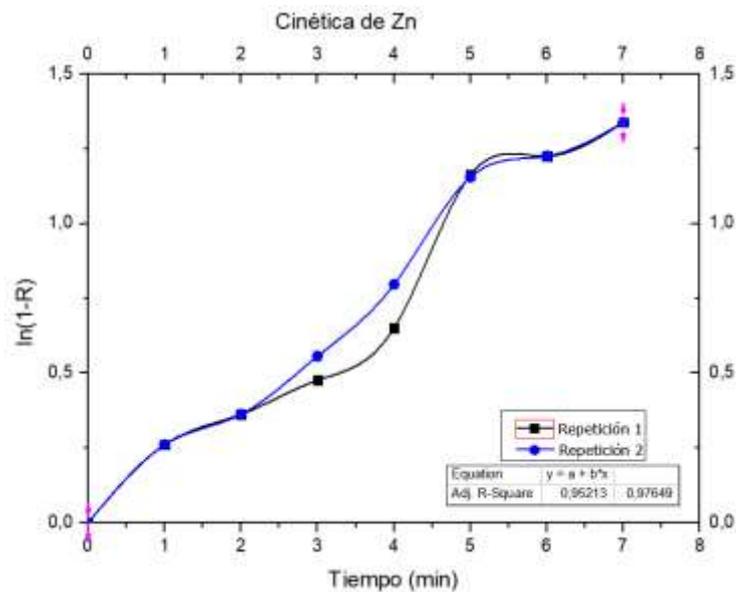
Gráfico 8 Curvas del modelo clásico de cinética de Pb para las repeticiones 1 y 2



Fuente. Elaboración propia

El gráfico 9 muestra las curvas del modelo clásico de flotación para la obtención de la constante del Zn para las repeticiones 1 y 2.

Gráfico 9 Curvas del modelo clásico de cinética de Zn para las repeticiones 1 y 2



Fuente. Elaboración propia

3.3.6.2 Modelo de cinética en función de la recuperación máxima

La tabla 12 muestra los resultados de $-\ln(1-(R/R_o))$ para la obtención de la curva de flotación de Pb y Zn para las repeticiones 1 y 2.

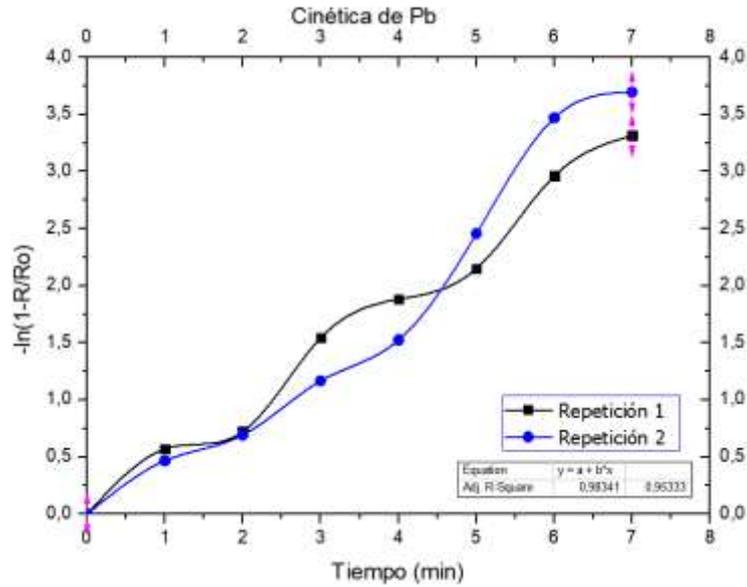
Tabla 12 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral

Tiempo	Repeticion 1		Repeticion 2	
	$-\ln(1-(R/R_o))$		$-\ln(1-(R/R_o))$	
	Pb	Zn	Pb	Zn
0	0	0	0	0
1	0,57	0,32	0,47	0,25
2	0,72	0,45	0,69	0,50
3	1,54	0,70	1,17	0,84
4	1,88	1,05	1,52	0,98
5	2,15	1,64	2,46	1,40
6	2,96	1,81	3,47	1,99
7	3,31	2,07	3,70	2,25

Fuente. Elaboración propia

El gráfico 10 muestra las curvas del modelo flotación en función a la recuperación máxima para la obtención de la curva del Pb para las repeticiones 1 y 2.

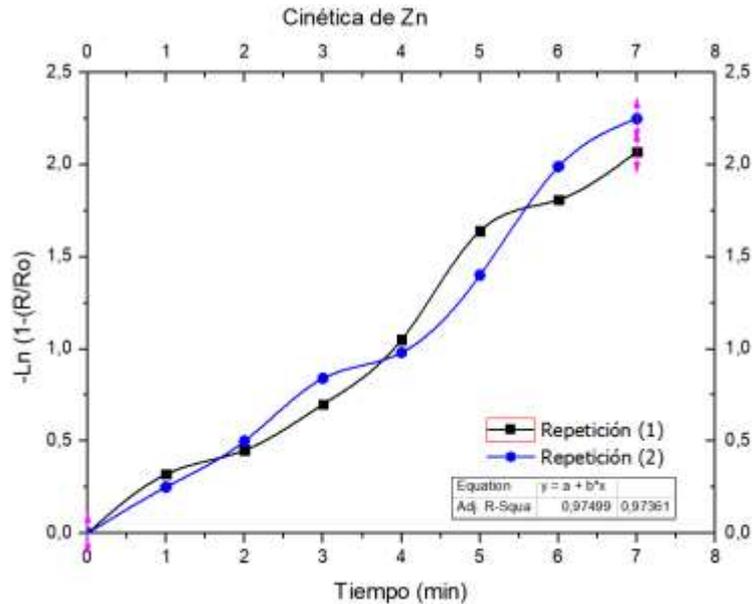
Gráfico 10 Curvas de cinética del Pb para repetición 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral



Fuente. Elaboración propia

El gráfico 11 muestra las curvas del modelo flotación en función a la recuperación máxima para la obtención de la constante del Zn para las repeticiones 1 y 2.

Gráfico 11 Curvas de cinética del Zn para repetición 1-2 en función a la recuperación máxima del mineral.



Fuente. Elaboración propia

3.3.6.3 Modelo de cinética de segundo orden

La tabla 13 muestra los resultados de $\left(\frac{R}{R_{\infty}(R_{\infty}-R)}\right)$ para la obtención de la constante de flotación de Pb y Zn para las repeticiones 1 y 2.

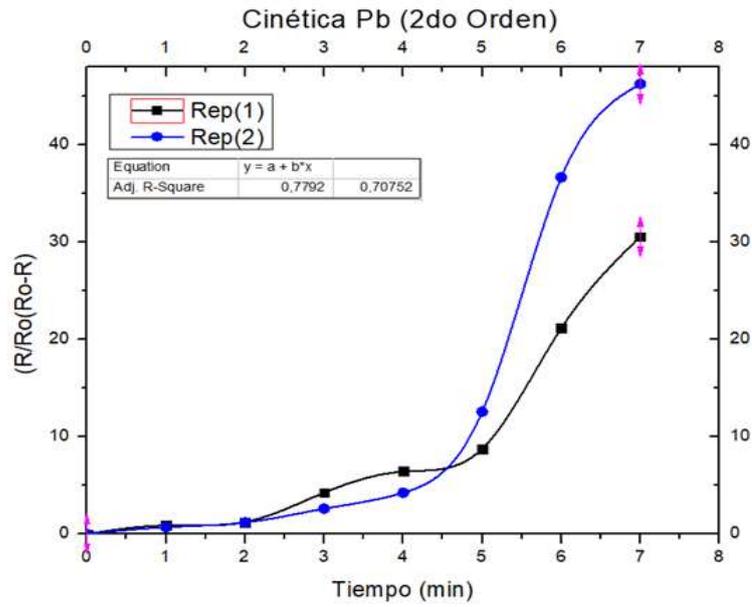
Tabla 13 Resultados de las pruebas de Cinética de Pb-Zn para las repeticiones 1-2 en función al modelo de segundo orden

Tiempo	Repetición 1		Repetición 2	
	$\left(\frac{R}{R_{\infty}(R_{\infty}-R)}\right)$		$\left(\frac{R}{R_{\infty}(R_{\infty}-R)}\right)$	
	Pb	Zn	Pb	Zn
0	0	0	0	0
1	0,889	0,442	0,699	0,332
2	1,220	0,668	1,176	0,774
3	4,250	0,966	2,600	1,561
4	6,423	1,551	4,229	1,997
5	8,763	5,195	12,563	3,401
6	21,161	6,075	36,661	8,883
7	30,564	8,195	46,258	10,107

Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 12 se muestra las curvas de cinética de segundo orden $\left(\frac{R}{R_{\infty}(R_{\infty}-R)}\right)$ frente al tiempo del Pb, para las repeticiones 1 y 2.

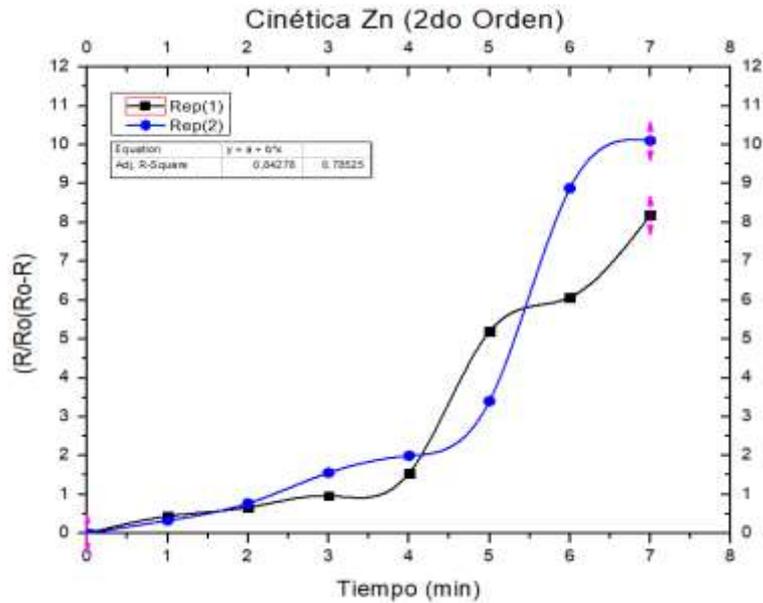
Gráfico 12 Cinética de flotación para Pb en función del modelo de segundo orden



Fuente. Elaboración propia

En la gráfica 13 se muestra las curvas de cinética de segundo orden $\left(\frac{R}{R_{\infty}(R_{\infty}-R)}\right)$ frente al tiempo del Zn, para las repeticiones 1 y 2.

Gráfico 13 Cinética de flotación para Zn en función del modelo de segundo orden



Fuente. Elaboración propia

El modelo de cinética clásico en el ajuste lineal para Zn muestra una R^2 0.95213 para la repetición 1 y 0.97649 para la repetición 2, para Pb la R^2 0.94973 para la repetición 1 y 0.9794 para la repetición 2. El modelo de cinética en función a la recuperación máxima el ajuste lineal para Pb muestra una R^2 0.98341 para la repetición 1 y 0.95333 para la repetición 2. El modelo de segundo orden, en el ajuste lineal para Pb muestra una R^2 0.7792 para la repetición 1 y 0.70752 para la repetición 2, para Zn su ajuste lineal muestra una R^2 0.84275 para la repetición 1 y 0.78525 para la repetición 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el modelo que mejor se ajusta para la flotación de Pb y Zn es el modelo clásico y en función a la recuperación máxima, que corresponde a una cinética de primer orden con $n = 1$.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

- En la caracterización de los relaves de sociedad civil minera “Goldmins” mediante barrido multielemento ICP, se determinó la presencia de metales como Pb, Zn, Mn que se encuentran en mayor proporción con respecto a los demás elementos.
- Mediante las pruebas de flotación se determinó que el esquema de reactivos $CuSO_4$, Xantato Amílico de Potasio Z-6, Ditiostato/404 y Frother-350 alcanza una mayor recuperación de plomo-zinc.
- El hipoclorito de sodio, el peróxido de hidrógeno, y el sulfato de cobre son activadores efectivos, pero con el sulfato de cobre se alcanza una mayor recuperación debido a que puede romper los enlaces de zinc-cianuro deprimidos por oxidación o adsorción iónica, permitiendo una mayor activación del Zn.
- En la determinación de cinética de flotación para Pb y Zn los modelos que mejor se ajusta es el modelo clásico y el modelo en función de la recuperación máxima, con un R^2 superior a 0.94, mientras que el modelo de segundo orden, la linealidad del R^2 varía constantemente por ende el modelo de cinética de flotación para Pb y Zn es una cinética de primer orden ($n=1$).

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de flotación para Pb-Zn, a nivel de planta para determinar los costos-beneficio, de acuerdo a los parámetros obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio.
- Crear un depósito para la acumulación de las colas de flotación cuando la ley de Pb-Zn sean altas.
- Realizar pruebas de flotación tomando en cuenta parámetros como densidad de pulpa, granulometría del mineral y la velocidad de agitación para la flotación colectiva para Pb-Zn

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Gordillo Gonzales, M. Biodegradación de Cianuro En Aguas y Suelos Contaminados Por La Minería de Oro, Fundación Universidad de América, 2018.
- (2) Gabarrón, M.; Zornoza, R.; Acosta, J. A.; Faz, Á.; Martínez-Martínez, S. Mining Environments. In *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*; Elsevier Inc., 2019; Vol. 4, pp 157–205. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2019.07.003>.
- (3) Brito Quezada, C.; Fajardo Llivicura, C. Análisis de Alternativas Para La Concentración Gravimétrica de Cu y Ag En Relaves de Flotación, Universidad de Azuay, 2019.
- (4) Oviedo Anchundia, R.; Moina Quimí, E.; Naranjo Morán, J.; Barcos Arias, M. Contaminación Por Metales Pesados En El Sur Del Ecuador Asociada a La Actividad Minera. *Rev. Bionatura Support. Sustain. Dev. Goals* **2017**, 2 (4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>.
- (5) Campusano, L. V.; Zazzali, B.; Chamorro, J.; Santander, M. Desulfuración de Relave Mediante La Flotación de Sulfuros de Hierro. *Holos* **2015**, 7, 124. <https://doi.org/10.15628/holos.2015.3773>.
- (6) Pierwoła, J.; Magiera, T.; Szuszkiewicz, M.; Cabala, J.; Jochymczyk, K. Integrated Geophysical and Geochemical Methods Applied for Recognition of Acid Waste Drainage (AWD) from Zn-Pb Post-Flotation Tailing Pile (Olkusz, Southern Poland). *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08195-4>.
- (7) Moslemi, H.; Gharabaghi, M. A Review on Electrochemical Behavior of Pyrite in the Froth Flotation Process. *J. Ind. Eng. Chem.* **2017**, 47, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.12.012>.
- (8) Luo, X.; Feng, B.; Wong, C.; Miao, J.; Ma, B.; Zhou, H. The Critical Importance of Pulp Concentration on the Flotation of Galena from a Low Grade Lead-Zinc Ore. *J. Mater. Res. Technol.* **2016**, 5 (2), 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.10.002>.
- (9) Tao, M.; Zhang, X.; Wang, S.; Cao, W.; Jiang, Y. Life Cycle Assessment on Lead–Zinc Ore Mining and Beneficiation in China. *J. Clean. Prod.* **2019**, 237, 117833. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117833>.
- (10) Bulatovic, S. M. Flotation of Lead – Zinc Ores. In *Handbook of Flotation Reagents*; 2007; pp 323–366. <https://doi.org/10.1016/B978-044453029-5/50023-X>.

- (11) Londoño Franco, L. F.; Londoño Muñoz, P. T.; Muñoz Garcia, F. G. Los Riesgos de Los Metales Pesados En La Salud Humana y Animal. *Biotechnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial* **2016**, *14* (2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153).
- (12) Aquino Robles, C. Evaluación Metalúrgica a Los Minerales de Diferentes Zonas Para La Recuperación Del Cobre, Plomo y Zinc En Huaron de Pan American Silver S . A ., Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018.
- (13) Boldyrev, M. Lead: Properties, History, and Applications. *WikiJournal Sci.* **2018**, *1* (2), 7. <https://doi.org/10.15347/wjs/2018.007>.
- (14) Asadi, T.; Azizi, A.; Lee, J. C.; Jahani, M. Leaching of Zinc from a Lead-Zinc Flotation Tailing Sample Using Ferric Sulphate and Sulfuric Acid Media. *J. Environ. Chem. Eng.* **2017**, *5* (5), 4769–4775. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.005>.
- (15) Sanz-Robinson, J.; Williams-Jones, A. E. Zinc Solubility, Speciation and Deposition: A Role for Liquid Hydrocarbons as Ore Fluids for Mississippi Valley Type Zn-Pb Deposits. *Chem. Geol.* **2019**, *520* (April), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.05.002>.
- (16) Wang, H.; Wen, S.; Han, G.; Feng, Q. Effect of Copper Ions on Surface Properties of ZnSO₄-Depressed Sphalerite and Its Response to Flotation. *Sep. Purif. Technol.* **2019**, *228* (July), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115756>.
- (17) Goodwin, F. E. Zinc Compounds. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*; 2017; pp 1–13. <https://doi.org/10.1002/0471238961.2609140307151504.a02.pub3>.
- (18) Ai, M.; Xie, Y.; Xie, S.; Zhang, J.; Gui, W. Fuzzy Association Rule-Based Set-Point Adaptive Optimization and Control for the Flotation Process. *Neural Comput. Appl.* **2020**, *1*. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04801-1>.
- (19) Chen, Y.; Truong, V. N. T.; Bu, X.; Xie, G. A Review of Effects and Applications of Ultrasound in Mineral Flotation. *Ultrason. Sonochem.* **2020**, *60* (May 2019), 104739. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104739>.
- (20) Abarca, C.; Ali, M. M.; Pelton, R. H. Choosing Mineral Flotation Collectors from Large Nanoparticle Libraries. *J. Colloid Interface Sci.* **2018**, *516*, 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.01.080>.
- (21) Lobos, L. Evaluación Del Uso de NaSH En El Circuito de Flotación Selectiva de Molibdeno de Los Pelambres, Universidad de Chile, 2015.
- (22) Gutierrez, L. S. Estudio Del Tratamiento de Minerales Sulfurados Auríferos Mediante

Procesos Secuenciales de Flotación, Lixiviación Alcalina, Biolixiviación y Cianuración Para La Recuperación de Oro., Uninersidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017.

- (23) Xing, Y.; Xu, M.; Gui, X.; Cao, Y.; Rudolph, M.; Butt, H. J.; Kappl, M. The Role of Surface Forces in Mineral Flotation. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* **2019**, *44*, 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2019.11.005>.
- (24) Kyzas, G. Z.; Lazaridis, N. K.; Matis, K. A. Flotation: Recent Innovations in an Interesting and Effective Separation Process. In *Advanced Low-Cost Separation Techniques in Interface Science*; Elsevier, 2019; Vol. 30, pp 15–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814178-6.00002-9>.
- (25) Troncoso, G.; Su, A. Control Del Nivel de Pulpa En Un Circuito de Flotacion Utilizando Una Estrategia de Control Predictivo. *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.* **2017**, *14*, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.04.003>.
- (26) Vera Davila, C. Evaluación Del Efecto de Nuevos Reactivos Colectores y Depresores Para Mejorar La Recuperación Del Proceso de Flotación En Los Circuitos de Plomo y Zinc de La Planta Concentradora Antonio Raymondi, Universidad Nacional de San Agustín, 2019.
- (27) Villegas Quispe, E. Evaluación Metalúrgica a Los Minerales Sulfurados Para La Recuperación de Plomo, Zinc En La Minera Azulcocha En Yauyos - Lima - 2019 TESIS, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019.
- (28) Romero Bonilla, H. I.; Romero Sagbay, D. A.; Redrovan Pesantez, F. F. Efecto De La Variación De Los Colectores Z6, 404 Y 1208 En La Flotación a Granel De Pirita Y Arsenopirita Aurífera. *Rev. Boliv. Química* **2019**, *2* (36.2), 73–82. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.2>.
- (29) Ramos Huillca, J.; Ticona Luna, A. Determinación Estadística de Los Parámetros Óptimos Para La Obtención de Concentrado de Cobre Utilizando Cemento Como Depresor En La Etapa de Separación Plomo – Cobre de La Flotación Diferencial de Un Mineral Polimetálico, Universidad Nacional de San Agustín, 2014.
- (30) Hu, W. Flotation Circuit Optimisation and Design, Imperial College London, 2014.
- (31) Gupta, A.; Yan, D. Flotation. In *Mineral Processing Design and Operations - 2nd Edition*; 2016; pp 689–740. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63589-1/00018-6>.
- (32) Colqui, José A. Evaluación Del Colector PQ-6293 En La Flotación de Minerales Sulfurados de Plomo – Plata En La Empresa Buenaventura Unidad Mallay 2017, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2017.

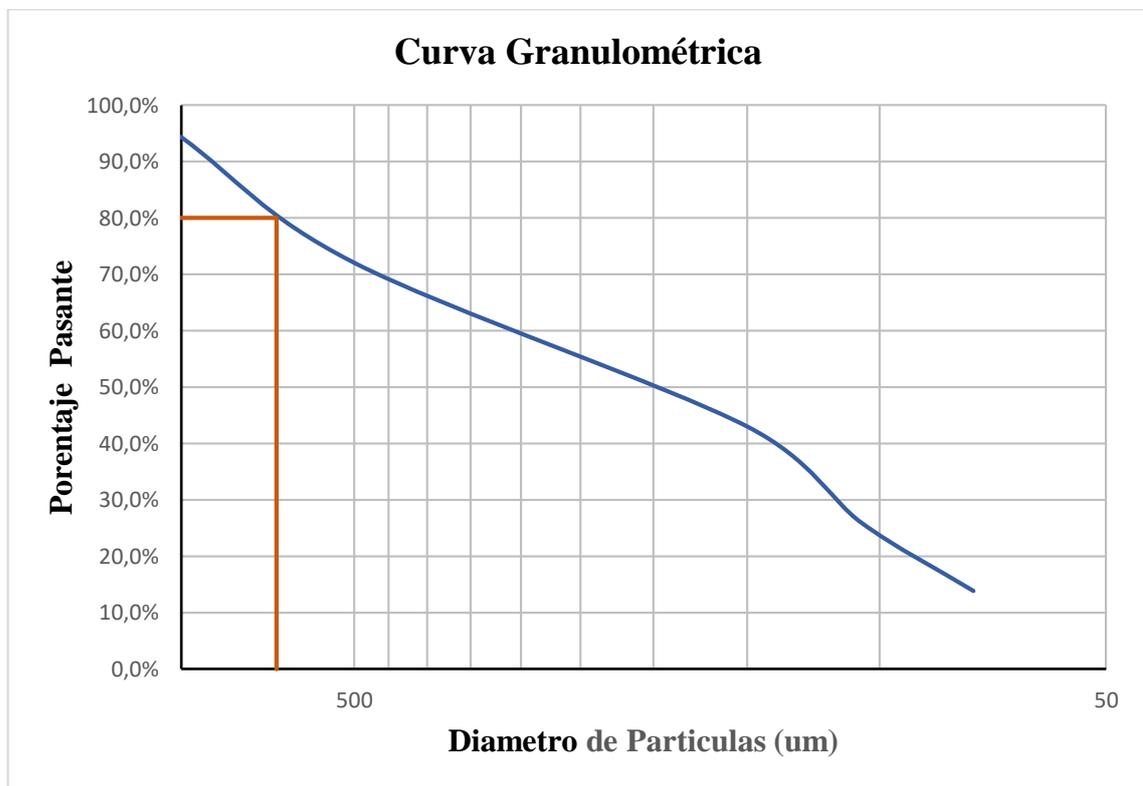
- (33) Moya Rodríguez, R. Diseño de Una Planta de Concentración Por Flotación de Calcopirita Con Depresores Biodegradables de Pirita, Escuela politécnica nacional, 2014.
- (34) Sibanda, V.; Khan, R.; Danha, G. The Effect of Chemical Reagents on Flotation Performance of a Pentlandite Ore: An Attainable Region Approach. *Powder Technol.* **2019**, 352, 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.04.062>.
- (35) Cai, J.; Deng, J.; Wen, S.; Zhang, Y.; Wu, D.; Luo, H.; Cheng, G. Surface Modification and Flotation Improvement of Ilmenite by Using Sodium Hypochlorite as Oxidant and Activator. *J. Mater. Res. Technol.* **2020**, No. x x, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.031>.
- (36) Sánchez, J. L.; Ricapa, C. D. Flotación Sin La Adición de Colector En El Beneficio de Minerales Sulfurados de Plomo y Zinc En La Planta Concentradora “José Picasso Peralta” Caudalosa Grande Corporación Minera Castrovirreyña S.A, Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013.
- (37) Marroquin, M. W. Estudio Técnico de La Separación En La Flotación Selectiva de Plomo-Cobre En La U.M Yauliyacu, Empresa Minera Los Quenuales, Universidad Nacional de Sna Agustín, 2013.
- (38) Bulatovic, S. M. *Flotation of Sulfide Ores: Chemistry, Theory and Practice*, 10th ed.; Elsevier Science & Technology Books, 2007. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53082-0.00023-8>.
- (39) Gupta, N. Evaluation of Graphite Depressants in a Poly-Metallic Sulfide Flotation Circuit. *Int. J. Min. Sci. Technol.* **2017**, 27 (2), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.01.008>.
- (40) Zhang, X.; Han, Y.; Gao, P.; Li, Y.; Sun, Y. Effects of Particle Size and Ferric Hydroxo Complex Produced by Different Grinding Media on the Flotation Kinetics of Pyrite. *Powder Technol.* **2020**, 360, 1028–1036. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.014>.
- (41) Guerrero-Pérez, J. S.; Barraza-Burgos, J. M. A New Mathematical Model for Coal Flotation Kinetics. *DYNA* **2017**, 84 (203), 143–149. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.62593>.
- (42) Casta, C. A.; Gutiérrez, A.; Torem, M. Evaluation of Hematite and Quartz Flotation Kinetics Using Surfactant Produced by *Rhodococcus Erythropolis* as Bioreagent. *Min. Mineração* **2019**, 72 (4), 655–659. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672018720162>.

- (43) Bustamante-Rúa, M. O.; Daza-Aragón, A. J.; Bustamante-Baena, P.; Osorio- Botero, J. D. Recovery Evaluation of P₂O₅ through Three Models of Froth Flotation of Phosphoric Rock. *Bol. Ciencias la Tierra* **2019**, *45*, 41–46. <https://doi.org/10.15446/rbct.n45.72354>.
- (44) Wang, H.; Wen, S.; Han, G.; Xu, L.; Feng, Q. Activation Mechanism of Lead Ions in the Flotation of Sphalerite Depressed with Zinc Sulfate. *Miner. Eng.* **2020**, *146* (August 2019), 106132. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106132>.
- (45) Önal, G.; Bulut, G.; Gül, A.; Kangal, O.; Perek, K. T.; Arslan, F. Flotation of Aladağ Oxide Lead-Zinc Ores. *Miner. Eng.* **2005**, *18* (2 SPEC. ISS.), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.018>.
- (46) Yang, X.; Huang, X.; Qiu, T. Recovery of Zinc from Cyanide Tailings by Flotation. *Miner. Eng.* **2015**, *84*, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.10.003>.

ANEXOS

Tamiz malla #	Abertura Um	Peso retenido	% Retenido	%Retenido acumulado	%Pasante acumulado
35	850	15,88	5,6%	5,6%	94,4%
60	500	79,12	27,9%	27,9%	72,1%
100	150	82,3	29,1%	57,0%	43,0%
140	106	48,04	17,0%	73,9%	26,1%
200	75	34,6	12,2%	86,1%	13,9%
fondo	0	39,24	13,9%	100,0%	0,0%
70		283,3	100,0%		

Anexo 1 resultado del análisis granulométrico del relave



Anexo 2 Determinación del d80



Anexo 3 Toma de muestra de la relavera general de la sociedad civil minera Goldmins



Anexo 4 Recolección de muestras de relaves



**Alex Stewart
(International) del Perú S.R.L.**

**INFORME DE ENSAYO
N° 4846/LI-19**

Pág. 1 de 1

Cliente : ESTUDIANTE DE ING. QUIMICA
Dirección : Av. Raúl Frías y Venezuela, Arenillas, El Oro – Ecuador.
Producto descrito por el cliente : Mineral
Identificación de la muestra : Sin identificación
Cantidad de muestras : 01 Muestra, 200gr. Aprox.
Envase : Bolsa Plástica
Características de la muestra : Fino, Aparentemente Seco
Instrucción de análisis : Tipo Lote
Fecha de recepción : 04-11-2019
Inicio de análisis : 05-11-2019
Inicio de análisis : 13-11-2019
Nuestra referencia : Cotización N° 9910
Referencia del cliente : Sin referencia

RESULTADOS:

ASA-I	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm
60993	23.3	1.37	120	30	9	0.36	19	29	26	6211

ASA-I	Fe %	Ga ppm	Hg ppm	In ppm	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm
60993	>2.00	7	<1	<1	0.03	2	11	0.79	1116	4

ASA-I	Na %	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	S %	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Te ppm
60993	0.01	8	214	1045	>2.00	12	<1	<2	5	6

ASA-I	Ti %	Tl ppm	V ppm	W ppm	Zn ppm	Zr ppm
60993	0.03	<2	24	<2	1833	1

MÉTODO:
ASAPE Método Multi-elementos ICP

Lima, 13 de Noviembre del 2019


**Laboratorio de Inorgánica
Lic. Jesús Cándor Montenegro
CQP 653**

MPC

Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la cantidad de muestra recibida y ensayada en el laboratorio, no deben ser utilizadas como certificación de conformidad con las normas de producto o sistema de calidad.
ADVERTENCIA: La alteración parcial o total de este documento es penalizado por ley. Cualquier corrección sólo podrá ser realizada por Alex Stewart (International) del Perú S.R.L. reemplazándolo por uno nuevo.

ASA-P-T-09

Form 15-Rev(07-Jul-19)

Anexo 5 Caracterización de las muestras en el laboratorio Alex Stewart (Internacional) del Perú



Anexo 6 Determinación de la densidad aparente del relave



Anexo 7 Preparación de los reactivos



Anexo 8 Regulador de pH (cal)



Anexo 9 Celda de Flotación tipo DENVER



Anexo 10 Flotación de relaves para Pb-Zn



Anexo 11 Efecto de los Activadores en los relaves



Anexo 12 Pesado del concentrado obtenido en el proceso de flotación



Anexo 13 Digestión ácida de las muestras de flotación



Anexo 14 Lectura de las muestras en el equipo de absorción atómica