



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la cinética de flotación de oro y plata

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autores

Michel Alexander Espinoza Cajas

Guillermo Jose Salazar Morales

Asesor

M(o) Joaquin Jose Abarca Rodríguez



**JOAQUIN JOSE
ABARCA RODRIGUEZ
INGENIERO METALURGICO
Reg. CIP Nº 105833**

Huacho - Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Michel Alexander Espinoza Cajas	72002106	05 – 03 – 2026
Guillermo Jose Salazar Morales	77272239	05 – 03 – 2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Joaquín José Abarca Rodríguez	15740291	https://orcid.org/0000-0003-1004-3824
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Maximo Tomas Salcedo Meza	15602588	https://orcid.org/0000-0002-6190-3794
Helen Analí Zapata Del Solar	44067559	https://orcid.org/0000-0002-5347-6155
Crisostomo Villanueva Valdivia	42471434	https://orcid.org/0009-0007-9722-8261

Salazar Morales 2025 - 097973 Espinoza Cajas 2025 ...

Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la cinética de flotación de oro y plata

 Quick Submit

 Quick Submit

 Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3450520039

Fecha de entrega

24 dic 2025, 10:45 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

24 dic 2025, 10:51 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_ESPINOZA_CAJAS_-_SALAZAR_MORALES_1.docx

Tamaño del archivo

3.5 MB

103 páginas

20.513 palabras

116.848 caracteres



Página 2 de 109 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:3450520039

12% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

11%  Fuentes de Internet

3%  Publicaciones

7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico especialmente a mi familia, especialmente a mis padres, les agradezco profundamente su amor incondicional y su apoyo constante. Su fe en mí ha sido el motor que me permitió completar este camino. Gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Finalmente, también la dedico a mi hijo quien ha sido uno de mis mayores motivos para nunca rendirme en los estudios y en el trabajo, y lo que más quisiera en esta vida es que me vea como un ejemplo a seguir en un futuro.

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos comenzar expresando nuestros más sinceros agradecimientos a nuestro asesor de tesis, el M(o) Abarca Rodríguez Joaquín José, cuya experiencia, paciencia y apoyo constante fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su guía no solo me proporcionó claridad académica, sino también motivación en momentos de duda, y su confianza en mí me impulsó a seguir adelante y superar los desafíos.

A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, gracias por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente. Aprecié profundamente su confianza en mi trabajo y el ambiente de aprendizaje que me ofrecieron.

Finalmente, agradezco a mis colegas y colaboradores que participaron en esta investigación. Su ayuda en la recopilación de datos, revisión de mi trabajo y valiosos comentarios enriquecieron este proyecto de maneras que jamás imaginé. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo, y su colaboración fue crucial para su realización.

A todos, gracias por ser parte de este proyecto.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
INDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ANEXOS	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 Descripción de la realidad problemática.	17
1.2 Formulación del Problema.	18
1.2.1 Problema General.	18
1.2.2 Problemas Específicos.....	18
1.3 Objetivos de la Investigación	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivo Especifico	19
1.4 Justificación de la Investigación	19
1.5 Delimitación del Estudio.....	21
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes de la Investigación	23
2.1.1. Investigación Internacional.....	23
2.1.2. Investigación Nacional.....	24

2.2.	Bases Teóricas.....	26
2.2.1.	Flotación de Minerales Asociado de oro y plata.....	26
2.2.2.	Reactivos de flotación para minerales	31
2.2.3.	Cinética de Flotación de Oro y Plata	37
2.2.4.	Interacción de Ditiósfatos y Tionocarbamatos en la Flotación de Oro y Plata ...	41
2.2.5.	Aplicaciones Industriales y Estudios Previos	44
2.3.	Bases Filosóficas.....	48
2.4.	Definiciones conceptuales.....	50
2.5.	Hipótesis de la Investigación.....	52
2.5.1.	Hipótesis General.....	52
2.5.2.	Hipótesis Específicos.....	52
2.6.	Operacionalización de Variables e Indicadores.	53
CAPITULO III METODOLOGÍA		54
3.1.	Diseño Metodológico.....	54
3.2.	Población y Muestra.....	55
3.3.	Equipo, Materiales, Reactivos, Metodo, Procedimiento.....	55
3.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	59
3.5.	Técnicas para el Procesamiento de la Información.....	59
CAPITULO IV RESULTADOS.....		61
4.1.	Análsis de resultados.....	61
4.1.1.	Condiciones de pruebas experimentale.....	61
4.1.2.	Resultados de las pruebas experimentale.....	62
4.1.3.	Recuperación y calidad de concentrado de oro y plata.....	63

4.1.4.	Flotación y recuperación Au y Ag en relación de los ditiofosfatos	66
4.1.5.	Flotación y recuperación de Au y Ag en relación de los tiocarbonatos.....	69
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	73
4.2.1.	Contrastación de hipótesis general.....	73
4.2.2.	Hipótesis Específicos.....	73
CAPITULO V DISCUSIÓN.....		76
5.1.	Discusión de resultados	76
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
6.1.	Conclusiones.....	78
6.2.	Recomendaciones.....	78
CAPÍTULO V REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
5.1.	Referencias bibliográficas	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Condiciones que intervienen en la flotación de minerales	28
Figura 2	Reactivos empleados en la flotación de minerales	31
Figura 3	Factores que afectan la cinética de la flotación	39
Figura 4	Flotación de Au g/t en las 6 pruebas realizadas	64
Figura 5	Recuperación de Au en las 6 pruebas.....	64
Figura 6	Cinetica de flotación de plata en las 6 pruebas.....	65
Figura 7	Recuperación de plata de las 6 pruebas.....	65
Figura 8	Flotación de Au vs tiempo con ditiofosfatos	66
Figura 9	Recuperación de oro con ditiofosfatos	67
Figura 10	Flotación de minerales de plata con ditiofosfatos	68
Figura 11	Recuperación de plata con ditiofosfatos.....	68
Figura 12	Curva de flotación de oro con tionocarbomatos.....	69
Figura 13	Recuperación de oro con tionocarbomatos.....	70
Figura 14	Curva de flotación de plata con tionocarbomatos	71
Figura 15	Curva de recuperación de plata con tionocarbomatos	71
Figura 16	La leyes y recuperación de Au-Ag	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las variables e indicadores	53
Tabla 2	Ley de cabeza reporte laboratorio químico.....	61
Tabla 3	Reactivos empleados en las pruebas experimentales.....	61
Tabla 4	Resultados del concentrado de las 6 pruebas las leyes de Au g/t.....	62
Tabla 5	Resultado del concentrado de las 6 pruebas leyes de Ag g/t	62
Tabla 6	Recuperación de oro en las 6 pruebas realizadas.....	63
Tabla 7	Flotación de oro empleando los ditiofosfatos	66
Tabla 8	Recuperación de oro con ditiofosfatos.....	67
Tabla 9	Flotación de minerales de Ag con ditiofosfatos.....	67
Tabla 10	Recuperación de plata con ditiofosfatos	68
Tabla 11	Flotación y recuperación de oro con tiocarbomatos	69
Tabla 12	Flotación y recuperación de plata con tiocarbomatos.....	70
Tabla 13	Análisis de varianza para la ley y recuperación de Au-Ag.....	73
Tabla 14	Anova para ley de Au (g/t) en el concentrado	74
Tabla 15	Anova para la ley de Ag (g/t) en el concentrado	74
Tabla 16	Anova para los tiocarbomatos.....	75
Tabla 17	Análisis de anova para la recuperación del oro y plata en relación del tiempo	75

ANEXOS

Anexo 1 localización.....	97
Anexo 2 Instrumentos para la toma de datos	97
Anexo 3 Matriz de consistencia.....	99
Anexo 4 Balance metalurgico prueba standar P1	100
Anexo 5 Balance metalurtgico prueba A-242 P2	100
Anexo 6 Balance metalurtgico prueba MX-945 P3	101
Anexo 7 Balance metalurtgico prueba A-3926 P4	101
Anexo 8 Balance metalurtgico prueba MX-5160 P5	102
Anexo 9 Balance metalurtgico prueba A-3894 P6	102
Anexo 10 Dosis de reactivo prueba estándar P1	103
Anexo 11 Dosis de reactivo prueba A-242 P2.....	103
Anexo 12 Dosis de reactivo prueba MX-945 P3	103
Anexo 13 Dosis de reactivo prueba A-3926 P4.....	104
Anexo 14 Dosis de reactivo prueba MX-5160 P5	104
Anexo 15 Dosis de reactivo prueba A-3894 P6.....	104

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar cómo el uso de ditiofosfatos (A-242, A-3926, A-3894) y tionocarbamatos (MX-945, MX-5160) modifica la cinética de flotación, expresada en términos de la ley y la recuperación de oro y plata, en un mineral polimetálico con una ley de cabeza 1,89 g/t Au y 31,75 g/t de Ag. Se realizaron un estudio es de tipo experimental con un diseño factorial de 6 pruebas con un intervalo de muestreo de 4 tiempos (0,5; 1; 2; 4 min), en el que se trató 1 kg de muestra con una liberada 82 % pasante a la malla 200 (pH 7,3; 60 % sólidos) usando 149,9 g/t ZnSO₄, 16,39 g/t A-404, 9,8 g/t MIBC y 8,2 g/t del colector asignado. El colector A-242 registró la mayor ley de Au (16,69 g/t a 30 s) y de ley de Ag (182,14 g/t a 30 s), mientras que el colector A-3894 alcanzó las recuperaciones máximas (65,32 % Au y 58,67 % Ag a 4 min); y el colector MX-5160 mostró el mejor grado/recuperación. El análisis ANOVA reveló que el tipo de colector influye significativamente en la ley de Au ($F = 9,468$; $p = 0,00015$), efecto dominado por los ditiofosfatos ($F = 16,224$; $p = 0,00104$), pero no en la ley de Ag ni en las recuperaciones porcentuales de ambos metales. En el contraste, el tiempo de flotación resultó crítico para la recuperación, con incrementos sostenidos de Au ($F = 64,04$; $p < 10^{-9}$) y Ag ($F = 131,18$; $p < 10^{-12}$) a medida que se prolongó de 0,5 a 4 min. Se concluye que los ditiofosfatos mejoran la ley del Au, los tionocarbamatos no alteran significativamente la calidad y la recuperación depende principalmente del tiempo. Por lo tanto; la optimización debe centrarse en la combinar de dosis ajustadas de los colectores A-242 o A-3894 con etapas de flotación limpieza más cortas que preserven la ley sin comprometer la extracción.

Palabras claves: Ditiofosfatos, Tionocarbamatos, Cinética de flotación, Recuperación de oro y plata

ABSTRACT

The objective of the study was to determine how the use of dithiophosphates (A-242, A-3926, A-3894) and thionocarbamates (MX-945, MX-5160) modifies the flotation kinetics, expressed in terms of the grade and recovery of gold and silver, in a polymetallic mineral with a head grade of 1.89 g/t Au and 31.75 g/t Ag. An experimental study was conducted with a 6-test factorial design with a sampling interval of 4 times (0.5; 1; 2; 4 min), in which 1 kg of sample was treated with a liberated 82 % passing at 200 mesh (pH 7.3; 60 % solids) using 149.9 g/t ZnSO₄, 16.39 g/t A-404, 9.8 g/t MIBC and 8.2 g/t of the assigned collector. The A-242 collector recorded the highest Au grade (16.69 g/t at 30 s) and Ag grade (182.14 g/t at 30 s), while the A-3894 collector achieved the maximum recoveries (65.32 % Au and 58.67 % Ag at 4 min); and the MX-5160 collector showed the best grade/recovery. ANOVA analysis revealed that collector type significantly influenced Au grade ($F = 9.468$; $p = 0.00015$), an effect dominated by dithiophosphates ($F = 16.224$; $p = 0.00104$), but not Ag grade or percentage recoveries of both metals. In contrast, flotation time proved critical for recovery, with sustained increases in Au ($F = 64.04$; $p < 10^{-9}$) and Ag ($F = 131.18$; $p < 10^{-12}$) as it was extended from 0.5 to 4 min. It is concluded that dithiophosphates improve Au grade, thionocarbamates do not significantly alter quality and recovery is mainly time dependent. Therefore; optimization should focus on combining adjusted doses of the A-242 or A-3894 collector with shorter cleaning flotation stages that preserve the grade without compromising extraction.

Keywords: Dithiophosphates, Thionocarbamates, Flotation kinetics, gold and silver recovery.

INTRODUCCIÓN

La flotación constituye una de las operaciones que permite concentrar metales preciosos alojados en los sulfuros de las menas polimetálicas de baja ley, donde la selección de colectores determina la velocidad de adsorción y la selectividad frente a minerales estériles. Entre los reactivos más empleados destacan los ditiofosfatos, conocidos por su fuerte adsorción sobre superficies ricas en hierro y cobre, y los tionocarbamatos, que actúan como colectores secundarios capaces de mejorar la hidrofobicidad de sulfuros complejos. La literatura especializada muestra comportamientos contrastantes, algunos estudios reportan mejoras en la recuperación cuando se utilizan ditiofosfatos, mientras que otros resaltan la estabilidad y selectividad de los tionocarbamatos en sistemas con elevada presencia de pirita. Persisten, sin embargo, vacíos de los estudios sobre la manera en que ambos grupos de colectores modifican simultáneamente la cinética de flotación de los minerales de oro y plata en matrices multimetálicas reales.

La cinética de flotación definida como la evolución de un conjunto de ley del concentrado y la recuperación con el tiempo ofrece un marco cuantitativo para comparar formulaciones de colectores bajo condiciones controladas. La mayoría de los trabajos previos se centran en pruebas donde el tiempo es único o utilizan minerales puros, por lo que no se capturan la compleja interacción mineralógica y química presente en menas de Pb-Zn que contienen Au y Ag. En consecuencia, se requiere un estudio previo para ser evaluado, de forma sistemática y con base estadística, cómo los ditiofosfatos y tionocarbamatos afectan la calidad y la eficiencia de la flotación de metales preciosos cuando ambos tipos de sulfuros coexisten.

Con este propósito, la presente investigación se plantea determinar el efecto del tipo de colector (ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 y tionocarbamatos MX-945, MX-5160) y del tiempo de residencia en la celda sobre la ley y la recuperación de oro y plata en un mineral

polimetálico representa. El estudio adopta un diseño factorial y aplicará análisis de varianza (ANOVA) para establecer la significancia estadística de los factores, aportando fundamentos técnicos para optimizar la selección y dosificación de reactivos en circuitos industriales de flotación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La cinética de flotación de oro y plata ha sido objeto de numerosos estudios, particularmente en la búsqueda de alternativas menos tóxicas en comparación con los métodos tradicionales que emplean cianuro. En este sentido, el uso de reactivos alternativos como los ditiofosfatos y tionocarbamatos se ha convertido en un tema de gran interés. Según Quiroz-Aguinaga et al., se ha investigado el potencial de estos químicos para ofrecer una opción menos perjudicial para el medio ambiente en la lixiviación de metales preciosos, considerando la efectividad de la tiourea y otros agentes en la extracción de oro (Quiroz et al., 2021).

La relevancia de estos compuestos radica no solo en su habilidad para mejorar la recuperación del oro, sino también en su menor toxicidad en comparación con el cianuro, abriendo nuevas posibilidades para la óptima recuperación de metales preciosos en la minería moderna (Galvan et al., 2023). Además, la caracterización mineralógica juega un papel crucial en la eficacia de los procesos de flotación. Iriarte et al. destacan que la estructura mineral y la liberación de partículas en el proceso de flotación pueden verse influenciadas significativamente por estos agentes químicos, lo cual a su vez afecta la cinética de flotación de los minerales auríferos (Iriarte et al., 2022). El estudio revela que el conocimiento detallado de las características mineralógicas de los pórfidos de cobre, por ejemplo, permite optimizar la selección de reactivos y mejorar las tasas de recuperación en condiciones específicas (Iriarte et al., 2022). Asimismo, la revisión de Lira et al. también resalta cómo similares los ditiofosfatos y pueden ser utilizados como colectores en la flotación, ofreciendo un desempeño competitivo frente al uso tradicional de cianuro (Galvan et al., 2023). En cuanto a la implementación práctica, se requiere un profundo

entendimiento de las condiciones operativas que afectan la flotación. Reyes et al. indican que el control del pH y la concentración de colectores son variables críticas que impactan en la cinética de flotación(Reyes et al., 2021).

El desempeño de los agentes depresores, como el ajuste del pH durante la flotación sin colector, puede llegar a ser determinante en la recuperación efectiva de minerales de plata como la pirargirita, mencionando la importancia de seleccionar un medio apropiado para optimizar la separación de metales valiosos de los menos deseables(Reyes et al., 2021). Por último, Rivera et al. discuten específicamente las concentraciones de tiourea en la lixiviación de oro, sugiriendo que estas pueden ser ajustadas para maximizar la recuperación durante procesos de flotación en condiciones ácidas, indicando que esto puede tener implicaciones significativas en la sostenibilidad y la seguridad de las operaciones mineras(Rivera et al., 2023).

Debido a la búsqueda continua de métodos más sostenibles en la minería, la transición hacia el uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos representa un avance prometedor en el campo de la extracción de metales preciosos, minimizando los riesgos ambientales asociados con la minería tradicional.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General.

¿En qué medida el uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos influirá en la cinética de flotación de oro y plata?

1.2.2 Problemas Específicos.

¿En qué medida el colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata ?

¿En qué medida el colector tionocarbomatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata?

¿En qué medida el tiempo empleado en la cinética de flotación influye en la recuperación de oro y plata?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General.

Analizar el uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos como influirá en la cinética de flotación de oro y plata.

1.3.2 Objetivo Especifico

Evaluar el empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación para ver cómo influye en la calidad de oro y plata.

Evaluar el empleo de colector tionocarbomatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación para ver cómo influye en la calidad de oro y plata.

Evaluar el tiempo empleado en la cinética de flotación para ver cómo influye en la recuperación de oro y plata.

1.4 Justificación de la Investigación

La investigación realizada respecto al “uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos como colectores en la cinética de flotación de oro y plata” tiene relevancia desde múltiples perspectivas, incluyendo los aspectos teórico, metodológico, técnico, social, ambiental y económico.

Justificación Teórica: Desde un punto de vista teórico, esta investigación contribuye al desarrollo del conocimiento científico en el campo de la metalurgia extractiva y la química de superficies. La flotación es un proceso complejo que depende de las interacciones fisicoquímicas entre los minerales y los reactivos colectores. Los ditiofosfatos y tionocarbomatos son compuestos

orgánicos que presentan afinidades específicas con metales preciosos como el oro y la plata, lo que los convierte en candidatos prometedores para mejorar la selectividad y eficiencia del proceso de flotación.

Justificación Metodológica: El diseño experimental de esta investigación implica la aplicación de métodos avanzados de análisis y caracterización, lo que garantiza la validez y reproducibilidad de los resultados. Las pruebas de laboratorio controladas para evaluar la cinética de flotación bajo diferentes condiciones (pH, concentración de colector, tiempo de residencia, etc.), lo que permite establecer relaciones cuantitativas entre las variables. La cinética de flotación puede ser modelada mediante ecuaciones diferenciales o modelos empíricos, lo que facilitará la optimización del proceso y la predicción de resultados en condiciones industriales.

Justificación Técnica: Desde el punto de vista técnico, esta investigación tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia operativa en la industria minera. Los ditiofosfatos y tionocarbamatos podrían ofrecer una alternativa más efectiva y económica en comparación con los colectores tradicionales (como xantatos), reduciendo tiempos de flotación y mejorando la recuperación de oro y plata. El desarrollo de nuevos colectores podría llevar a la implementación de tecnologías más avanzadas en plantas de procesamiento mineral, lo que aumentaría la competitividad de las empresas mineras. Los resultados obtenidos en laboratorio pueden ser escalados a nivel industrial, lo que garantiza su aplicabilidad práctica.

Justificación Social: La investigación tiene un impacto positivo en la sociedad, especialmente en comunidades vinculadas a la minería y en sectores económicos relacionados. La generación de más empleos en la industria minera y sectores afines, impulsando el desarrollo socioeconómico local. La investigación también contribuye a la formación de recursos humanos

especializados en metalurgia extractiva, capacitando a profesionales que puedan liderar futuros avances en el sector.

Justificación Ambiental: El uso de ditiofosfatos y tionocarbamatos en la flotación de oro y plata puede tener beneficios ambientales significativos, especialmente en comparación con los colectores tradicionales, reduciendo el impacto ambiental asociado con el manejo y disposición de residuos químicos. La cinética de flotación, puede reducir el tiempo de operación y, el consumo de agua y energía en las plantas de procesamiento. La investigación promueve prácticas más sostenibles en la minería, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, particularmente en lo relacionado con la gestión responsable de los recursos naturales.

Justificación Económica: Desde una perspectiva económica, esta investigación tiene el potencial de generar ahorros significativos y aumentar la rentabilidad de las operaciones mineras. Los ditiofosfatos y tionocarbamatos podrían ofrecer una relación costo-beneficio superior a la de los colectores tradicionales, disminuyendo los costos asociados con la adquisición y transporte de reactivos. Una mayor eficiencia en la flotación se traduce directamente en mayores ingresos por la venta de oro y plata, lo que aumenta la rentabilidad de las operaciones mineras. La implementación de tecnologías innovadoras en la flotación podría posicionar a las empresas mineras locales como líderes en el mercado global, mejorando su competitividad frente a competidores internacionales.

1.5 Delimitación del Estudio

El presente trabajo se realizaron a nivel de laboratorio, que se encuentra en la planta concentradora Virgen del Rosario, ubicado en la distrito de Caraz, perteneciente a la provincia de Huaylas del departamento de Ancash, Perú en América del sur (Familysearch, 2023). Está ubicada con coordenadas UTM (WGS 84/Zona 18S) este: 279 057 m E, norte: 8 950 498 m N

(9.1220881°S,77.7709693°N)(Epsg, 2025), con una altitud entre 2100 msnm, tiene un clima templado frío de montaña, con una temperatura entre 18 a 20°C (Senamhi, 2021). con estación lluviosa entre octubre a abril (precipitación 600 a 800 mm/año), seca de mayo a septiembre. La humedad relativa entre 65 a 85% de humedad en épocas de lluvia(Senamhi, 2021).

El tiempo de estudio fue de enero a julio del 2025, donde se realizaron la elaboración del plan de tesis, pruebas preliminares y las pruebas de estudio, luego se llevaron a cabo el procesamiento de datos y la elaboración del informe.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigación Internacional.

Ozcelik & Ekmekci (2024) en su artículo respecto a “Química de superficie y flotación de pirita aurífera”, encontrándose publicado en la revista *Metals* es una investigación experimental. En base a la flotación de minerales que contienen oro, tiende una recuperación alto, pero también arrastra impurezas lo que hace que la ley se encuentra por debajo de 10g/t. En las pruebas realizadas con cianuro de sodio se tiene una separación de pirita aurífera y la pirita estéril, la aplicación electroquímica a superficie de los dos minerales de pirita, siendo los minerales estériles más susceptibles a la reducción catódica, a los iones y OH⁻ depresores de la superficie. Concluyendo que son eficiente a la reducción catódica mediante la electroquímica a la superficie de los minerales de pirita estériles.

(Kumar et al., 2022) en su artículo referente a “Comprensión de los procesos de flotación a escala atómica mediante la teoría del funcional de la densidad: un estudio de caso sobre la adsorción de 2-mercaptobenzotiazol en superficies de calcopirita y pirita” , publicado en la página de la revista *applied Surface science*. Se realiza un análisis de la interrelación de las moléculas de los colectores con los minerales que contiene oro y cobre, aplicando la teoría de funcional de densidad. El mercaptobenzotiazol (MBT) tiende a absorberse más fuerte en la pirita que en la calcopirita, debido a sus enlaces Fe-S adicional, estos permiten a separar estos minerales presentes. Esto permite a tener en consideración para diseñar ligantes más estables y eficientes para la separación selectiva de minerales valiosos de los estériles. El colector tiene una influencia en la significativos en la separación de cobre y oro.

Zhang et al., (2024) en su trabajo realizado respecto a “Beneficiación de minerales de plata y de plomo y zinc que contienen plata: una revisión”, depositado en la revista *minerals engineering*, se lleva a cabo los estudio sobre la obtención de minerales de plata por flotación, pero los trabajos en su mayoría se obtiene de la flotación en masa de la flotación de minerales de plomo y zinc con plata. Hoy en día la concentración de minerales de plata proviene de minerales marginales mediante la flotación y el empleo de reactivos para la recuperación de minerales de plata refractarios o asociados a otros minerales.

La flotación de minerales aurífero, argentíferos y minerales de plata refractarios es necesario emplear colectores secundarios, que permite una adsorción adecuada, empleando un depresor de los minerales estériles adecuada, esto mejora la selectividad y eficiencia en la metalurgia de la flotación de minerales de plata y oro.

2.1.2. Investigación Nacional.

Curichahua & Paitan (2021) en su trabajo de tesis referente a “Utilización de O-Isopropil-N-Etil Tionocarbamato Como Colector en la Flotación de la Calcopirita y Galena en la CIA Minera Casapalca SA”, que se encuentra publicado en el repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Esta investigación es de corte experimental, donde se evalúa la separación del calcopirita y galena, para ello se emplearon para equipos de espectroscopia infrarroja por transformación de Fourier (FTIR) y los equipo simuladores dinámica molecular (MD) para medir la adsorción de los colectores en los minerales. Como resultado del estudio realizados se obtuvieron que los minerales de calcopirita tienen una mayor flotabilidad con la presencia de O-isopropil-N-etil thionocarbomate (IPETC) frente a los minerales de galena, obteniendo una diferencia en la recuperación del orden del 20% , cuando el colector tiene una concentración del 7×10^{-4} mol/L en

un medio de pH de 9.5. Concluyendo que el IPETC tiene efecto significativo en la flotación de cobre frente a la galena (69).

Cantoral (2024) en el trabajo realizado sobre su tesis “Influencia de la concentración de reactivos en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos”, depositado en el repositorio institucional de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, tiene carácter experimental con la finalidad de realizar una flotación de oro que se encuentran en los sulfuros, a partir de minerales polimetálicos donde se emplearon como colector el Z-6, Z-11, A-33, A-242, A-404 y cal, MIBC, obteniendo los resultados a un pH superior a 11 se tiene un mejor resultado donde el Z-6 mayor selectiva que el Z-11 y los promotores ditiofosfato con una adecuada combinación de los tres se tiene mejores resultado. Concluyendo que la concentración de los colectores influye directamente en la calidad y eficiencia en la recuperación de minerales auríferos a partir de minerales polimetálico (pp. 71-73).

García & López (2024) en el trabajo de su tesis respecto a “Aplicación de la flotación para la recuperación de plata a partir de relaves de baja ley en la empresa Aurex - Cerro de Pasco”, publicado en la página del repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú, se realizaron pruebas experimentales a 88 muestras de plata a partir de relaves de flotación de minerales polimetálicos, con diferentes combinaciones de colectores ditiofosfato ditiofosfinato de alquino, Aero 7518 y 7640 , ditiofosfato de alquino y butil xantato de potasio, las condiciones del mineral de plata nativa asociado a sulfuros tiene una concentración de 148 ppm aproximadamente. El resultado obtenido para una liberación del 63 μm a un pH de 8.5 con una mezcla de colectores de ditiofosfato y xantato de butilo a razón de 80 g/t, activador de 200 g/t de sulfato de cobre y 30 g/t de MIBC se llega a obtener 1745 ppm del 84% de recuperación. Concluyendo que la mezcla

xantato y ditiofosfato influyen en la recuperación y calidad de concentrado de cobre a partir de relaves.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Flotación de Minerales Asociado de oro y plata

2.2.1.1. Principios de la flotación de minerales preciosos

La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales valiosos de la ganga mediante el uso de burbujas de aire, en el cual se aprovechan las propiedades superficiales de los minerales para concentrar partículas específicas (Chia, 1984). Este método se basa en la hidrofobicidad del mineral, que permite la adherencia de las partículas a las burbujas de aire mientras se desliza y repele el agua de su superficie (Drzymala & Swatek, 2007a).

El proceso ocurre en tres fases: sólida (partículas minerales), líquida (agua) y gaseosa (aire), donde las partículas hidrófobas son recolectadas en la espuma generada en la superficie del sistema acuoso (Sutulov, 1963). Este principio es ampliamente utilizado en la extracción de metales preciosos como oro, cobre y otros compuestos metálicos (Adams, 2005).

El mecanismo de adhesión entre las partículas minerales y las burbujas de aire es crucial para el éxito del proceso de flotación. Las partículas hidrófobas tienden a adherirse a las burbujas debido a la repulsión que ejercen hacia el agua presente en la pulpa (Wills & Finch, 2015a). Esta interacción depende de factores como:

- **Ángulo de contacto:** El ángulo formado entre la partícula, la burbuja y el líquido determina la eficiencia de la adhesión. Un ángulo menor indica mayor hidrofobicidad y, por ende, mejor adherencia (Fuerstenau & Han, 2003).

- Tensión superficial : La reducción de la tensión superficial entre las partículas y las burbujas facilita la unión, permitiendo que las partículas sean transportadas hacia la superficie(Wills, 2013).
- Estabilidad de la burbuja : La estabilidad de las burbujas de aire inyectadas en la pulpa influye directamente en la capacidad de captura de las partículas minerales(Wills, 2013).

Este fenómeno permite separar minerales valiosos, como el oro nativo grueso, donde la flotación actúa como un sustituto eficiente de métodos tradicionales(Wills & Finch, 2015a).

La flotación está sustentada por una serie de procesos fisicoquímicos que explican la afinidad de algunas partículas al aire y su rechazo al agua. Estos incluyen:

- Hidrofobicidad e hidrofobicidad: Los minerales hidrófobos tienen una baja afinidad con el agua, lo que facilita su adhesión a las burbujas de aire. Por otro lado, los minerales hidrófilos permanecen dispersos en la fase líquida(Sutulov, 1963).
- Adsorción de reactivos químicos : Los colectores y modificadores de pH son utilizados para modificar las propiedades superficiales de los minerales, aumentando su hidrofobicidad o selectividad durante la flotación(Portal Minero, 2006).
- Formación de espuma estable: La generación de espuma en la superficie del sistema acuoso es esencial para la recolección de partículas minerales. Esta espuma debe ser lo suficientemente estable para transportar las partículas hasta su descarga(Azaero Ortiz, 2015).

Además, el control del pH juega un papel fundamental en la flotación de minerales polimetálicos, donde se ajustan condiciones específicas para favorecer la separación selectiva de

sulfuros, como el cobre y el plomo, mientras se deprimen otros, como el zinc y la pirita (Portal Minero, 2006).

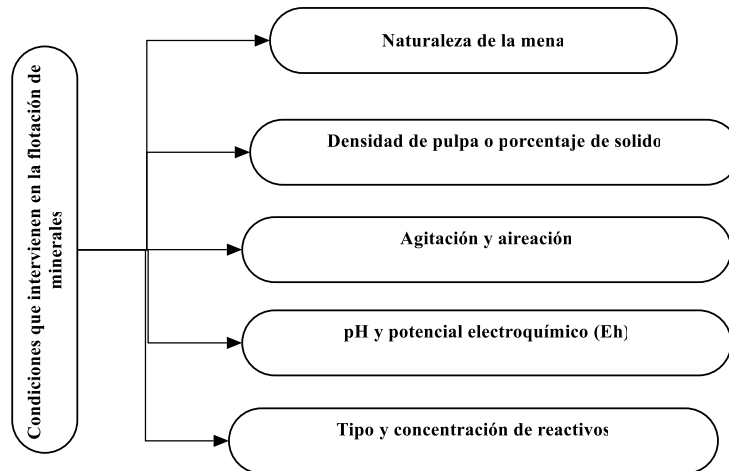
Por lo tanto, la flotación de minerales preciosos es un proceso complejo que combina principios físicos y químicos para separar partículas valiosas de la ganga. Su éxito depende de la comprensión profunda de los mecanismos de adhesión y los fenómenos fisicoquímicos involucrados, los cuales han sido ampliamente documentados en estudios y aplicaciones industriales (Adeleke, 2023).

2.2.1.2. Variables que afectan la flotación de minerales

En la flotación de minerales para que se den las condiciones de flotación intervienen una serie de condiciones con la finalidad de tener las condiciones adecuadas para la flotación entre ellos se tiene figura 1:

Figura 1

Condiciones que intervienen en la flotación de minerales



En la flotación para la concentración de minerales de oro y plata, donde múltiples factores influyen en su eficiencia y selectividad. Se definen las principales variables que afectan este proceso:

Naturaleza de la mena: La naturaleza de la mena determina la viabilidad del proceso de flotación debido a las características mineralógicas y químicas inherentes del material. La composición mineralógica, la presencia de minerales sulfurados, óxidos o compuestos refractarios afecta directamente la flotabilidad del oro y la plata. El oro libre grueso puede flotar sin problemas, mientras que el oro asociado a sulfuros requiere pretratamientos (Naranjo Gomez, 2012). Lamas y recubrimientos, las lamas (partículas finas) pueden recubrir las superficies de los minerales valiosos, dificultando la adsorción de reactivos como colectores (Palomino & Ramos, 2008). Los minerales cianicidas, la presencia de sustancias como grafito o pirrotita puede interferir negativamente en la flotación, ya que consumen reactivos o dificultan la recuperación de metales preciosos (Palomino & Ramos, 2008).

Tamaño de partícula y liberación: El tamaño de partícula es crítico para asegurar una adecuada liberación del oro y la plata de la ganga. Tamaño óptimo, los estudios han demostrado que tamaños entre 35 y 40 micrones maximizan la recuperación de oro y plata en diversos casos (De Santiago García et al., 2022). Sin embargo, partículas demasiado finas pueden ser difíciles de flotar debido a su baja masa y alta tendencia a formar agregados. El grado de liberación, para minerales sulfurados portadores de oro y plata, es esencial que los metales preciosos estén completamente libres de la ganga antes de la flotación (Adams, 2005; Empírica, 2020).

pH y potencial electroquímico (Eh): El control del pH y el potencial redox (Eh) es fundamental para optimizar las condiciones químicas del proceso. pH, el rango óptimo de pH para la flotación de minerales sulfurados de oro y plata suele estar entre 8 y 12, dependiendo del tipo de colector utilizado. Un pH incorrecto puede inhibir la adsorción de reactivos o favorecer la flotación no selectiva (Adams, 2005). Potencial redox (Eh), el Eh afecta la oxidación superficial de los minerales sulfurados, lo que puede alterar su hidrofobicidad y, por ende, su capacidad de

flotación. Minerales como la pirita son particularmente sensibles a cambios en el Eh(Naranjo Gomez, 2012)..

Tipo y concentración de reactivos: Los reactivos son esenciales para modificar las propiedades superficiales de los minerales y facilitar su adhesión a las burbujas de aire. Colectores. En la flotación de oro y plata, los xantatos son los colectores más utilizados debido a su alta selectividad hacia minerales sulfurados. También se emplean tiocarbamatos y tiofosfatos como colectores auxiliares(Hidalgo et al., 2015). Espumantes : Los espumantes, como el MIBC, estabilizan las burbujas de aire y mejoran la formación de espuma, lo que es crucial para la recuperación de partículas finas(Azaero Ortiz, 2015). Modificadores: La cal se utiliza comúnmente para ajustar el pH, mientras que los cianuros pueden actuar como depresores de minerales no deseados. Sin embargo, el uso de cianuros debe controlarse cuidadosamente debido a su toxicidad (Hidalgo et al., 2015).

Agitación y aireación: La agitación y la aireación son parámetros operativos que afectan directamente la interacción entre partículas y burbujas. La agitación, insuficiente puede resultar en una mezcla inhomogénea de partículas y reactivos, mientras que una agitación excesiva puede romper las burbujas o dañar las partículas finas (Masuda et al., 2006). La aireación, tiende a la generación de burbujas pequeñas y uniformes es crucial para maximizar el área superficial disponible para la adhesión de partículas. Un flujo de aire insuficiente reduce la recuperación, mientras que un exceso puede causar espumas inestables(Palomino & Ramos, 2008).

Densidad de pulpa o porcentaje de sólido: La densidad de la pulpa influye en la viscosidad del sistema y en la eficiencia de la flotación. El porcentaje de sólidos cuando es demasiado bajo (<25%) reduce la probabilidad de colisión entre partículas y burbujas, mientras que un porcentaje demasiado alto (>40%) aumenta la viscosidad y dificulta la separación de

fases(Fuerstenau et al., 2007a). Para optimización en el proceso de flotación de minerales de oro y plata, el rango de densidad de pulpa suele estar entre 30% y 35% de sólidos, aunque esto puede variar según las características específicas del mineral(Lopez Galvan, 2018).

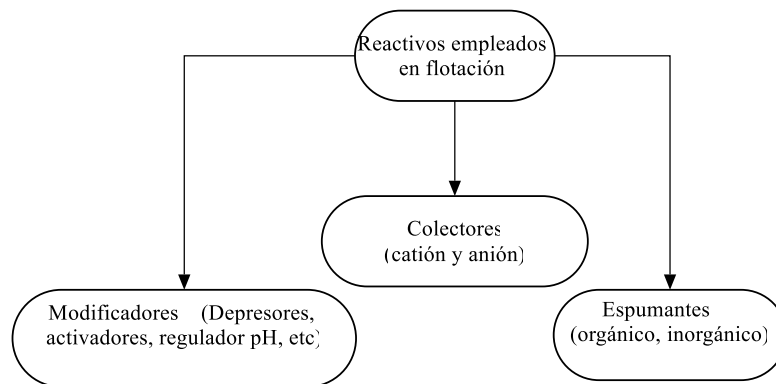
La flotación de minerales de oro y plata es un proceso complejo que depende de múltiples variables interrelacionadas. Para lograr una recuperación eficiente y selectiva, es esencial optimizar aspectos como la naturaleza de la mena, el tamaño de partícula, el pH y Eh, los reactivos utilizados, la agitación y aireación, y la densidad de pulpa. Cada variable debe ajustarse cuidadosamente según las características del mineral y las condiciones operativas del proceso.

2.2.2. Reactivos de flotación para minerales

En la flotación de minerales se emplean una serie de reactivos con la finalidad de darle ciertas propiedades a los minerales para la separación de los estériles y estos se clasifican en 3 grades grupos como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Reactivos empleados en la flotación de minerales



2.2.2.1. Colectores en la flotación de minerales

Los colectores son compuestos químicos que actúan como agentes hidrofobizantes en la superficie de los minerales valiosos, promoviendo su adhesión a las burbujas de aire durante la flotación. Su función principal es formar una capa hidrofóbica en la superficie del mineral, lo que

reduce la humectación por agua y aumenta la capacidad de adherencia a las burbujas (Meraz Vinaja, 2018). En la que tiende a promover la selectividad del proceso al hacer que solo los minerales deseados sean flotados, y mejora la eficiencia de recuperación al aumentar la interacción entre partículas y burbujas de aire (Yarar & Dogan, 1987).

Clasificación de los Colectores.

Los colectores se clasifican según su estructura química y su mecanismo de acción. Los más comunes se tiene los xantatos, ditiofosfatos, diofosfatos, tionocarbomatos, ditiocarbomatos y los trioles (Yarar & Dogan, 1987).

Xantatos: Son los colectores más utilizados en la flotación de minerales sulfurados debido a su alta selectividad y bajo costo (Azaero Ortiz, 2015), Xantato amílico de potasio (Z-6), xantatos hexílicos, son empleados en la flotación de sulfuros de cobre, plomo, zinc y oro asociado a sulfuros (Sutulov, 1963).

Ditiofosfatos: Son colectores secundarios con menor poder hidrofobizante que los xantatos, pero más solubles en agua (Azaero Ortiz, 2015). Teniendo una ventajas, al ser empleado en combinación con xantatos para mejorar la recuperación de minerales complejos, como el ditiofosfatos de sodio y potasio (Cytex Industries, 2010a).

Tionocarbomatos: Estos son colectores específicos para minerales no sulfurados, como malaquita y azurita (Azaero Ortiz, 2015). Con características que presentan menor toxicidad en comparación con otros colectores.

Ditiocarbomatos: Son compuestos derivados de ácidos ditiocarbámicos, utilizados en la flotación de sulfuros de cobre y zinc (S. Bulatovic, 2007). Sus aplicaciones son en la recuperación de minerales refractarios o difíciles de tratar.

Tioles: Colectores especializados para minerales sulfurados complejos, como sulfuros de cobre y zinc (Wills, 2013). Estos colectores tienen unas características por tener alta selectividad, pero su uso es limitado debido a su alto costo.

Propiedades químicas y mecanismos de acción.

Las propiedades químicas de los colectores están directamente relacionadas con su capacidad para interactuar con la superficie de los minerales. Estas propiedades determinan su eficacia y selectividad en el proceso de flotación.

a) Propiedades químicas

Polaridad. Los colectores tienen una estructura bifuncional, con una parte polar (hidrofilica) que se adsorbe en la superficie del mineral y una parte apolar (hidrofóbica) que interactúa con el aire (Astucuri, 1994).

Solubilidad. La solubilidad varía según el tipo de colector. Por ejemplo, los ditiofosfatos son más solubles que los xantatos (Meraz Vinaja, 2018).

Toxicidad. Algunos colectores, como los xantatos, pueden ser tóxicos y requieren manejo cuidadoso.

b) Mecanismos de adsorción

Adsorción química. Los colectores reaccionan químicamente con la superficie del mineral, formando enlaces covalentes o iónicos. Por ejemplo, los xantatos reaccionan con iones metálicos en la superficie de sulfuros para formar compuestos insolubles (Gupta & Yan, 2006).

Hidrofobización : La parte apolar del colector crea una capa hidrofóbica en la superficie del mineral, lo que permite que las burbujas de aire se adhieran y transporten las partículas hacia la espuma (S. Bulatovic, 2007).

Modificación de la carga superficial : Los colectores pueden neutralizar la carga negativa en la superficie de los minerales, reduciendo la repulsión entre partículas y burbujas(Astucuri, 1994).

2.2.2.2. Colectores ditiofosfatos en la flotación de oro y plata

Los colectores ditiofosfatos son compuestos orgánicos que contienen átomos de azufre y fósforo en su estructura química(Tercero et al., 2019). Estos colectores exhiben una mayor selectividad y tasas de flotación para los sulfuros de cobre en comparación con los colectores tradicionalmente utilizados, como los dialkil ditiofosfatos (Tercero et al., 2019).

Los ditiofosfatos se adsorben selectivamente sobre la superficie de aquellos minerales que contiene oro y plata, lo que permite la flotación diferencial de estos metales preciosos (Dunne, 2005). El mecanismo de adsorción de los ditiofosfatos respecto la superficie de las menas que contiene de oro y plata aún se está investigando (Basilio et al., 1992).

Los ditiofosfatos se utilizan comúnmente en combinación con otros colectores, como los xantatos, para la flotación de minerales que contienen oro y plata(Acarkan et al., 2010). Estos reactivos han demostrado ser eficaces para la recuperación de los metales de oro y plata en una variedad de tipos compuestos de los minerales, incluyendo minerales de cobre-plomo-zinc, minerales de baja ley y minerales complejos(Drif et al., 2018).

El empleo de los ditiofosfatos pueden mejorar las tasas de flotación de los minerales de oro y plata en comparación con otros colectores, como los xantatos (Tercero et al., 2019). La combinación de ditiofosfatos y xantatos puede optimizar la cinética de flotación de los minerales de oro y plata (Ryaboy et al., 2018).

2.2.2.3. Colectores tionocarbamatos en la flotación de oro y plata

Los tionocarbamatos tienen una estructura química similar a los xantatos y ditiofosfatos, con un grupo tionocarbamato ($-N=C=S$) en lugar del grupo xantato ($-O-C=S$) o ditiofosfato ($-P=S-S-$). Esta estructura les confiere propiedades químicas y de flotación diferentes a estos otros colectores (Crozier, 1992; Ignatkina et al., 2016)². En comparación con los ditiofosfatos, los tionocarbamatos tienen valores de pK_{sp} más bajos, lo que los hace más selectivos para la flotación de minerales de sulfuro y metales preciosos. Esto se debe a que los tionocarbamatos forman complejos más estables con los iones metálicos en la superficie de los minerales (Lotter & Bradshaw, 2010). Los tionocarbamatos, como el hexil etoxicarboniltionocarbamato, han demostrado ser más selectivos que los xantatos y ditiofosfatos para la flotación de oro y plata. Esto se debe a que los tionocarbamatos se adsorben más fuertemente en la superficie de los minerales preciosos, mejorando así su recuperación y selectividad (Dunne, 2005).

La mayor selectividad de los tionocarbamatos también se ha observado en la flotación de sulfuros, como la pirita aurífera (Dhar et al., 2019). Los tionocarbamatos pueden separar selectivamente los minerales de sulfuro que contienen oro y plata de los minerales de sulfuro de hierro, lo que mejora la calidad del concentrado final (Özçelik & Ekmekçi, 2024). También, los tionocarbamatos han sido utilizados con éxito en la flotación de minerales de cobre y escorias de cobre, donde han demostrado una mayor selectividad y eficiencia en comparación con otros colectores como los ditiofosfatos (Štirbanović et al., 2022). Por lo tanto, los colectores tionocarbamatos ofrecen ventajas en términos de selectividad y eficiencia en la flotación de minerales de oro, plata y sulfuros en comparación con los ditiofosfatos y otros colectores convencionales.

2.2.2.4. Modificadores y Espumantes en la flotación de oro y plata

En el proceso de flotación de minerales auríferos y argentíferos, los modificadores juegan un papel esencial al ajustar las condiciones químicas para optimizar la recuperación de estos metales. Los reguladores de pH, como el hidróxido de sodio, carbonato y óxido de calcio, permiten controlar la acidez o basicidad del medio, lo que impacta directamente en la interacción entre los reactivos y las partículas metálicas (Sutulov, 1963).

Los activadores, como el sulfato de cobre, mejoran la capacidad de los colectores para adherirse a las superficies de los minerales valiosos, mientras que los depresores actúan inhibiendo la flotación de minerales no deseados, asegurando una mayor selectividad en el proceso de separación (Azaero Ortiz, 2015). Estos reactivos son fundamentales para garantizar que las características superficiales de las partículas de oro y plata sean adecuadamente manipuladas, mejorando la eficiencia de la flotación.

Por otro lado, los espumantes son esenciales en la formación y estabilidad de la espuma, un aspecto importante en el éxito del proceso de flotación. La elección del espumante depende de su sensibilidad al pH, solubilidad y compatibilidad con otros reactivos, ya que estas propiedades determinan la calidad y persistencia de la espuma generada (Astucuri, 1994). Una espuma estable permite que las partículas hidrófobas de oro y plata se adhieran más efectivamente, evitando pérdidas por arrastre de materiales no deseados (Drzymala & Swatek, 2007a). Sin embargo, es importante destacar que la modificación incorrecta de los espumantes puede causar la flotación inesperada de minerales hidrófilos, afectando negativamente tanto la recuperación como el grado del concentrado final. La correcta selección y dosificación del espumante contribuye significativamente a la eficiencia global del proceso (Azaero Ortiz, 2015).

2.2.3. Cinética de Flotación de Oro y Plata

2.2.3.1. Fundamentos de la cinética de flotación

La cinética en el proceso de la flotación estudia la velocidad respecto a la recuperación de partículas valiosas (oro, plata) en un proceso de flotación por espuma. Se basa en principios fisicoquímicos y mecánicos que gobiernan la adhesión partícula-burbuja y su posterior transporte a la espuma (Sutherland & Wark, 1955); (Wills & Finch, 2015a).

En el modelo de primer orden (Sripriya & Murty, 2023a). Es uno de los más utilizado por tener una velocidad de flotación proporcional a la concentración de partículas flotables restantes:

$\frac{dC}{dt} = -KC$, donde C es la concentración, K es la constante de velocidad de flotación, t es el tiempo, R es la recuperación. Integrando, la recuperación (R) se expresa como: $R = R_{\infty}(1 - e^{-k.t})$, k : Constante de velocidad de flotación [min^{-1}], R_{∞} : Recuperación máxima teórica. Este modelo es válido para partículas libres y de alta hidrofobicidad (King, 2001).

En el modelo de segundo orden. En sistemas donde la cinética depende de interacciones partícula-partícula o partícula-burbuja más complejas, donde se aplica la relación de la concentración en relación al tiempo relacionado por: $\frac{dC}{dt} = -K.C^2$, en relación a ello la recuperación se calcula en relación a la siguiente ecuación: $R = \frac{k.t.R_{\infty}^2}{1+k.t.R_{\infty}}$. Este modelo es útil para minerales asociados a ganga o con reactivos de flotación específicos (Matis, 1994).

El modelo de distribución de constantes (Cashman, 1972): Considera que las partículas tienen distintas flotabilidades, representadas por una distribución de constantes cinéticas:

$R = R_{\infty} \left(1 - \int_0^{\infty} f(k) \cdot e^{-k.t} dk\right)$, Donde $f(k)$ es la función de distribución de velocidades. Se aplica en minerales complejos como los sulfuros de plata (Yianatos et al., 2008).

2.2.3.2. Parámetros Cinéticos de la flotación de minerales

Entre los parámetros cinéticos respecto a la flotación de aquellos minerales están conformados por una serie de factores entre ellos se tiene la constante cinética de flotación, velocidad de flotación, tiempo de residencia, la fracción de mineral flotado en el tiempo, la selectividad de la flotación y otros, parámetros que permiten controlar y mejorar la eficiencia de la flotación de minerales(Gupta & Yan, 2006).

a) **Constante de Velocidad de Flotación (k):** Mide la rapidez de recuperación del mineral.

Un valor alto indica flotación rápida (García-Zúñiga, 1935).

Factores que influyen:

- Tamaño de partícula (óptimo: 10–150 μm para oro y plata) (Wills & Finch, 2015a).
- Hidrofobicidad (modificada por colectores como xantatos)(Sutherland & Wark, 1955).
- Flujo de aireación inyectada y tamaño de las burbujas(Yianatos et al., 2008).

b) **Recuperación Final (R_{∞}):** Máxima recuperación alcanzable en tiempo infinito. Nunca es del 100% debido a pérdidas en colas(King, 2001). En la práctica, En oro, R_{∞} depende de la liberación del mineral(Malhotra et al., 2009). En plata, se ve afectada por la presencia de especies refractarias (Lynch et al., 1981).

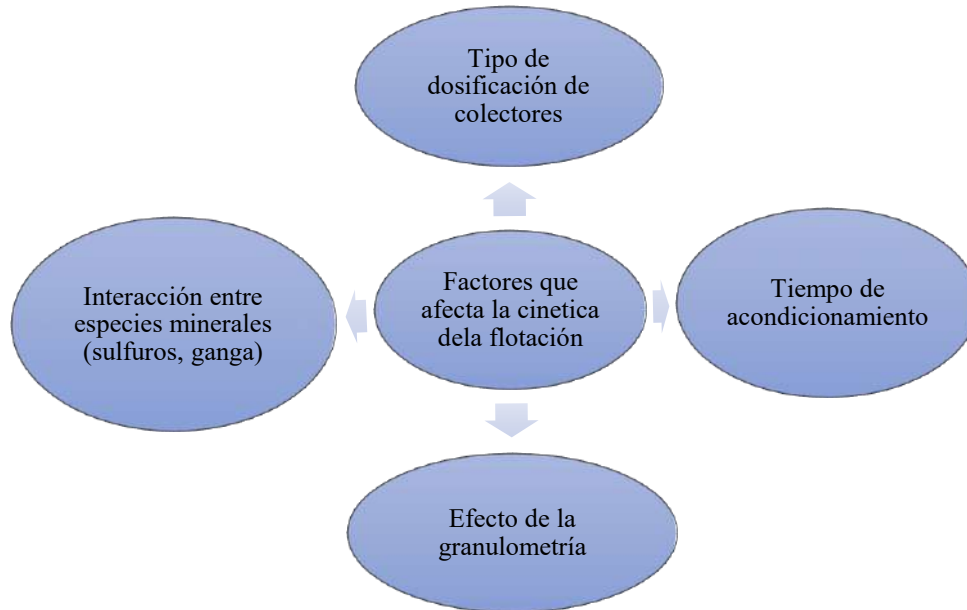
c) **Distribución de Tiempos de Residencia (DTR):** Describe cuánto tiempo permanecen las partículas en la celda de flotación(Yianatos, 2005).

2.2.3.3. Factores que afectan la cinética de la flotación

Entre los factores que afecta la velocidad de la flotación de minerales se tiene en consideración los siguientes en la figura 3:

Figura 3

Factores que afectan la cinética de la flotación



a) **Tipo y dosificación de colectores.**

El tipo y la dosificación de los colectores son factores predominantes en la cinética de flotación, ya que estos reactivos modifican las propiedades superficiales de los minerales para hacerlos hidrofóbicos y facilitar su adhesión a las burbujas de aire. Un colector inadecuado o una dosificación incorrecta pueden llevar a una recuperación insuficiente o incluso a la flotación de minerales no deseados (arrastra). En la flotación de sulfuros, colectores como xantatos son ampliamente utilizados debido a su afinidad específica con estos minerales (Xinhai, 2024). La dosificación óptima debe equilibrar la selectividad y la eficiencia; dosis excesivas pueden causar espumas inestables, mientras que dosis insuficientes pueden reducir la recuperación. La dosis ideal del xantato isopropílico de sodio para el oro libre y sulfuros simple se debe de dosificar entre 10 – 50 g/t (Wills & Finch, 2015a), mientras que los ditiofosfatos para la plata en sulfuros complejos

mejora la selectividad en un rango de 5 – 30 g/t (S. Bulatovic, 2007). Mientras que una sobredosis superior a 60 g/t tiende a reducir la selectividad por arrastre mecánica.

b) Tiempo de acondicionamiento.

El tiempo en la etapa de acondicionamiento es un intervalo de período durante el cual aquellos sustancias conocidos como reactivos (colectores, espumantes, modificadores) interactúan en un medio donde la pulpa del mineral antes de iniciar la separación mediante la flotación. Este tiempo es crítico porque permite que los reactivos se adsorban adecuadamente sobre las superficies minerales, mejorando la hidrofobicidad necesaria para la flotación. Si el tiempo de acondicionamiento es insuficiente, la adsorción puede ser incompleta, lo que reduce la eficiencia del proceso. Por otro lado, tiempos excesivos pueden causar sobre adsorción o descomposición de los reactivos(Sokolovic & Miskovic, 2018). El tiempo de acondicionamiento de 10 minutos permite recuperar 94.5 de pentóxido de fosforo(Farid et al., 2022).

c) Efecto de la granulometría.

La granulometría de las partículas minerales tiene un impacto directo en la cinética de flotación. Partículas demasiado finas pueden ser difíciles de recuperar debido a su baja masa y tendencia a permanecer suspendidas en la pulpa, mientras que partículas demasiado gruesas pueden no adherirse adecuadamente a las burbujas de aire (Derhy et al., 2020a). Además, la distribución de tamaño de partícula afecta la velocidad de flotación, partículas de tamaño intermedio generalmente presentan las tasas más altas de recuperación. El tamaño de partícula óptima debe de estar entre 75 a 150 μm (Adams, 2005), las partículas menores a 10 μm requiere floculación(Henao, 2023), mientras que las partículas 212 μm requieren liberación(Ganoza, 2022).

d) Interacción entre especies minerales (sulfuros, ganga)

La interacción entre diferentes especies minerales en la pulpa puede afectar significativamente la cinética de flotación. Si, en el sistema que contienen sulfuros y minerales de ganga, las propiedades superficiales y las interacciones electrostáticas son predominante. Los sulfuros suelen ser naturalmente hidrofóbicos, pero la presencia de minerales de ganga puede interferir con su flotación al competir por los sitios activos en las burbujas de aire o al modificar el pH de la pulpa (Derhy et al., 2020b). La solubilidad de ciertos minerales puede liberar iones que afecten la carga superficial de otros minerales, alterando su comportamiento en flotación.

La cinética de flotación está influenciada por una combinación de factores químicos y físicos, incluyendo el tipo y dosificación de colectores, el tiempo de acondicionamiento, la granulometría de las partículas y las interacciones entre especies minerales. Cada uno de estos factores debe ser cuidadosamente controlado y optimizado para maximizar la eficiencia del proceso. La aplicación de técnicas avanzadas, como la mineralogía de proceso, puede proporcionar información valiosa para predecir y mejorar la cinética de flotación en sistemas complejos (Bahrami et al., 2019).

2.2.4. Interacción de Ditiofosfatos y Tionocarbamatos en la Flotación de Oro y Plata

2.2.4.1. Efecto de los ditiofosfatos en la flotación de metales preciosos

Los ditiofosfatos son reactivos colectores que han demostrado ser eficaces en la flotación de metales preciosos, en particular oro y plata, gracias a su capacidad de aumentar la hidrofobicidad de las partículas metálicas. La investigación ha indicado que la combinación de ditiofosfatos y xantatos puede resultar en un incremento considerable de la recuperación de oro durante el proceso de flotación. Monte et al. demostraron que el uso conjunto de estos colectores en la flotación selectiva mejora la recuperación de metales en concentraciones de sulfuros y

partículas de oro que no habían sido previamente extraídas en otros procesos, como el de cianuración(Mello et al., 2020).

En comparación con los xantatos, que son aquellos colectores empleados más comúnmente en la etapa de flotación y conocidos por su capacidad de seleccionar minerales sulfurosos, los ditiofosfatos pueden ofrecer ventajas específicas. Según Elizondo-Álvarez et al., diversas investigaciones han demostrado que no son compuestos estables, sugiriendo que su efectividad puede depender del contexto en el que se utilicen(Elizondo-Álvarez et al., 2022). Esto se debe a que las propiedades de hidrofobicidad son cruciales para el éxito del proceso de flotación, ya que permiten una separación más eficiente entre los minerales deseados y la ganga(Reyes et al., 2020).

El impacto de los ditiofosfatos sobre la hidrofobicidad del oro y la plata es significativo. Reyes et al. documentaron que los reactivos colectores, como los ditiofosfatos, fomentan el aumento de la hidrofobicidad en los minerales, lo cual es esencial para su recuperación efectiva (Reyes et al., 2020). La modificación de la superficie de las partículas de oro y plata, mediante el uso de colectores, tiene efectos directos en la flotación, ya que aumenta la adherencia de las partículas a las burbujas en el medio líquido, mejorando así la eficiencia de la separación (Valderrama et al., 2024). Además, estudios sobre las interacciones entre diferentes colectores han mostrado que el ditiofosfato de butilo, por ejemplo, puede alterar las características de flotación, incrementando la flotabilidad de los minerales en comparación con otros colectores tradicionales, como los xantatos(Valderrama et al., 2024); (Wang et al., 2022).

Por tanto, el uso de ditiofosfatos podría mejorar la recuperación de metales preciosos, lo que a su vez podría influir en la economía de las operaciones mineras al permitir una recuperación más eficiente de los recursos. Los estudios sugieren que su aplicación en combinación con xantatos fomenta un mayor rendimiento y selectividad durante la etapa de la flotación, lo cual tiende a ser

crítico para el proceso de la industria metalúrgica que realizar estudios para optimizar el uso de recursos mientras minimiza costos y efectos ambientales negativos(Yoplac et al., 2024). La investigación en este campo continúa siendo relevante, ya que hay un interés creciente por mejorar técnicas de flotación que sean sostenibles y eficientes, aprovechando las propiedades únicas de estos colectores(Ojeda et al., 2024); (Escobedo Remachi et al., 2023).

2.2.4.2. Efecto de los tionocarbamatos en la flotación de metales preciosos

La flotación de aquellos metales denominados preciosos, como son en su mayoría el oro y la plata, se ha perfeccionado mediante la incorporación de una variedad de reactivos químicos, entre los cuales los tionocarbamatos y los ditiofosfatos han demostrado un interés particular en la comunidad científica. Estos reactivos son fundamentales en la separación selectiva de metales preciosos de otros minerales, como los sulfuros de cobre y plomo, lo que resalta la importancia de su selectividad y eficacia en los procesos de flotación.

Los tionocarbamatos, como el colector dodecilamonio, han mostrado un rendimiento superior en la recuperación de metales preciosos debido a su capacidad para formar complejos más estables con el oro y la plata en comparación con otros reactivos tradicionales como los ditiofosfatos. Según un estudio reciente, los tionocarbamatos han demostrado aumentar la flotabilidad de la pirargirita, un mineral de plata, en presencia de sulfuros de cobre, mejorando así la selectividad hacia los metales preciosos frente a los sulfuros no deseados(Reyes et al., 2021). Esto es crucial, ya que permite una recuperación más eficiente y selectiva, minimizando el impacto ambiental y los costos operativos asociados a la minería.

Comparativamente, los ditiofosfatos, aunque efectivos, suelen ser menos selectivos, lo que puede resultar en la adsorción de estos a otros minerales como la pirita y la galena, lo que disminuye la pureza de los concentrados obtenidos y aumenta la cantidad de reactivos necesarios

para el proceso (Reyes et al., 2020). Además, la interacción entre los ditiofosfatos y los sulfuros de cobre y plomo puede generar complicaciones adicionales en la fase de flotación, donde la presencia de sulfuros no deseados puede comprometer la calidad final del concentrado de metales preciosos (Escobedo Remachi et al., 2023).

En términos de desarrollo de sinergias, la combinación de reactivos en el proceso de flotación ha mostrado resultados prometedores. Por ejemplo, investigaciones recientes han explorado el uso de tiosulfato en sinergia con glicina, lo que ha resultado en una mejora significativa en la recuperación de metales preciosos, estabilizando al tiosulfato y aumentando su velocidad de disolución (Huazo Barrios et al., 2024). El enfoque sinérgico permite no solo mejorar la eficacia de los reactivos en el tratamiento de minerales complejos, sino que también abre la puerta a un uso más sustentable y menos tóxico en comparación con el cianuro (Valarezo Tenesaca et al., 2024). Esto es particularmente relevante dado que la presión sobre la industria minera para disminuir su impacto ambiental sigue aumentando.

Los colectores de la familia de los tionocarbamatos presentan ventajas notables en la flotación de metales preciosos, mostrando una selectividad superior frente a otros reactivos como los ditiofosfatos, especialmente en la presencia de sulfuros de cobre y plomo. Adicionalmente, la exploración de combinaciones de estos reactivos abre nuevas oportunidades para mejorar la recuperación y sostenibilidad en la extracción de oro y plata.

2.2.5. Aplicaciones Industriales y Estudios Previos

2.2.5.1. Uso de colector ditiofosfatos y tionocarbamatos en plantas concentradoras

Los colectores di- y tiofosfatos, así como los tionocarbamatos, son reactivos colectores predeterminante en la flotación de minerales, particularmente en la concentración de metales preciosos como el oro y la plata. Estos colectores son utilizados por sus propiedades químicas que

mejoran la hidrofobicidad de los minerales, permitiendo así su separación efectiva de las gangas en las plantas concentradoras.

La flotación de minerales de oro y plata generalmente aprovecha la capacidad de estos reactivos para adsorberse en la superficie de los minerales deseados, promoviendo una mayor recuperación. Un estudio reciente demostró que el uso de colectores específicos, como el xantato isopropílico de sodio, incrementa significativamente la recuperación de plata durante el proceso de flotación al optimizar las condiciones del medio, incluyendo el pH y la dosis del colector (Escobedo Remachi et al., 2023). Este tipo de análisis es crítico para maximizar la eficiencia del proceso, dado que pequeñas variaciones en la composición o en las condiciones operativas pueden llevar a resultados divergentes en la recuperación de metales preciosos.

Los casos de estudio muestran considerable variabilidad en la eficiencia de la flotación dependiendo del tipo de mineral y las condiciones del proceso. Por ejemplo, la investigación sobre sulfuros complejos ha destacado el impacto perjudicial de los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) en el proceso, lo que sugiere que la manipulación de la química del agua de flotación es un factor determinante (Ojeda-Villegas & Uribe-Salas, 2023). Adicionalmente, se ha documentado que el pH influye sustancialmente en la flotación sin colector de minerales como la galena (Reyes et al., 2020). Aunque el uso de colectores puede mitigar ciertos efectos adversos, el estudio de su interacción con la mineralogía específica de los yacimientos continúa siendo un área activa de investigación.

Comparando la eficiencia en distintas operaciones, se observa que parámetros como la mineralogía del material a procesar y las características físicas de los minerales influyen directamente en el desempeño de los colectores. La caracterización mineralógica se ha identificado como un factor crucial que determina el éxito en la recuperación de metales, ya que condiciones

mínimas de liberación y el tamaño de las partículas afectan la eficiencia del proceso de flotación, tal como se informa en estudios sobre flotación de relaves y minerales finamente divididos (Espinoza et al., 2021). Esto es especialmente relevante en la concentración de oro y plata en ámbitos mineros artesanales, donde la optimización del uso de colectores específicos es esencial para mejorar la viabilidad económica del procesamiento (Paredes-Parreño & Calderón-Viveros, 2024).

El uso de colectores di- y tiofosfatos y tionocarbamatos en plantas concentradoras es fundamental buscar los mecanismos para mejorar respecto a la eficiencia en la etapa del proceso correspondiente a la flotación en la metalurgia respecto al oro y al elemento de la plata. A través de estudios de caso y comparaciones entre diferentes operaciones, se ha establecido que los factores químicos, físicos y mineralógicos juegan un papel significativo en la dinámica de flotación, sugiriendo que una aproximación integrada podría ofrecer mejoras notables en la recuperación de minerales preciosos.

2.2.5.2. Estudios previos sobre la cinética de flotación con los reactivos ditiofosfatos y tionocarbamatos

La flotación como técnica de concentración de minerales ha sido objeto de numerosos estudios, particularmente en cuanto a la eficacia de reactivos como los ditiofosfatos y tionocarbamatos. Estos reactivos son conocidos por su capacidad de mejorar la recuperación de minerales metálicos y su selectividad hacia diferentes especies minerales. Este trabajo sintetiza los hallazgos previos sobre la cinética de flotación de estos reactivos en combinación con diversos minerales sulfurosos y otros materiales.

Los ditiofosfatos se han documentado en varios estudios como efectivos colectores en la flotación de sulfuros metálicos. Investigaciones han mostrado que su uso incrementa

significativamente la recuperación de minerales en comparación con otros reactivos tradicionales, como los xantatos, debido a su menor toxicidad y a su capacidad para mejorar la selectividad de flotación(Valderrama et al., 2024); (Ojeda-Villegas & Uribe-Salas, 2023). En el caso de los tionocarbamatos, su aplicación ha mostrado mejoras en la separación de minerales como la pirita y la pirrotina, donde se ha reportado que estos colectores promueven interacciones específicas que aumentan la flotabilidad de los minerales objetivo(Valderrama et al., 2024).

Los resultados experimentales indican que la eficiencia de los ditiofosfatos y los tionocarbamatos depende de múltiples factores, incluyendo el pH y la condición de la superficie del mineral. Por ejemplo, el pH tiene un impacto directo en la adsorción de los reactivos a la superficie del mineral y, por ende, en la flotabilidad. Estudios han encontrado que el manejo adecuado del pH puede maximizar la eficiencia de estos reactivos, favoreciendo un entorno más propicio para su adhesión(Ojeda-Villegas & Uribe-Salas, 2023); (Reyes et al., 2020). En áreas donde se ha considerado factor limitante la presencia de iones como Ca^{2+} y Mg^{2+} , la adición de carbonato de sodio ha demostrado reducir los efectos depresores de estos iones, mejorando la respuesta de flotación de los minerales(Ojeda-Villegas & Uribe-Salas, 2023).

En cuanto a la selectividad, se ha comprobado que el correcto balance del uso de colectores permite separar de manera efectiva mixturas complejas de minerales sulfurosos. La combinación de ditiofosfatos y tionocarbamatos con otros reactivos auxiliares ha mostrado resultados prometedores(Valderrama et al., 2024). Investigaciones recientes han subrayado el potencial de mejorar tanto la recuperación como la selectividad mediante el ajuste de las condiciones operativas durante la flotación, como la duración de la exposición a los reactivos y la velocidad de agitación(Valderrama et al., 2024).

En los estudios previos acerca de la cinética de flotación con reactivos ditiofosfatos y tionocarbamatos revelan un panorama alentador para la mejora de la recuperación y selectividad de minerales metálicos. La optimización de parámetros como el pH y la interacción con otros iones puede servir como una estrategia clave en la ejecución de procesos de flotación más eficientes.

2.3. Bases Filosóficas.

En la investigación a realizar sobre el "Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la cinética de flotación de oro y plata" se fundamenta en varias áreas de las ciencias de la química de superficies, la ingeniería de procesos minerales y la eficiencia de extracción mineral. Los compuestos relacionados con la coleccion en procesos de flotación, como los ditiofosfatos y los tionocarbomatos, presentan propiedades químicas y físicas que impactan directamente en la recuperación de metales preciosos como el oro y la plata.

Los ditiofosfatos han sido asociados con mejoras significativas en la cinética de flotación debido a su capacidad para promover la adsorción en superficies minerales, lo que se ha demostrado en estudios recientes. Por ejemplo, se observó que la utilización de una mezcla de xantato y ditiofosfato favorecía la co - adsorción en superficies de calcopirita, incrementando la efectividad del proceso de flotación(J. Zhang & Zhang, 2022). La investigación demuestra que la variedad de colectores influye de manera significativa en el rendimiento de flotación, siendo el ditiofosfato especialmente eficaz en la recuperación de minerales en condiciones específicas (Ercelik et al., 2023). Además, el estudio realizó una comparación entre diferentes colectores de metales, señalando que el ditiofosfato puede superar la efectividad de los xantatos tradicionales en ciertas ocasiones, especialmente en la flotación de minerales mixtos de sulfuro (Ercelik et al., 2023).

Por otro lado, los tionocarbomatos, que son otra clase de colectores, también han mostrado un notable desempeño en la flotación de minerales. En un estudio se demostró que los colectores a base de tionocarbomato presentan una mayor efectividad en la flotación de galena y pirita en comparación con los xantatos (Ercelik et al., 2023). Esto refuerza la hipótesis de que el uso de colectores alternativos puede optimizar la recuperación de metales preciosos en diversos tipos de mineral.

El contexto filosófico detrás de esta investigación analiza cómo la interacción entre los recursos minerales y los colectores químicos puede ser entendida desde una doble dimensión: la primera, técnica, relacionada con la selección de agentes químicos que optimizan el proceso de flotación; la segunda, ética, en lo que respecta al uso responsable y sostenible de los recursos naturales. A medida que la industria minera busca innovar y adaptarse a las presiones de sostenibilidad y eficiencia, se requiere un enfoque que no solamente contemple la maximización de la recuperación, sino también el impacto ambiental de las prácticas de extracción. Sin embargo, las referencias proporcionadas no refuerzan adecuadamente esta discusión ética y filosófica (Milosavljević et al., 2020); (Sato, 2021).

En el trabajo a realizar sobre el "Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la cinética de flotación de oro y plata" se sustenta en los principios de la química aplicada a los estudios de los minerales, los procesos de flotación y una consideración ética del aprovechamiento de los recursos. La adecuada elección y aplicación de estos agentes químicos promete no solo incrementar la productividad de oro y la plata, sino también contribuir a un enfoque más sostenible y responsable en la minería.

2.4. Definiciones conceptuales.

- a) **Ditiofosfatos:** Son compuestos orgánicos utilizados como colectores en la flotación de minerales sulfurados. Su estructura general es $RO-P(S)-(SR')_2$, donde R y R' son radicales orgánicos. Son efectivos al aplicar la flotación de los minerales sulfurados de cobre, plomo y zinc, y muestran selectividad contra sulfuros que contiene el hierro como la pirita (Cytec Industries, 2010b).
- b) **Tionocarbamatos:** Derivados de los xantatos, obtenidos al reaccionar un xantato con un alquil haluro y posteriormente con una amina. Su estructura general es $R_1-O-C(S)-NH-R_2$. Son colectores potentes y selectivos en circuitos ácidos de flotación, especialmente útiles en la flotación de sulfuros de cobre y oro (Cytec Industries, 2010b).
- c) **Cinética de flotación:** Estudio de la velocidad a la cual las partículas minerales se adhieren a las burbujas de aire y son recuperadas en el concentrado durante el proceso de flotación (Orihuela, 2019).
- d) **Oro:** Elemento químico de símbolo Au, metal precioso de color amarillo, altamente valorado en joyería y como reserva de valor (Robb, 2020).
- e) **Plata:** Elemento químico de símbolo Ag, metal precioso de color blanco brillante, utilizado en joyería, electrónica y como inversión (Robb, 2020).
- f) **Flotación:** Proceso de concentración de minerales que aprovecha las diferencias en la hidrofobicidad de las superficies minerales para separar partículas valiosas de la ganga (Wills & Finch, 2015b).
- g) **Colector:** Reactivo de flotación que se adsorbe en la superficie de las partículas minerales, aumentando su hidrofobicidad y facilitando su adhesión a las burbujas de aire (Fuerstenau et al., 2007b).

- h) **Espumante:** Reactivo que promueve la formación de una espuma estable durante la flotación, permitiendo la recolección de las partículas minerales adheridas a las burbujas(Sripriya & Murty, 2023b).
- i) **Depresor:** Sustancia que inhibe la flotación de ciertos minerales, permitiendo la separación selectiva de otros minerales de interés(S. M. Bulatovic, 2007).
- j) **Activador:** Reactivo que modifica la superficie de un mineral para aumentar su capacidad de flotación(Young, 2019).
- k) **pH:** Medida de la acidez o alcalinidad de una solución, factor que determina la flotación de los minerales, ya que influye en la adsorción de reactivos y en la selectividad del proceso(Marsden & House, 2006).
- l) **Pirita:** Mineral de sulfuro de hierro (FeS_2), común en depósitos de oro y plata, que puede afectar la selectividad en la flotación debido a su similitud con otros sulfuros metálicos(Marsden & House, 2006).
- m) **Selectividad:** Capacidad del proceso de flotación para separar eficientemente los minerales valiosos de los no deseados, minimizando la recuperación de la ganga(Drzymała & Swatek, 2007b).
- n) **Granulometría:** Distribución de tamaños de las partículas en una muestra de mineral, factor que influye en la eficiencia de la flotación y en la cinética del proceso(Cytec Industries, 2010b).
- o) **Tiempo de acondicionamiento:** Período durante el cual los reactivos de flotación se mezclan con la pulpa mineral antes de la introducción de aire, asegurando una adecuada interacción entre reactivos y superficies minerales(Cytec Industries, 2010b).

2.5. Hipótesis de la Investigación.

2.5.1. Hipótesis General.

El uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos influirá en la cinética de flotación de oro y plata.

2.5.2. Hipótesis Específicos.

El empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata.

El empleo de colector tionocarbonatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata.

El tiempo empleado en la cinética de flotación influye en la recuperación de oro y plata.

2.6. Operacionalización de Variables e Indicadores.

La investigación centrada en “*Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la cinética de flotación de oro y plata*”, se detallan líneas abajo en la tabla 1.

Tabla 1

Operacionalización de las variables e indicadores

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
Uso ditiofosfatos y tionocarbomatos	Los ditiofosfatos y tionocarbomatos son colectores usados en flotación para recuperar oro y plata, mejorando la eficiencia de separación de minerales valiosos(Cytec Industries, 2010b).	- Colector	- <i>Ditiofosfatos(A-242, A-3926, A-3894)</i> - <i>Tionocarbomatos (MX-945, MX-5160)</i> - Tiempo
Dependiente			
Cinética de flotación	La cinética de flotación de oro y plata se refiere al estudio de la velocidad de reacción de los procesos de flotación que permiten la separación de estos metales preciosos de otros minerales(Fuerstenau et al., 2007b).	- Eficiencia	- Concentrado (g/t) - Recuperación (%)
Intervinientes			
Condiciones de operación en la flotación de minerales	Son aquellos factores que intervienen en el proceso de flotación pero no se considera en el caso de estudio(NIIR Project Consultancy Services, 2008).	- Físico químico	- Densidad de pulpa - Granulometría. - pH - Reactivos (activadores, depresores) - Mineralogía

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico.

3.1.1. Tipo de Investigación.

En el estudio que se presente, es de carácter aplicada, ya que busca optimizar la flotación como proceso para obtener oro y plata mediante el uso de ditiofosfatos y tionocarbamatos, con enfoque práctico y resultados transferibles a la industria minera. Se basa en metodologías experimentales para mejorar la eficiencia y selectividad del proceso(Namakforoosh, 2000).

3.1.2. Nivel de Investigación.

El trabajo se caracteriza por su naturaleza explicativo, ya que en este caso se busca identificar y comprender las relaciones causa-efecto entre el uso de ditiofosfatos y tionocarbamatos y la eficiencia en la flotación de oro y plata. Mediante experimentación, analiza cómo estos reactivos influyen en la recuperación de metales, explicando los mecanismos químicos y físicos involucrados(Bernal Torres, 2006).

3.1.3. Diseño de la Investigación.

En cuanto al diseño de investigación, pertenece a lo experimental, en el proceso se manipulan variables independientes (concentración de ditiofosfatos y tionocarbamatos) para observar su efecto en el tiempo sobre la recuperación de oro y plata. Se utilizan grupos de control y pruebas replicadas en condiciones controladas para establecer relaciones causales y optimizar el proceso de flotación(Gómez, 2006).

3.1.4. Enfoque de la Investigación.

La perspectiva de la investigación empleado es mixto, este permite realizar una combinación de métodos cuantitativos (experimentación controlada para medir la eficiencia de

recuperación de oro y plata) y cualitativos (análisis de interacciones químicas y mecanismos de flotación). Esto permite una comprensión integral del efecto de ditiofosfatos y tionocarbamatos en el proceso (Hernandez, 2018).

3.2. Población y Muestra.

3.2.1. Población de la Investigación.

La población objetiva de estudio estaba conformada por el mineral almacenado en la chancadora de grueso almacenado. El almacén del mineral se realiza de acuerdo a la campaña que nos permite realizar la flotación de acuerdo al tiempo programado.

3.2.2. Muestra de la Investigación.

El mineral empleado para realizar la prueba de flotación para el estudio se extrajeron por método al azar cada 2 metros, hasta obtener una muestra de 50 kilos, las cuales se llevaron al laboratorio, donde se realizó en primer lugar chancado y luego la clasificación por la malla 10m los gruesos se retornaron al chancado y los finos se llevaron a un mezclador, para homogenizar luego realizar un carteo de la muestra hasta llegar a un 1 kilo aproximadamente las cuales se empaquetaron aproximadamente 20 muestras de 1 kilo para realizar las pruebas, de flotación, caracterización y las leyes de los elementos deseados a recuperación, como el oro y la plata.

3.3. Equipo, Materiales, Reactivos, Método, Procedimiento.

3.3.1. Equipo, Materiales y Reactivos.

a) Equipo.

Preparación de muestra

- **Trituradora de mandíbulas:** Para reducir el tamaño del mineral.
- **Molino de bolas:** Para obtener una granulometría de $80\% < 75 \mu\text{m}$.
- **Tamizadora (Tyler o ASTM):** Para control de tamaño de partícula.

- **Balanza analítica:** Para pesar reactivos y muestras con precisión.

Flotación

- **Celda de flotación de laboratorio** (tipo Denver o Wemco): Para pruebas en batch.
- **Compresor de aire:** Para suministrar aire a la celda de flotación.
- **Agitador mecánico o magnético:** Para preparación y homogenización de reactivos.

Medición y análisis

- **pH-metro:** Para control del pH de la pulpa.
- **Conductímetro:** Para verificar la calidad del agua de proceso.
- **Espectrofotómetro de absorción atómica (AA):** Para análisis químico de oro, plata y otros metales.
- **Ensayo al fuego:** Para determinar contenido de oro y plata.

Equipos auxiliares

- **Filtros de vacío o de presión:** Para deshidratación de concentrados.
- **Estufa de secado:** Para eliminar humedad en concentrados.
- **Mufla y crisoles:** Para ensayos de fuego.
- **Vidriería de laboratorio** (beakers, buretas, matraces): Para preparación de reactivos.

b) Materiales y reactivos

Mineral de estudio

- Mineral aurífero y argentífero con sulfuros asociados (pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, esfalerita, entre otros).

Reactivos de flotación

➤ **Colectores:**

- ✓ A-404, Z-6.
- ✓ Ditionofosfatos (DTP) → A242, A3926, A3894, DTP comercial.
- ✓ Tionocarbamatos → MX-945, MX-5160 (IPETC).

➤ **Espumantes:**

- ✓ MIBC (Metil isobutil carbinol), Aceite de pino, Alcoholes poliglicólicos.

➤ **Modificadores:**

- ✓ Reguladores de pH: Cal (CaO), Soda cáustica (NaOH), Ácido sulfúrico (H₂SO₄).
- ✓ Depresores: Sulfato de zinc (ZnSO₄), Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅), Cianuro de sodio (NaCN).

○ **Activadores:**

- ✓ Sulfato de cobre (CuSO₄).

➤ **Agua de proceso** (potable o reciclada de planta).

3.3.2. Método.

Se utilizaron la flotación por espuma en laboratorio para evaluar la recuperación de oro y plata mediante el uso de ditionofosfatos y tionocarbamatos como colectores. Se variarán parámetros como la dosificación de colectores, pH y tiempo de flotación para optimizar la recuperación.

Diseño experimental: Variables independientes, tipo y dosificación de colectores, pH de la pulpa, tiempo de acondicionamiento.

Variables dependientes: Recuperación (%) y ley de oro y plata en concentrado.

3.3.3. Procedimiento.

a) Preparación de la muestra

- Triturar el mineral hasta obtener un tamaño de $80\% < 2 \text{ mm}$.
- Molienda en molino de bolas hasta alcanzar $80\% < 75 \mu\text{m}$.
- Homogeneizar y dividir la muestra en alícuotas representativas.

b) Flotación experimental

Preparación de la celda de flotación

- Colocar 1 kg de muestra en la celda con 2.5 L de agua.
- Ajustar el pH con cal o H_2SO_4 según el diseño experimental.

Acondicionamiento de reactivos

- Agregar modificadores: ZnSO_4 (depresor de esfalerita), CuSO_4 (activador de sulfuros de cobre si es necesario).
- Dosificar los colectores (DTP o Tionocarbomatos) y acondicionar por 3-5 minutos.
- Añadir el espumante y mezclar por 1 minuto.

c) Flotación

- Iniciar la flotación con aireación durante 5-10 minutos.
- Recolectar las espumas en intervalos de tiempo (1, 3, 5 y 7 minutos).
- Filtrar y secar los concentrados obtenidos.

d) Análisis de resultados

- Pesar el concentrado y relave seco.
- Analizar químicamente oro y plata por absorción atómica o ensayo al fuego.
- Calcular la recuperación y la ley de oro y plata en el concentrado.

e) Optimización

- Repetir pruebas con variaciones en colectores, pH y tiempos de flotación para determinar las condiciones óptimas.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.4.1. Técnicas para la Recopilación de Datos.

En la investigación realizada, se emplearon la técnica de observación para el monitoreo sistemático del proceso de flotación, registrando variables como la formación de espuma, peso adquirido de la flotación en diferentes tiempos adherencia de partículas y para luego emplear para el análisis de leyes y su posterior calculo para la recuperación de oro y plata. Se emplean balanzas analíticas, espectrometría y análisis químicos para garantizar precisión en la recolección de datos(Yuni & Urbano, 2007).

3.4.2. Instrumentos para la Recolección de Datos.

Para la toma de datos, se utilizaron tablas estructuradas, cámara fotográfica y hojas de registro diseñadas para documentar variables como peso, leyes de oro y plata, y condiciones del proceso (pH, dosificación de reactivos). Estas herramientas permiten organizar y sistematizar la información recolectada durante las pruebas de flotación(Gil Pascual, 2016). Los instrumentos para la recolección de datos incluyen balanzas analíticas (para medir pesos), espectrómetros de absorción atómica (para determinar leyes de oro y plata), y equipos de análisis químico (para evaluar concentraciones de reactivos). También se utilizan celdas de flotación y software especializado para registrar datos en tiempo real(Yuni & Urbano, 2007).

3.5. Técnicas para el Procesamiento de la Información.

En la investigación experimental sobre el "Uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos en la flotación de oro y plata", se aplicaron el método de estadística descriptiva para resumir y organizar

los datos recolectados, como promedios, desviaciones estándar y distribuciones de frecuencia(Fernández et al., 2002). Esta técnica permite caracterizar el comportamiento de variables clave, como la recuperación de metales, la dosificación de reactivos y las condiciones del proceso. Herramientas como Microsoft Excel, jamovi son útiles para generar gráficos y tablas que facilitan la interpretación de los resultados(Rey Graña & Ramil Díaz, 2007).

Por otro lado, la estadística inferencial se utiliza para analizar relaciones causales y probar hipótesis, mediante pruebas como ANOVA, regresión lineal o pruebas t(Vargas Sabadías, 1995). Esto permite determinar si los cambios en la dosificación de ditiofosfatos y tionocarbamatos tienen un impacto significativo en la eficiencia de la flotación. Software especializado como Minitab, R o Python con librerías estadísticas (pandas, SciPy) son empleados para realizar estos análisis, asegurando conclusiones válidas y confiables(Alea Riera et al., 2001).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Condiciones de pruebas experimentales.

En los ensayos realizados experimentales se emplearon 1 kilo de mineral con una riqueza de 1.89 (g/t) Au, 31.75 (g/t) Ag, 0.07 (%) Cu, 1.06% Pb, 0.99% Zn, 10.94% Fe y 1.48% de As las cuales se sometieron a una liberación 82% pasante a la malla 200 en un periodo de 12 minutos a una 60% de sólidos.

Tabla 2

Ley de cabeza reporte laboratorio químico

Au (g/t)	Ag (g/t)	(%) Cu	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)	As (%)
1.89	31.75	0.07	1.06	0.99	10.94	1.48

Tabla 3

Reactivos empleados en las pruebas experimentales

	pH	ZnSO₄(g/t)	A-404 (g/t)	Reactivo prueba (g/t)	Z-6 (g/t)	MIBC (g/t)
P1 -St	7.3	149.90	16.39		19.99	9.79
P2 - A242	7.3	149.94	16.39	8.20	19.99	9.80
P3 - MX945	7.3	149.93	16.39	8.20	19.99	9.80
P4 - A3926	7.3	149.91	16.39	8.20	19.99	9.79
P5 - MX5160	7.3	149.89	16.39	8.19	19.99	9.79
P6 - A3894	7.3	149.83	16.38	8.19	19.98	9.79

En la tabla 2 se describe las leyes de cabeza del mineral tratada y en la tabla 3 se detallan los reactivos empleados en cada prueba experimental a nivel de laboratorio.

4.1.2. Resultados de las pruebas experimentales.

El resultado de los ensayos realizadas donde se emplearon los colectores o promotores los ditiofosfatos y los tionocarbomatos, en base a una prueba estándar, 3 reactivos de ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 y los tiocarbomatos MX-945 y MX-5160. Las muestras se extrajeron con en 30 segundos, 60 segundos, 120 segundos y 240 segundos como se aprecia en las tablas 4 y 5.

Tabla 4

Resultados del concentrado de las 6 puebas las leyes de Au g/t

	Tiempo (min)	St (g/t Au)	A-242 (g/t Au)	MX-945 (g/t Au)	A-3926 (g/t Au)	MX-5160 (g/t Au)	A-3894 (g/t Au)
Py - I	0.50	9.24	16.69	9.90	8.71	11.94	9.96
Py - II	1.00	8.89	14.35	9.31	8.31	10.68	9.39
Py - III	2.00	8.45	12.61	8.73	7.86	9.49	8.69
Py - IV	4.00	7.76	11.25	7.72	6.98	8.07	7.67

Para la calidad del oro en la tabla 4 de las 6 pruebas realizadas la prueba 2 con A-242 se tiene los mejores resultados en el tiempo una ley 16.69 g/t para 30 segundos y 11.25 g/t para un periodo de de 240 segundos (4 minutos), seguida con el colector MX-5160 entre 11.94 g/t en el primer muestreo y el aglomerado de durante los 4 minutos se tiene un 8.07 g/t.

Tabla 5

Resultado del concentrado de las 6 pruebas leyes de Ag g/t

	Tiempo (min)	St (g/t Ag)	A-242 (g/t Ag)	MX-945 (g/t Ag)	A-3926 (g/t Ag)	MX-5160 (g/t Ag)	A-3894 (g/t Ag)
Py - I	0.50	157.62	182.14	168.67	138.51	155.78	135.62
Py - II	1.00	134.87	144.77	139.78	126.09	131.79	116.00
Py - III	2.00	116.16	121.03	118.41	115.35	112.96	100.99
Py - IV	4.00	99.81	105.31	98.71	96.61	94.76	88.18

Para la plata en la tabla 5 la prueba 2 con A-242 tiene los mejores resultados obteniendo en los 30 segundos de 182.14 g/t y pasado los 4 minutos y el aglomerado se tiene 105.31 g/t. seguido por la prueba 3 MX-945 con una ley de 168.67 g/t en los 30 segundos y después de 4 minutos el acumulado tiene 98.71 g/t.

4.1.3. Recuperación y calidad de concentrado de Au - Ag.

En lo que respecta al proceso de flotación y la captación del oro y plata se incrementa durante el tiempo que va transcurriendo lo que se puede ver en la tabla 6 y7 para las 6 pruebas realizados.

Tabla 6
Recuperación de oro en las 6 pruebas realizadas

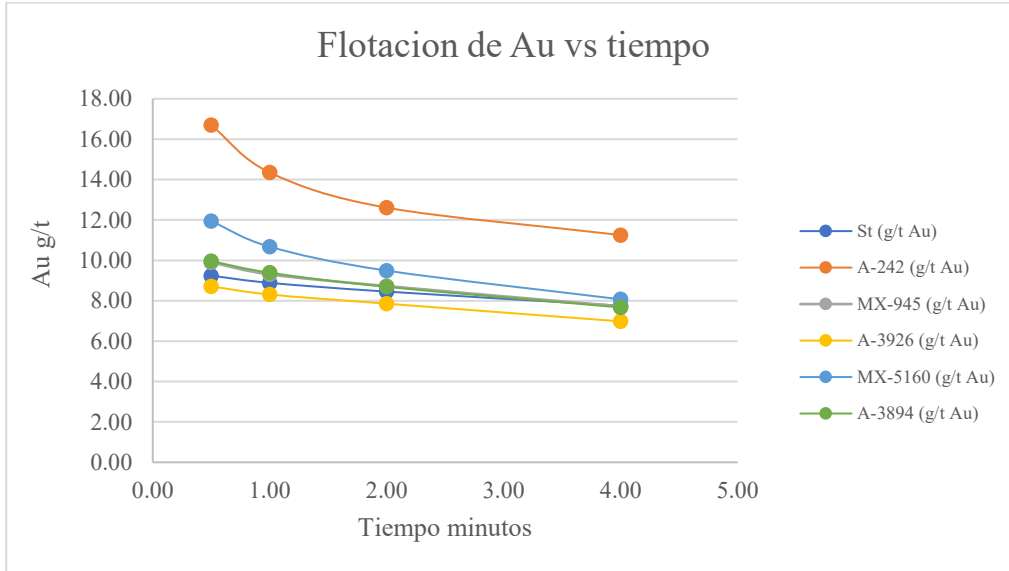
Tiempo (min)	St (% Au)	A-242 (% Au)	MX-945 (% Au)	A-3926 (% Au)	MX-5160 (% Au)	A-3894 (% Au)
0.50	19.78	21.44	17.41	17.92	28.06	25.78
1.00	31.58	38.19	29.07	29.49	40.00	42.04
2.00	44.46	51.72	42.49	41.89	50.94	55.10
4.00	57.09	62.04	54.84	55.76	62.13	65.32

La recuperación del oro de las 6 pruebas de acuerdo la tabla 6 se tiene en la prueba 6 con A-3894 al alcanzar el 65.32% en 4 minutos, seguida de la prueba 5 MX-5160 del 62.13% y seguido por la prueba 2 al obtener una recuperación del 62.04% en un periodo de 4 minutos.

Tiempo (min)	St (%Ag)	A-242 (%Ag)	MX-945 (%Ag)	A-3926 (%Ag)	MX-5160 (%Ag)	A-3894 (%Ag)
0.50	23.88	22.01	23.32	20.13	28.52	27.42
1.00	33.92	36.24	34.32	31.61	38.47	40.57
2.00	43.23	46.70	45.31	43.46	47.24	50.04
4.00	51.99	54.60	55.10	54.54	56.84	58.67

Figura 4

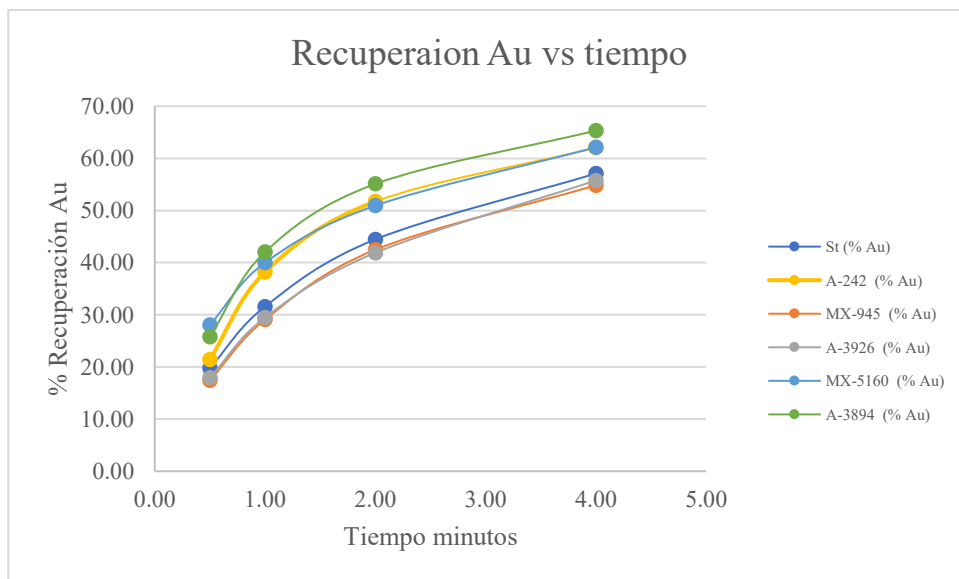
Flotación de Au g/t en las 6 pruebas realizadas



Se puede apreciar en la figura 4 la curva de la ley de oro en g/t en relación al tiempo tiende a decrecer debido a la flotación de otras impurezas, la prueba 2 tiene mayor calidad A-242 (g/t Au), seguida de 5 MX-5160 (g/t Au).

Figura 5

Recuperación de Au en las 6 pruebas



La curva de recuperación del oro en la figura 5, se incrementa a medida que pasa el tiempo ya que se van flotando el oro y otros minerales, la mayor recuperación se tiene en la prueba 6 A-3894 (%Au), segunda por la prueba 5 y prueba 2.

Figura 6

Cinetica de flotación de plata en las 6 pruebas

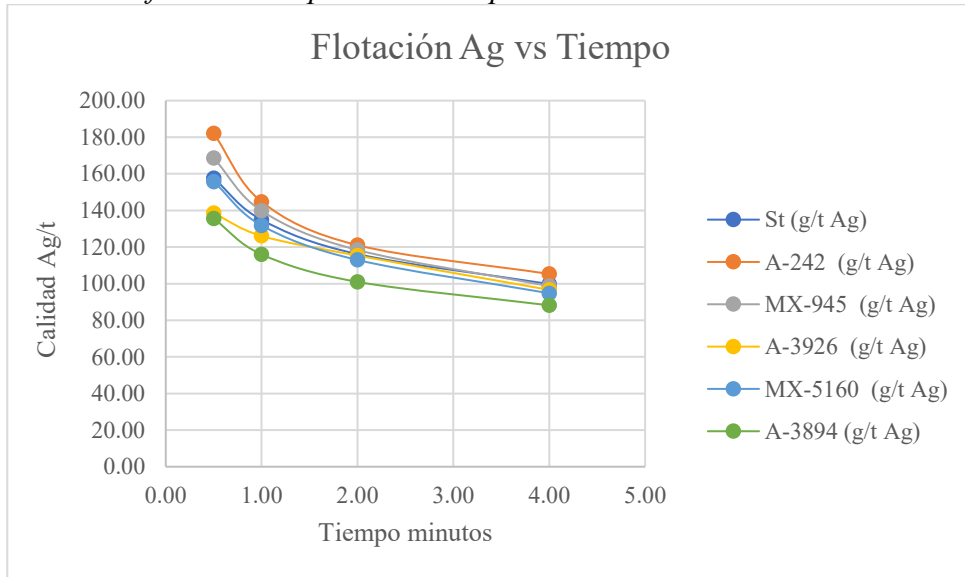
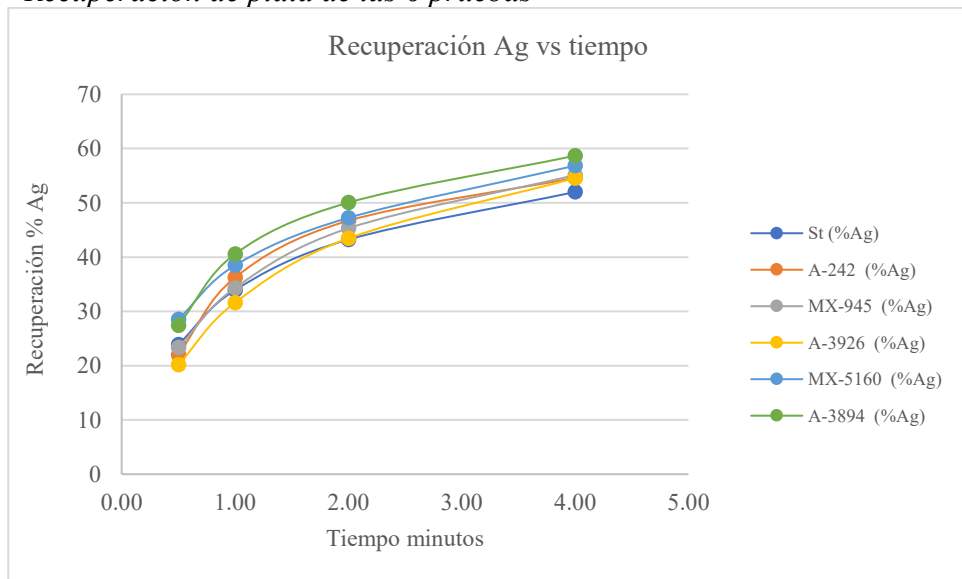


Figura 7

Recuperación de plata de las 6 pruebas



La flotación de minerales de plata según figura 7 decrece la calidad de la plata en función del tiempo ya que en el tiempo otros minerales van flotando y debido a ello decrece la calidad del concentrado en relación a la plata, la mejor ley de concentrado respecto a la plata sobre sale en el experimento de la prueba 2, seguida en el experimento 3. Por otra parte, en tabla 7 se muestra la línea de recuperación de la plata, va incrementado se en relación al tiempo, teniendo mayor recuperación en la prueba 6 A-3894 (%Ag), seguida por la prueba 5 MX-5160 (%Ag).

4.1.4. Flotación y recuperación Au y Ag en relación de los ditiofosfatos

Tabla 7

Flotación de oro empleando los ditiofosfatos

Tiempo (min)	St (g/t Au)	A-242 (g/t Au)	A-3926 (g/t Au)	A-3894 (g/t Au)
0.50	9.24	16.69	8.71	9.96
1.00	8.89	14.35	8.31	9.39
2.00	8.45	12.61	7.86	8.69
4.00	7.76	11.25	6.98	7.67

Figura 8

Flotación de Au vs tiempo con ditiofosfatos

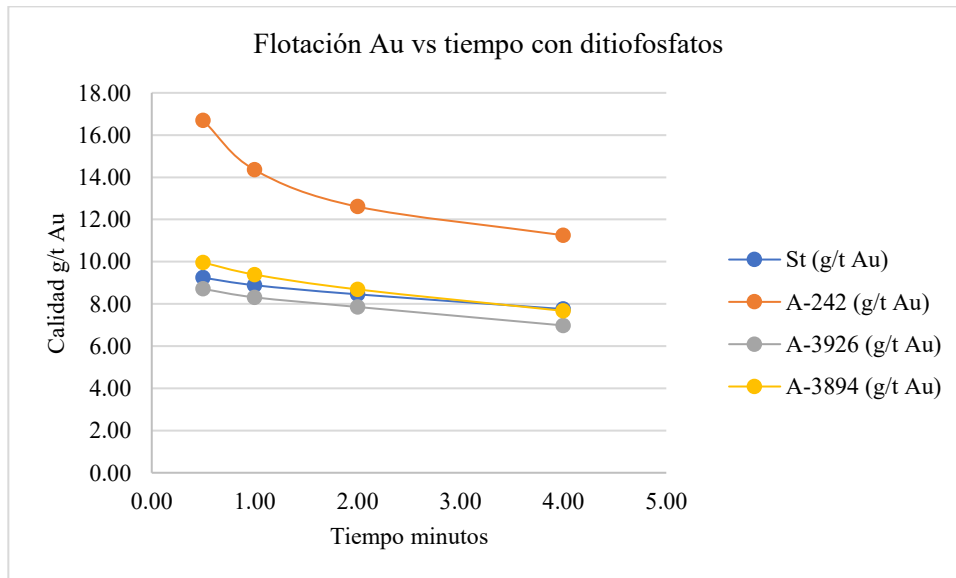
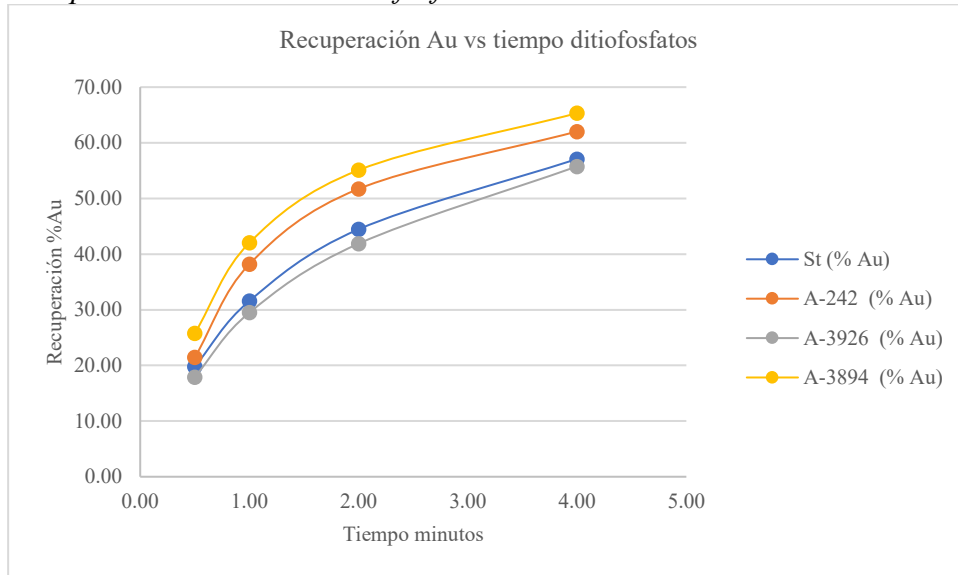


Tabla 8*Recuperación de oro con ditiofosfatos*

Tiempo (min)	St (% Au)	A-242 (% Au)	A-3926 (% Au)	A-3894 (% Au)
0.50	19.78	21.44	17.92	25.78
1.00	31.58	38.19	29.49	42.04
2.00	44.46	51.72	41.89	55.10
4.00	57.09	62.04	55.76	65.32

Figura 9*Recuperación de oro con ditiofosfatos*

En la tabla 7 y figura 8 la mejor condición respecto a la calidad de concentrado se encuentra cuando se emplea el colector A-242 prueba 2 obtenido en 4 minutos de 11.25 g/t Au , seguida por la prueba con prueba 1 estándar y prueba 6 A-3894 (g/t Au) del 7.67 g/t, mientras que la recuperación en la tabla 8 y figura 9 con la prueba 6 A-3894 (%Au) del 65.32%, seguida por la prueba 2 A-242 (%Au) 62.04%.

Tabla 9*Flotación de minerales de Ag con ditiofosfatos*

Tiempo (min)	St (g/t Ag)	A-242 (g/t Ag)	A-3926 (g/t Ag)	A-3894 (g/t Ag)
0.50	157.62	182.14	138.51	135.62
1.00	134.87	144.77	126.09	116.00
2.00	116.16	121.03	115.35	100.99
4.00	99.81	105.31	96.61	88.18

Figura 10
Flotación de minerales de plata con ditiofosfatos

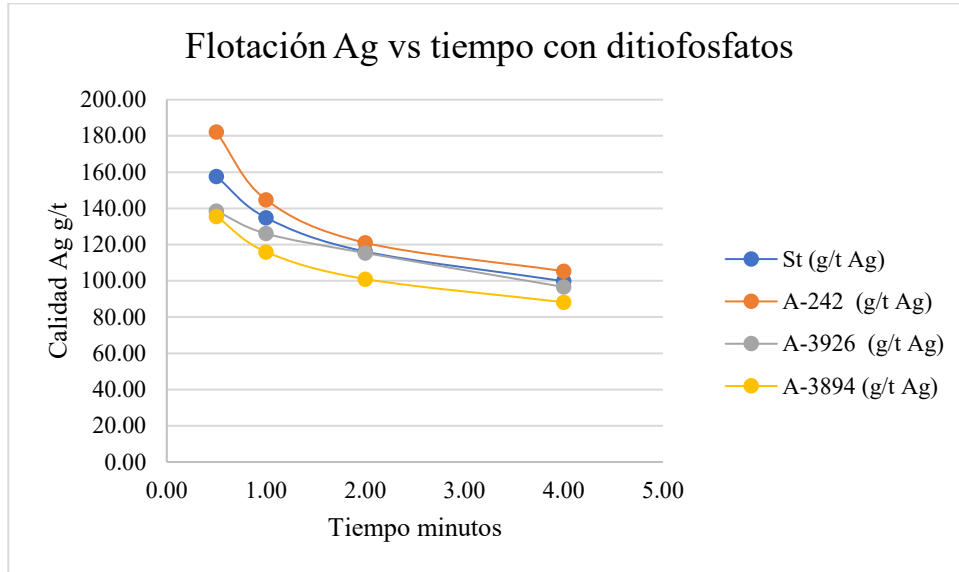
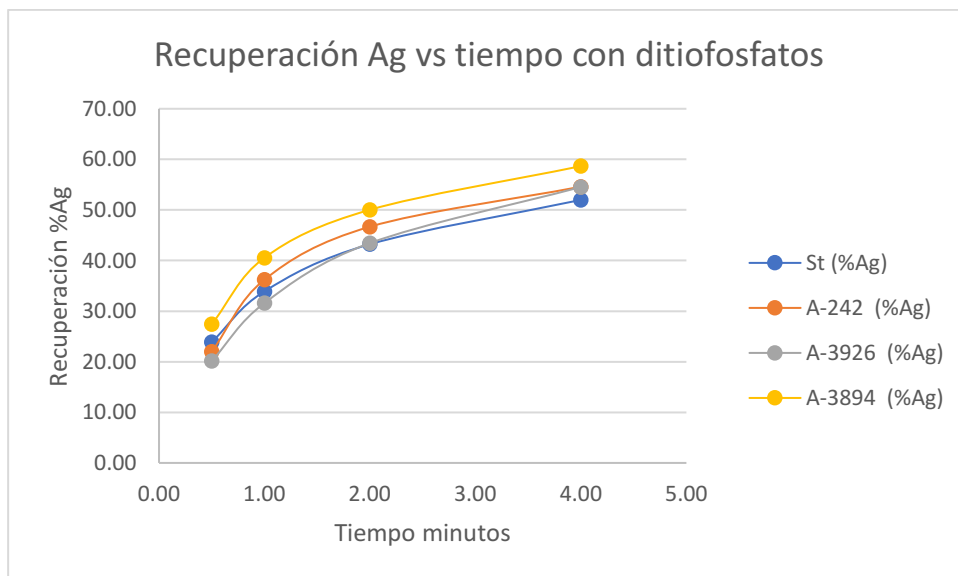


Tabla 10
Recuperación de plata con ditiofosfatos

Tiempo (min)	St (%Ag)	A-242 (%Ag)	A-3926 (%Ag)	A-3894 (%Ag)
0.50	23.88	22.01	20.13	27.42
1.00	33.92	36.24	31.61	40.57
2.00	43.23	46.70	43.46	50.04
4.00	51.99	54.60	54.54	58.67

Figura 11
Recuperación de plata con ditiofosfatos



En la tabla 9 y figura 10 la ley de la plata en el concentrado se tiene en la prueba 2 llegando a una calidad de 105.31 g/t Ag, seguida por la prueba 1 estándar de 99.81 g/t Ag. Por otra parte, en la tabla 10 y figura 11 la mejor recuperación se tiene en la prueba 6 A-3894 (%Ag) del 58.67% en 4 minutos, seguida por la prueba 2 A-242 (%Ag) del 54.60% en el periodo de 240 segundos.

4.1.5. Flotación y recuperación de Au y Ag en relación de los tiocarbomatos

En la flotación de oro y plata con colectores tiocarbomatos se emplearon prueba estándar, MX-945 y MX-5160 en las pruebas 3 y prueba 5.

Tabla 11

Flotación y recuperación de oro con tiocarbomatos

Tiempo (min)	St (g/t Au)	MX-945 (g/t Au)	MX-5160 (g/t Au)	St (% Au)	MX-945 (% Au)	MX-5160 (% Au)
0.50	9.24	9.90	11.94	19.78	17.41	28.06
1.00	8.89	9.31	10.68	31.58	29.07	40.00
2.00	8.45	8.73	9.49	44.46	42.49	50.94
4.00	7.76	7.72	8.07	57.09	54.84	62.13

Figura 12

Curva de flotación de oro con tiocarbomatos

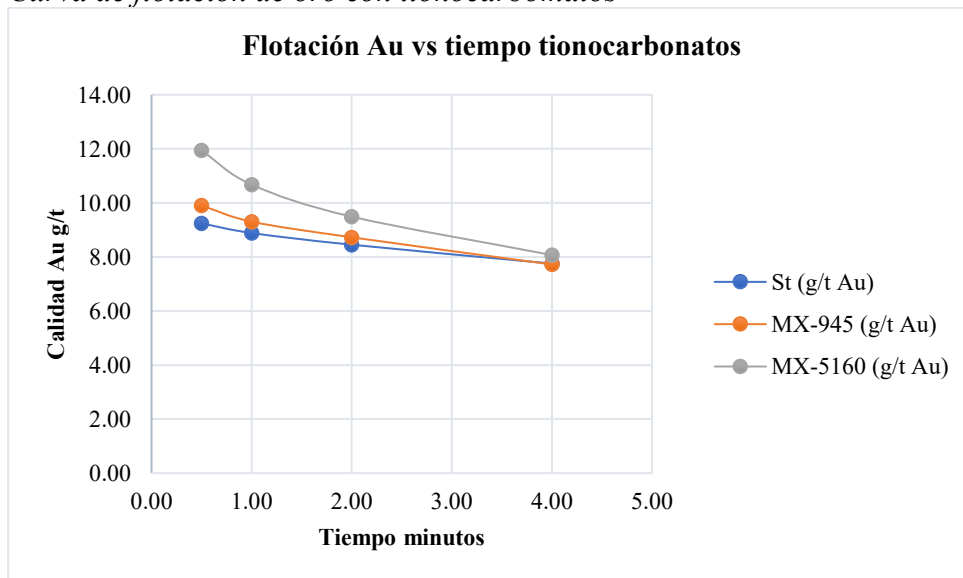
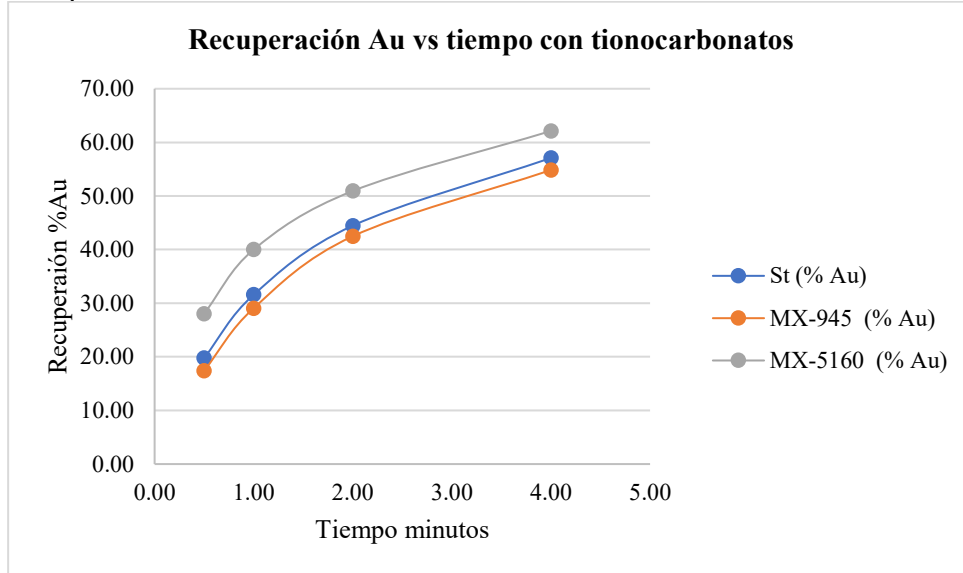


Figura 13*Recuperación de oro con tionocarbomatos*

En las pruebas con tiocarbomatos en la tabla 11 y figura 12, 13 se tiene la mejor en la prueba 5 donde la flotación tuvo una calidad de 8.07 g/t para el Au con una extracción promedio del 62.13% para 4 minutos de flotación.

Tabla 12*Flotación y recuperación de plata con tiocarbomatos*

Tiempo (min)	St (g/t Ag)	MX-945 (g/t Ag)	MX-5160 (g/t Ag)	St (%Ag)	MX-945 (%Ag)	MX-5160 (%Ag)
0.50	157.62	168.67	155.78	23.88	23.32	28.52
1.00	134.87	139.78	131.79	33.92	34.32	38.47
2.00	116.16	118.41	112.96	43.23	45.31	47.24
4.00	99.81	98.71	94.76	51.99	55.10	56.84

En la tabla 11 y figura 14 y 15 la calidad de plata en el concentrado los mejores resultados se encuentran en la prueba 1 estándar del 99.81 g/t a comparación de la prueba 3 MX-945 98.71 g/t y a prueba 5 MX-94.76 g/t Au. Mientras que la recuperación recae en la prueba 5 MX-5160 del 56.84%, seguido por la prueba 3 MX-945 de 55.10% y por último de 51.99% para la prueba 1 estándar.

Figura 14
Curva de flotación de plata con tionocarbomatos

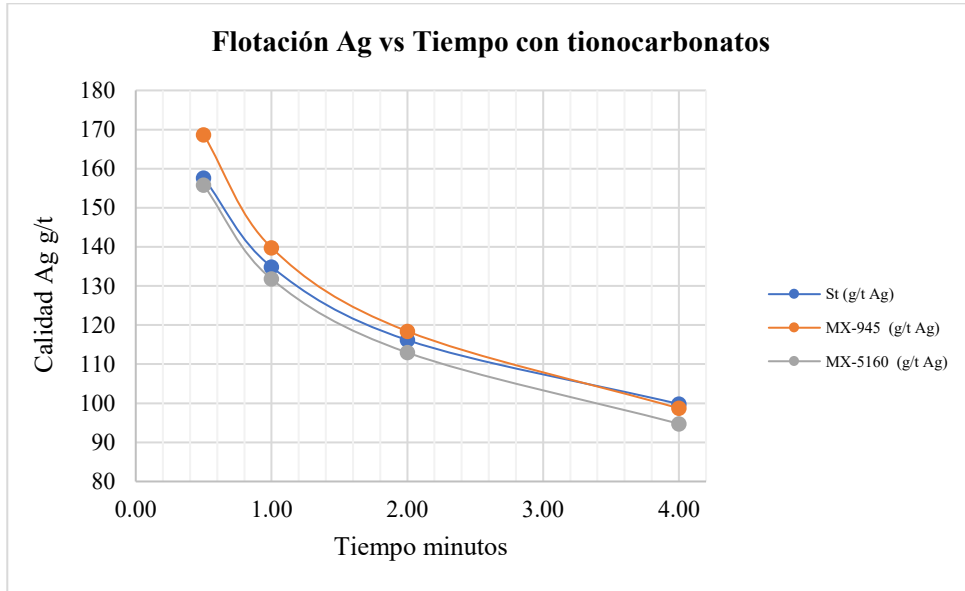


Figura 15
Curva de recuperación de plata con tionocarbomatos

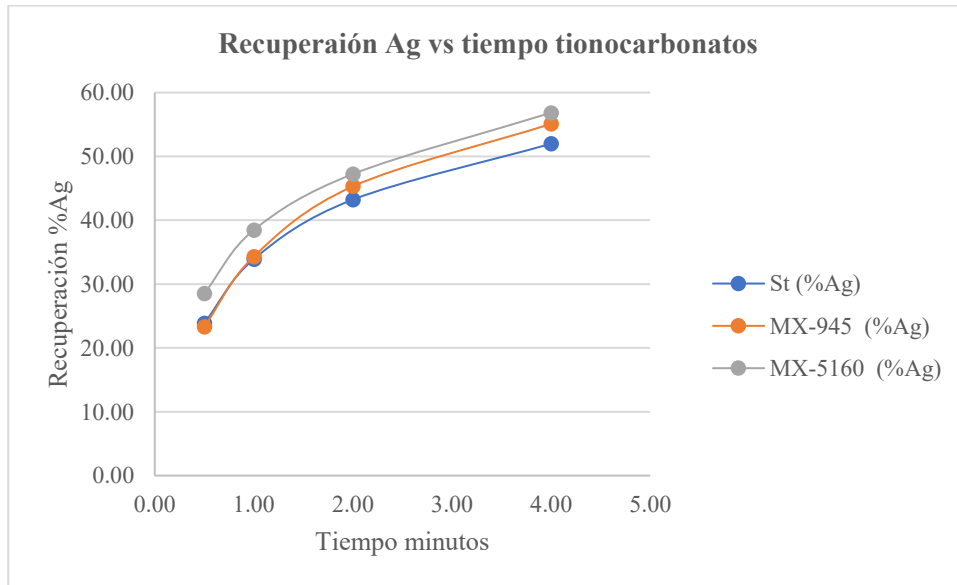
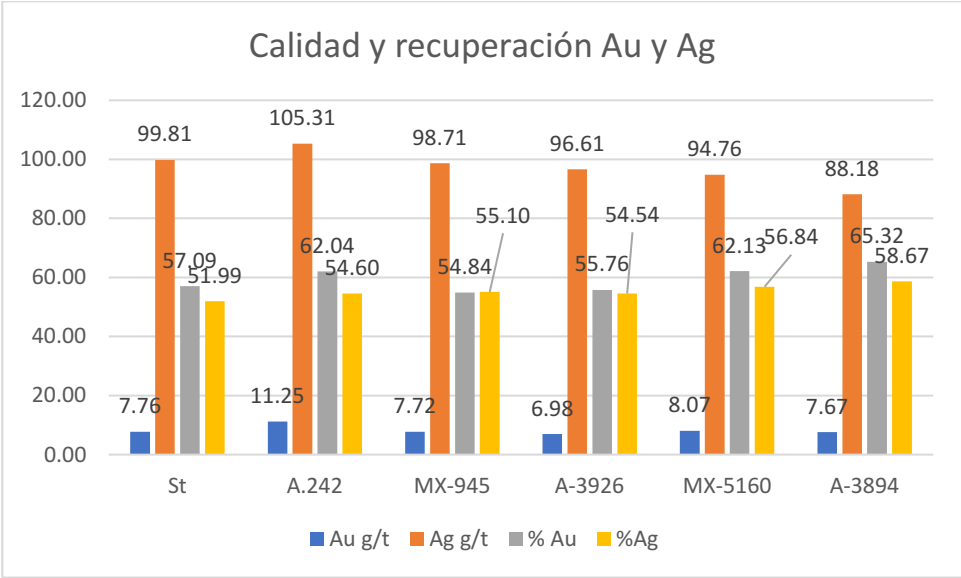


Figura 16

La leyes y recuperación de Au-Ag



4.2. Contrastación de hipótesis.

4.2.1. Contrastación de hipótesis general.

Ha: El uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos influirá en la cinética de flotación de oro y plata.

Ho: El uso de ditiofosfatos y tionocarbomatos no influirá en la cinética de flotación de oro y plata.

Tabla 13

Análisis de varianza para la ley y recuperación de Au-Ag

Variable	SS	Df	MS	SS	Df	MS	F	p-valor
	entre	entre	entre	dentro	dentro	dentro		
Au (g/t)	87.143	5	17.429	33.136	18	1.841	9.468	0.00015
Ag (g/t)	1 909.600	5	381.920	12 145.693	18	674.761	0.566	0.725
Au (%)	464.620	5	92.924	4 806.460	18	267.026	0.348	0.877
Ag (%)	137.100	5	27.420	3 240.350	18	180.020	0.152	0.977

El análisis de la ley y la recuperación del oro y plata en la tabla 13 en relación al empleo de los colectores ditiofosfatos y tiocarbomatos para la ley de oro en el concentrado tiene un valor de p calculado es de 0.00015 menor al valor de 0.05, por lo que la hipótesis alternativa se acepta y se rechaza la nula. Por otra parte, para la ley de la plata y la recuperación de oro y plata se tiene el valor de p calculado de 0.725, 0.877 y 0.977 mayor al valor de p 0.05 y se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa para estos casos.

4.2.2. Hipótesis Específicos.

Ha: El empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata.

H₀: El empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación no influye en la calidad de oro y plata.

Tabla 14

Anova para ley de Au (g/t) en el concentrado

Fuente	SS	df	MS	F	p-valor	Decisión ($\alpha=0.05$)
Entre grupos	76.1600	2	38.0800	16.224	0.00104	Rechazar H ₀ (p < 0.05)
Dentro de grupos	21.1237	9	2.3471			
Total	97.2837	11	—			

Tabla 15

Anova para la ley de Ag (g/t) en el concentrado

Fuente	SS	df	MS	F	p-valor	Decisión ($\alpha=0.05$)
Entre grupos	1 650.6750	2	825.3375	1.339	0.3096	No rechazar H ₀ (p > 0.05)
Dentro de grupos	5 545.3841	9	616.1538			
Total	7 196.0591	11	—			

Para la ley de oro y plata en el concentrado en la tabla 14 y 15, el valor de p calculado para la ley del oro para los ditiofosfatos es de 0.00104 menor a 0.05, mientras que para la plata en el concentrado tiene un valor de 0.0096 mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa para el caso de la ley del oro en el concentrado y se rechaza la hipótesis nula, mientras que para la ley de la plata se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

H_a: El empleo de colector tionocarbomatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata.

H₀: El empleo de colector tionocarbomatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación no influye en la calidad de oro y plata.

Tabla 16

Anova para los tiocarbomatos

Variable	F-estadístico	p-valor	Decisión ($\alpha=0.05$)
Au (g/t)	1.420	0.278	No rechazar H_0 ($p > 0.05$)
Ag (g/t)	0.145	0.717	No rechazar H_0 ($p > 0.05$)

Los valores de p calculado en la tabla 16, para el caso del oro con tiocarbomatos es de 0.278 mayor a 0.05, mientras que para la plata es de 0.707 superior al valor de 0.05, lo que conduce a rechazar la hipótesis alternativa y aceptar la hipótesis nula.

Ha: El tiempo empleado en la cinética de flotación influye en la recuperación de oro y plata.

Ho: El tiempo empleado en la cinética de flotación no influye en la recuperación de oro y plata.

Tabla 17

Análisis de anova para la recuperación del oro y plata en relación del tiempo

Variable	F-estadístico	p-valor	Decisión ($\alpha=0.05$)
%Au	64.04	1.97×10^{-10}	Rechazar H_0 ($p < 0.05$)
%Ag	131.18	2.53×10^{-13}	Rechazar H_0 ($p < 0.05$)

En el análisis de la varianza para la recuperación del oro y plata en la tabla 17, para la recuperación de oro y plata tiene valor de p calculado de menor a 0.05 , por lo que la hipótesis alternativa predetermina ya el tiempo influye en la recuperación de oro y plata.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Los estudios internacionales revisados coinciden en varios puntos clave con los hallazgos de nuestro experimento. Ozcelik & Ekmekci (2024) señalan que, aunque la flotación de pirita aurífera con colectores clásicos alcanza altas recuperaciones, el grado de concentrado suele quedar por debajo de 10 g/t debido al arrastre de impurezas. En nuestra prueba estándar (St) observamos 9.24 g/t de Au a 30 s, decreciendo hasta 7.76 g/t a 4 min, lo cual corrobora la tendencia a la pérdida de ley con el tiempo por arrastre de ganga, tal como describen estos autores. Asimismo, la eficacia de la separación electroquímica que mencionan para discriminar pirita aurífera de pirita estéril sugiere vías futuras para reducir el arrastre de impurezas en nuestro sistema de flotación (Ozcelik & Ekmekci, 2024).

Por otra parte, la modelación atómica de Kumar et al. (2022) demuestra que la afinidad del colector 2-mercaptobenzotiazol sobre la superficie de pirita supera a la de calcopirita gracias a enlaces Fe-S más fuertes; esto explica por qué, en nuestros experimentos, los ditiofosfatos A-242 y A-3894 lograron aumentos de ley de Au por encima de 16 g/t en los primeros 30 s. Estos resultados refuerzan la idea de diseñar colectores con grupos sulfurados optimizados para mejorar la selectividad hacia minerales auríferos y minimizar la flotación de ganga.

En el caso de la recuperación de plata, Zhang et al. (2024) indican que la adopción de reactivos secundarios y depresores adecuados es crucial para concentrados de minerales de plata refractarios. Nuestros datos muestran que A-242 alcanzó hasta 182 g/t Ag al inicio y 54.6 % de recuperación a los 4 min, mientras que MX-945 y MX-5160, aunque menos eficientes en grado, mantuvieron recuperaciones superiores al 55 % al final. Esto coincide con la recomendación de

estos autores de combinar xantatos y ditiofosfatos para mejorar tanto ley como recuperación en sulfuros de plata asociados.

A nivel nacional, Curichahua & Paitán (2021) encontraron que el tionocarbamato IPETC favorece la flotabilidad de calcopirita sobre galena con incrementos de recuperación cercanos al 20 % a pH 9.5. De modo análogo, nuestros tionocarbamatos MX-945 y MX-5160 mostraron una recuperación de Au de 62.13 % y 50.94 % a 4 min, respectivamente, evidenciando que estos reactivos pueden competir con colectores clásicos en sistemas polimetálicos. Cantoral (2024) refuerza la importancia de la concentración de colectores: el Z-6 superó en selectividad al Z-11, lo que subraya que el diseño de las formulaciones (proporción ditiofosfato–xantato–promotor) puede optimizar la calidad del concentrado, como vemos en nuestros mejores resultados de ley y recuperación para las mezclas con MIBC.

Finalmente, García & López (2024) reportaron un 84 % de recuperación de plata a partir de relaves usando una mezcla de xantato de butilo y ditiofosfato. Nuestra recuperación de Ag con A-3894 alcanzó 58.67 %, pero a partir de cabeza de mayor ley (148 ppm). La diferencia sugiere que la matriz del relave y la textura del mineral afectan la eficiencia del colector, aspecto que deberíamos explorar mediante microanálisis de superficie y pruebas de dosificación secuencial.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

En merito a los contrastes realizados, el tipo de colector influye significativamente sólo en la ley de oro (Au g/t) del concentrado, mientras que no muestra efecto sobre la ley de plata (Ag g/t) ni sobre las recuperaciones (%) de ninguno de los dos metales.

La comparación entre estos tres colectores reveló diferencias significativas en la ley de Au del concentrado ($F(2,9) = 16.22, p = 0.00104$), por lo que sí se confirma que influyen en la calidad de oro. En cambio, no hubo efecto significativo sobre la ley de Ag ($F(2,9) = 1.34, p = 0.3096$).

Ni la ley de Au ($F = 1.420, p = 0.278$) ni la de Ag ($F = 0.145, p = 0.717$) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre estos dos colectores. Por tanto, no se detecta influencia de los tionocarbamatos en la calidad de concentrado.

Al variar el tiempo (0.5, 1, 2 y 4 min), tanto la recuperación de Au ($F = 64.04, p < 1 \times 10^{-9}$) como la de Ag ($F = 131.18, p < 1 \times 10^{-12}$) cambiaron de forma significativa. Esto confirma que el tiempo empleado sí influye decisivamente en la recuperación de oro y plata.

6.2. Recomendaciones.

Ajustar la concentración de A-242 y A-3894 mediante un diseño de experimentos fino (p. ej., respuestas superficiales) para maximizar la ley de Au sin sacrificar recuperación, explorando rangos alrededor de 7–10 g/t.

Reducir gradualmente el tiempo de flotación tras el punto de máximo grado (30–60 s) y complementarlo con etapas de limpieza corta (30 s) para minimizar el arrastre de impurezas y mejorar la ley final.

Incorporar pretratamientos electroquímicos de superficie (inspirados en Ozcelik & Ekmekci, 2024) para diferenciar pirita aurífera de estéril y potenciar la selectividad, evaluando la adición de OH^- y iones catódicos como depresores.

Ensayar a nivel piloto la mezcla de ditiofosfatos con xantato de butilo (80 g/t) y MIBC (30 g/t) en relaves de baja ley, tal como proponen estudios nacionales, para confirmar rendimiento y factibilidad económica antes de la implementación industrial.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. Referencias bibliográficas

Acarkan, N., Bulut, Gülay, Gül, Alim, Kangal, Olgaç, Karakaş, Fırat, Kökkılıç, Ozan, & and Önal,

G. (2010). The Effect of Collector's Type on Gold and Silver Flotation in a Complex Ore.

Separation Science and Technology, 46(2), 283-289.

<https://doi.org/10.1080/01496395.2010.512029>

Adams, M. D. (2005). *Advances in gold ore processing* (1st ed). Elsevier. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpegllclefindmkaj/<https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-advances-gold-ore-processing.pdf>

Adeleke, A. (2023). *Mineral Processing Technology: A Concise Introduction*. CRC Press.

Airbus. (2025). *Planta concentradora Virgen del Rosario · Matacoto 02155*. Planta concentradora

Virgen del Rosario · Matacoto 02155. https://www.google.com/maps/dir/HDP/HDP/@9.1220881,-77.7709693,210m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x91a951bd27671c1f:0xd82fcc8244e9cd43!2m2!1d-77.7701198!2d-9.122458!1m5!1m1!1s0x91a951bd27671c1f:0xd82fcc8244e9cd43!2m2!1d-77.7701198!2d-9.122458!3e0!5m1!1e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDMyNS4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D

Alea Riera, M. V., Guillen, M., Muñoz, C., Torrelles, E., & Villadomiu, N. (2001). *Estadística*

descriptiva. Aplicaciones prácticas. Edicions Universitat Barcelona.

https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_Aplicaciones_pr/aR0saoQkzIcC?hl=es-419&gbpv=1

Astucuri, V. (1994). *Introducción a la flotación de minerales* (Universidad Nacional de Ingeniería). <https://es.scribd.com/document/524165371/Book-Introd-a-Flotacion-La-de-Minerales>

Azaero Ortiz, A. (2015). *Flotacion y Concentracion de Minerales*. Scribd. <https://www.scribd.com/document/493962125/Docdownloader-com-PDF-Flotacion-y-Concentracion-de-Minerales-Angel-Azaero-Ortizpdf-Dd-56748a88233258724f83502bd8c5d111-2>

Bahrami, A., Mirmohammadi, M., Ghorbani, Y., Kazemi, F., Abdollahi, M., & Danesh, A. (2019). Process mineralogy as a key factor affecting the flotation kinetics of copper sulfide minerals. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 26(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1733-9>

Basilio, C. I., Kim, D. S., Yoon, R. H., & Nagaraj, D. R. (1992). Studies on the use of monothiophosphates for precious metals flotation. *Minerals Engineering*, 5(3), 397-409. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(92\)90219-Y](https://doi.org/10.1016/0892-6875(92)90219-Y)

Bernal Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación. https://www.google.com.pe/books/edition/Metodologia_de_la_investigacion/h4X_eFai59oC?hl=es-419&gbpv=1&dq=nivel+de+investigaci%C3%B3n+explicativo&pg=PA115&printsec=frontcover

- Bulatovic, S. (2007). *Handbook of Flotation Reagents Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*.
https://www.academia.edu/22691019/Handbook_of_Flotation_Reagents_Chemistry_Theory_and_Practice_Flotation_of_Sulfide_Ores
- Bulatovic, S. M. (2007). *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Volume 1: Flotation of Sulfide Ores*. Elsevier.
https://www.google.com.pe/books/edition/Handbook_of_Flotation_Reagents_Chemistry/NgXJUiYknNoC?hl=es-419&gbpv=1&dq=cyttec+flotation+handbook&pg=PA15&printsec=frontcover
- Cantoral, N. (2024). *Influencia de la concentración de reactivos en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos* [Universidad Nacional San Luis Gonzaga].
<https://repositorio.unica.edu.pe/items/8c3701e1-a2e7-4371-be07-7fb252847353>
- Cashman, G. (1972). *A kinetic study of flotation*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/555186/AZU_TD_BOX70_E9791_1972_507.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Chia, J. (1984). *Operaciones unitarias en procesamiento de minerales*.
- Crozier, R. (1992). *Flotation theory, reagents and ore testing* (PERGAMON PRESS).
- Curichahua Huamantica, J., & Paitan Castro, M. E. (2021). *Utilización de O-Isopropil-N-Etil Tionocarbamato Como Colector en la Flotación de la Calcopirita y Galena en la CIA Minera Casapalca SA* [Universidad del Centro del Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8321>

Cytec Industries. (2010a). *Mining chemicals handbook* (2010 edition). Cytec Industries Inc.
<https://pdfcoffee.com/qdownload/mining-chemicals-handbook-pdf-free.html>

Cytec Industries. (2010b). *Mining chemicals handbook* (2010 edition). Cytec Industries Inc.

De Santiago García, C. M., García, J. F., Ontiveros, K., Zuñiga, J., & Pacheco, D. (2022). *Efecto del tamaño de partícula sobre la recuperación por flotación de un mineral polimetálico en un proceso industrial*.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/8045?locale-attribute=es>

Derhy, M., Taha, Y., Hakkou, R., & Benzaazoua, M. (2020a). Review of the Main Factors Affecting the Flotation of Phosphate Ores. *Minerals*, 10(12), Article 12.
<https://doi.org/10.3390/min10121109>

Derhy, M., Taha, Y., Hakkou, R., & Benzaazoua, M. (2020b). Review of the Main Factors Affecting the Flotation of Phosphate Ores. *Minerals*, 10(12), Article 12.
<https://doi.org/10.3390/min10121109>

Dhar, P., Thornhill, M., & Kota, H. R. (2019). Comparison of single and mixed reagent systems for flotation of copper sulphides from Nussir ore. *Minerals Engineering*, 142, 105930.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105930>

Drif, B., Taha, Y., Hakkou, R., & Benzaazoua, M. (2018). Recovery of Residual Silver-Bearing Minerals from Low-Grade Tailings by Froth Flotation: The Case of Zgounder Mine, Morocco. *Minerals*, 8(7), 273. <https://doi.org/10.3390/min8070273>

Drzymała, J., & Swatek, A. (2007a). *Mineral processing: Foundations of theory and practice of minerallurgy*. Wroclaw University of Technology.

Drzymała, J., & Swatek, A. (2007b). *Mineral processing: Foundations of theory and practice of minerallurgy*. Wroclaw University of Technology.

- Dunne, R. (2005). Flotation of gold and gold-bearing ores. En M. D. Adams & B. A. Wills (Eds.), *Developments in Mineral Processing* (Vol. 15, pp. 309-344). Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15014-5](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15014-5)
- Elizondo-Álvarez, M. A., Uribe Salas, A., Bello Teodoro, S., & Alonso González, O. (2022). Comportamiento de flotación y mecanismos de interacción entre la Anglesita e hidroxamatos. *EPISTEMUS*, 15(31), Article 31.
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.182>
- Empirica. (2020). *Tópico 2.c: Efecto del tamaño de partícula en flotación*.
<https://empiricaconsultores.cl/topico-2-c-efecto-del-tamano-de-particula-en-flotacion/>
- Epsg. (2025). *Coordinates on a map—Pick GPS lat & long or coordinates in a projection system*.
<https://epsg.io>
- Ercelik, G., Terzi, M., Kursun, I., & Ozdemir, O. (2023). Surface chemistry and flotation properties of galena and pyrite particles in the presence of xanthate- monothiophosphate-thiocarbamate collectors. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 59(5).
<https://doi.org/10.37190/ppmp/167947>
- Escobedo Remachi, G. E., Lovera Davila, D. F., Bustinza Rivera, V. V., & Ascuña Rivera, V. B. (2023). Optimización en la recuperación y calidad de concentrados de plata de la minera Pasivos Ambientales. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 26(51), Article 51.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.24706>
- Espinoza, L. A., Iriarte, G., Espinoza, L. O., Gutarra, R., Herrera, M., B, J. Z., R, V. S. A., & G, J. A. T. (2021). Importancia de la mineralogía en la geometalurgia: Aplicación en Perú.

- Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), Article 48. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21707>
- Familysearch. (2023, junio 22). *Genealogía*. FamilySearch Wiki. https://www.familysearch.org/es/wiki/Huaylas,_Ancash,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa
- Farid, Z., Abdennouri, M., Barka, N., Jannani, Y., & Sadiq, M. (2022). Study of the effect of pH, conditioning and flotation time on the flotation efficiency of phosphate ores by a soybean oil collector. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 32(1), Article 1. <https://doi.org/10.55713/jmmm.v32i1.1212>
- Fernández, S., Cordero, J. M., Córdoba, A., & Córdoba, A. (2002). *Estadística descriptiva*. ESIC Editorial. https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva/31d5cGxXUnEC?hl=es-419&gbpv=1&dq=estadistica+descriptiva&pg=PA17&printsec=frontcover
- Fuerstenau, M. C., & Han, K. N. (2003). *Principles of Mineral Processing*. SME. https://www.google.com.pe/books/edition/Principles_of_Mineral_Processing/MDiZQCSBENMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=mineral+processing&pg=PA1&printsec=frontcover
- Fuerstenau, M. C., Jameson, G. J., & Yoon, R.-H. (2007a). *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME.
- Fuerstenau, M. C., Jameson, G. J., & Yoon, R.-H. (2007b). *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME.
- Galvan, J. M., Soria, M. de J., Carrillo, F. R., & Aguilera, E. N. (2023). Una Comparación de Reactivos Alternos al Cianuro como Lixiviantes del Oro: Una revisión. *Ciencia Latina*

Revista Científica Multidisciplinar, 7(6), Article 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8864

Ganoza, J. (2022). Flotación de partículas gruesas. *Revista Minería*.

<https://revistamineria.com.pe/raiz/flotacion-de-particulas-gruesas>

García Neyra, J. D., & López Barreto, P. M. (2024). *Aplicación de la flotación para la recuperación de plata a partir de relaves de baja ley en la empresa Aurex—Cerro de Pasco*

[Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11230>

Gil Pascual, J. (2016). *Técnicas e instrumentos para la recogida de información*. Editorial UNED.

[https://www.google.com.pe/books/edition/T%C3%89CNICAS_E_INSTRUMENTOS_PARA_LA_RECOGIDA/ANrkDAAAQBAJ?hl=es-](https://www.google.com.pe/books/edition/T%C3%89CNICAS_E_INSTRUMENTOS_PARA_LA_RECOGIDA/ANrkDAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=instrumento+para+la+toma+de+datos&pg=PT187&printsec=frontcover)

[419&gbpv=1&dq=instrumento+para+la+toma+de+datos&pg=PT187&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/T%C3%89CNICAS_E_INSTRUMENTOS_PARA_LA_RECOGIDA/ANrkDAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=instrumento+para+la+toma+de+datos&pg=PT187&printsec=frontcover)

Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Editorial Brujas.

[https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%](https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%ADa_de_la_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=dise%C3%B1o+de+investigaci%C3%B3n+experimental&pg=PA86&printsec=frontcover)

[ADa_de_la_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-](https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%ADa_de_la_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=dise%C3%B1o+de+investigaci%C3%B3n+experimental&pg=PA86&printsec=frontcover)
[419&gbpv=1&dq=dise%C3%B1o+de+investigaci%C3%B3n+experimental&pg=PA86&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%ADa_de_la_in/9UDXPe4U7aMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=dise%C3%B1o+de+investigaci%C3%B3n+experimental&pg=PA86&printsec=frontcover)

Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). *Mineral Processing Design and Operation: An Introduction*. Elsevier.

[https://www.google.com.pe/books/edition/Mineral_Processing_Design_and_Operation/Gri_yHO8HMC?hl=es-](https://www.google.com.pe/books/edition/Mineral_Processing_Design_and_Operation/Gri_yHO8HMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=Mineral+Processing+Design+and+Operation+Gri_yHO8HMC&pg=PA1&printsec=frontcover)

419&gbpv=1&dq=Parameter+Kinetics+of+mineral+flotation&pg=PA564&printsec=frontcover

Henao, J. (2023). *Recuperación de oro libre y asociado a la pirita de los relaves de la minera El Roble por el método de flotación: Parte 2* [Universidad de Antioquia].
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/818b490e-724d-4187-aa64-9e298df11c4d>

Hernandez, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Hidalgo, N., Diaz, A., & Bazán, V. (2015). Avances en la recuperación de oro y plata mediante flotación en escorias de procesamiento de menas de oro. *Boletín Geológico y Minero*, 126(4), 7-20.

Huazo Barrios, J. M., Cisneros Flores, G., Juárez Tapia, J. C., Teja Ruíz, A. M., Hernández Ortiz, O. J., & Legorreta García, F. (2024). Efecto sinérgico de tiosulfato de sodio y glicina en la lixiviación de plata, utilizando peróxido de hidrógeno como oxidante y etilenglicol, en una muestra polimetálica de Zimapán: Influencia de la temperatura. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 11(11), Article 11.
<https://doi.org/10.29057/aactm.v11i11.13140>

Ignatkina, V. A., Bocharov, V. A., & Kayumov, A. A. (2016). Basic principles of selecting separation methods for sulfide minerals having similar properties in complex ore concentrates. *Journal of Mining Science*, 52(2), Article 2.
<https://doi.org/10.1134/S1062739116020514>

Iriarte, G. K., Guillen, M., & Alfaro, E. A. (2022). Análisis de la caracterización mineralógica de los pórfidos de cobre como soporte a los procesos de flotación. *Revista del Instituto de*

- investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(50), Article 50. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24259>
- King, R. P. (2001). 9—Flotation. En R. P. King (Ed.), *Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems* (pp. 289-350). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051184-9.50013-4>
- Kumar, D., Goverapet Srinivasan, S., Jain, V., & Rai, B. (2022). Understanding flotation processes at the atomic scale using density functional theory – A case study on adsorption of 2-Mercaptobenzothiazole on chalcopyrite and pyrite surfaces. *Applied Surface Science*, 579, 152112. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.152112>
- Lopez Galvan, V. F. (2018). *Cinética de flotación y comportamiento termodinámico de la calcopirita y pirita en sistemas altamente alcalinos en la Compañía Minera Casapalca* [Universidad Central del Perú]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4871/Lopez%20Galvan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lotter, N. O., & Bradshaw, D. J. (2010). The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation. *Minerals Engineering*, 23(11), 945-951. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.03.011>
- Lynch, A. J., Johnson, N. W., Manlapig, E. V., & Thorne, C. G. (1981). *Mineral and coal flotation circuits: Their simulation and control*. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/6051814>
- Malhotra, D., Taylor, P., Spiller, E., & Levier, M. (2009). *Recent Advances in Mineral Processing Plant Design*. SME. https://www.google.com.pe/books/edition/Recent_Advances_in_Mineral_Processing_Plant/q1iiQUczjuQC?hl=es-

419&gbpv=1&dq=Kinetic+Parameters+of+Mineral+Flotation&pg=PA211&printsec=frontcover

Marsden, J., & House, I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction*. SME.

Masuda, H., Higashitani, K., & Yoshida, H. (2006). *Powder Technology: Handling and Operations, Process Instrumentation, and Working Hazards*. CRC Press.

Matis, K. A. (1994). *Flotation Science and Engineering*. CRC Press.
https://www.google.com.pe/books/edition/Flotation_Science_and_Engineering/RO9_fm5fXOoC?hl=es-419&gbpv=1&dq=FLOATATION+KINETICS+second-order+model&pg=PA4&printsec=frontcover

Mello, M., Grisol, S., Marks Brasil, T. F., Alves, P., & Gomes de Oliveira, G. (2020). Flotação seletiva para o reprocessamento de rejeitos provenientes do processo de lixiviação da Kinross Paracatu / Selective flotation for the reprocessing of waste from the leaching process of Kinross Paracatu. *Brazilian Applied Science Review*, 4(4), 2720-2728.
<https://doi.org/10.34115/basrv4n4-043>

Meraz Vinaja, P. A. (2018, enero 10). *El proceso de flotación en el beneficio de los minerales*.
<https://www.linkedin.com/pulse/el-proceso-de-flotacion-en-beneficio-los-minerales-meraz-vinaja/>

Milosavljević, M. M., Marinković, A. D., Rančić, M., Milentijević, G., Bogdanović, A., Cvijetić, I. N., & Gurešić, D. (2020). New Eco-Friendly Xanthate-Based Flotation Agents. *Minerals*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/min10040350>

Namakforoosh, M. N. (2000). *Metodología de la investigación*. Editorial Limusa.
https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n/ZEJ7-0hmvhwC?hl=es-419&gbpv=1

- Naranjo Gomez, D. M. (2012). *Flotación directa de oro nativo grueso, como sustituto de la amalgamación tradicional* [Universidad Nacional de Colombia]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10141/43469333.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NIIR Project Consultancy Services. (2008). *The Complete Technology Book On Minerals & Mineral Processing*. ASIA PACIFIC BUSINESS PRESS Inc.
- Ojeda, S. D., Uribe, A., & Ortiz, N. (2024). Estrategias para la remoción de calcio y magnesio de las aguas del proceso de flotación de sulfuros complejos. *EPISTEMUS*, 18(37), Article 37. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i37.377>
- Ojeda-Villegas, S. D., & Uribe-Salas, A. (2023). Remoción de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} de las aguas de flotación de sulfuros complejos mediante la adición de carbonato de sodio. *EPISTEMUS*, 17(34), Article 34. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.255>
- Orihuela, F. (2019). *Cinética de flotación y comportamiento termodinámico de la calcopirita y pirita en sistemas altamente alcalinos en la Compañía Minera Casapalca* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5738/T010_73230950_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Özçelik, S., & Ekmekçi, Z. (2024). Surface Chemistry and Flotation of Gold-Bearing Pyrite. *Minerals*, 14(9), 914. <https://doi.org/10.3390/min14090914>
- Palomino, A., & Ramos, O. (2008). *Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolqui* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/323347272.pdf

- Paredes-Parreño, C. M., & Calderón-Viveros, E. M. (2024). Relación consumo específico/avance, en operaciones de minería subterránea MAPE, caso de estudio Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.4932>
- Portal Minero. (2006). Manuel General de Minería y Metalurgia. *Servicio de Impresión Laser SA*. https://www.academia.edu/9428635/MANUAL_GENERAL_DE_MINERIA_Y_METALURGIA
- Quiroz, U., MoncadaBaena, A. M., & Toro, A. L. R. (2021). Uso de cloro electrogenerado a partir de NaCl en medio ácido como una propuesta para la lixiviación de oro aluvial. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), Article 4. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.313>
- Rey Graña, C., & Ramil Díaz, M. (2007). *Introducción a la Estadística Descriptiva*. Netbiblo. https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_Estad%C3%ADstica_Descript/NR_i4XWKfQYC?hl=es-419&gbpv=1&dq=estadistica+descriptiva&pg=PA6&printsec=frontcover
- Reyes, M., Barrientos, F. R., Pérez, M., Juárez, J. C., Reyes, I. A., & Flores, M. (2021). Comportamiento de la flotación sin colector de pirargirita. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 8(8), Article 8. <https://doi.org/10.29057/aactm.v8i8.7591>
- Reyes, M., Reyes Domínguez, I. A., Flores Guerrero, M. U., Barrientos Hernández, F. R., Pérez Labra, M., & Juárez Tapia, J. C. (2020). El papel depresor del pH durante la flotación sin colector de mineral de galena. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6201>

- Rivera, D. G., Calla, D., & Chavez, E. R. (2023). Efecto de la concentración de tiourea en la lixiviación de oro en la minera Antuyo. *Revista de Investigaciones*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i2.4461>
- Robb, L. (2020). *Introduction to Ore-Forming Processes*. John Wiley & Sons.
- Ryaboy, V. I., Levkovets, S. E., Efremova, G. A., & Koval, O. E. (2018). New dialkyldithiophosphate collector for silver-containing ore flotation. *Mining Science and Technology (Russia)*, 0(3), Article 3. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-3-45-53>
- Sato, N. (2021). Is Organization of Living Systems Explained by Probability? *Philosophies*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/philosophies6010003>
- Senamhi. (2021). *Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática*. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>
- Sokolovic, J., & Miskovic, S. (2018). The effect of particle size on coal flotation kinetics: A review [PDF]. *Physicochemical Problems of Mineral Processing; ISSN 2084-4735*. <https://doi.org/10.5277/PPMP18155>
- Sripriya, R., & Murty, C. V. (2023a). *Mineral Processing: Beneficiation Operations and Process Optimization through Modeling*. Elsevier.
- Sripriya, R., & Murty, C. V. (2023b). *Mineral Processing: Beneficiation Operations and Process Optimization through Modeling*. Elsevier. https://www.google.com.pe/books/edition/Mineral_Processing/Z8h6EAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=mineral+processing+and+flotation&pg=PA434&printsec=frontcover

- Štirbanović, Z., Urošević, D., Đorđević, M., Sokolović, J., Aksić, N., Živadinović, N., & Milutinović, S. (2022). Application of Thionocarbamates in Copper Slag Flotation. *Metals*, *12*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/met12050832>
- Sutherland, K., & Wark, I. (with Internet Archive). (1955). *Principles of flotation*. australasian institute of mining and metallurgy. <http://archive.org/details/principlesofflot0000klsu>
- Sutulov, A. (1963). *Flotacion de Minerales*. https://www.academia.edu/25207091/Flotacion_de_Minerales_Alexander_Sutulov_
- Tercero, N., Nagaraj, D. R., & Farinato, R. (2019). A Critical Overview of Dithiophosphinate and Dithiophosphate Interactions with Base Metal Sulfides and Precious Metals. *Mining, Metallurgy & Exploration*, *36*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s42461-018-0039-1>
- Valarezo Tenesaca, E. I., Echeverría, J. S., Ordóñez Paladinez, V. D., Cuenca Vaca, A. B., & Leon Cueva, W. P. (2024). Reactivos Usados para Mejorar la Lixiviación del Oro con Cianuro: Una Revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *8*(3), Article 3. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12248
- Valderrama, L. I., Olguín, D. M., Gonzalez, M. A., & Gómez, O. E. (2024). Comparison between the flotation properties of pyrite and pyrrhotite. *Información tecnológica*, *35*(2), 1-10. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000200001>
- Vargas Sabadías, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Univ de Castilla La Mancha. https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_e_inferencia_l/RbaC-wPWqjsC?hl=es-419&gbpv=1&dq=estadistica+descriptiva&printsec=frontcover
- Wang, H., Wen, S., Han, G., & Feng, Q. (2022). Interaction mechanism of copper ions with the surface of sulfidized malachite and its response to flotation. *Colloids and Surfaces A:*

- Physicochemical and Engineering Aspects*, 647, 129127.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129127>
- Wills, B. A. (2013). *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier.
- Wills, B. A., & Finch, J. (2015a). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Butterworth-Heinemann.
[https://www.google.com.pe/books/edition/Wills_Mineral_Processing_Technology/uMWcBAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Wills,+B.A.,+%26+Finch,+J.A.+\(2015\).+Wills%27+Mineral+Processing+Technology+\(8th+ed.\).&pg=PA89&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Wills_Mineral_Processing_Technology/uMWcBAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Wills,+B.A.,+%26+Finch,+J.A.+(2015).+Wills%27+Mineral+Processing+Technology+(8th+ed.).&pg=PA89&printsec=frontcover)
- Wills, B. A., & Finch, J. (2015b). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Butterworth-Heinemann.
- Xinhai, J. (2024, junio 12). *(7 Factors Affecting Flotation in the Ore Processing*.
<https://www.linkedin.com/pulse/7-factors-affecting-flotation-ore-processing-xinhaimining-dufjc/>
- Yarar, B., & Dogan, Z. M. (Eds.). (1987). *Mineral Processing Design*. Springer Netherlands.
<https://doi.org/10.1007/978-94-009-3549-5>
- Yianatos, J. (2005). *Flotación de minerales*.
https://www.academia.edu/27585266/UNIVERSIDAD_T_ECNICA_FEDERICO_SANTA_MAR_IA_DEPARTAMENTO_DE_PROCESOS_QU_IMICOS_BIOTECNOL_OGICOS_Y_AMBIENTALES_FLOTACION_DE_MINERALES
- Yianatos, J., Moys, M., Contreras, F., & Villanueva, A. (2008). Froth recovery of industrial flotation cells. *ResearchGate*, 21, 817-882. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.12.012>

- Yoplac, E., Avalo, O., Martínez, D. P., Uza, J., & Sierra, K. J. (2024). Aplicación de la Economía Circular en la Industria Metalúrgica Minera para la Recuperación de oro y la Producción de Ladrillos a partir de Relaves. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-20. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1085>
- Young, C. A. (2019). *SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration. https://www.google.com.pe/books/edition/SME_Mineral_Processing_and_Extractive_Me/4hKGDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=cyttec+flotation+handbook&pg=PA1051&printsec=frontcover
- Yuni, J. A., & Urbano, C. A. (2007). *Técnicas Para Investigar 2*. Editorial Brujas.
- Zhang, H., Yu, H., Sun, W., Lin, S., & Zhang, C. (2024). Beneficiation of silver and silver-bearing lead-zinc ores: A review. *Minerals Engineering*, 208, 108608. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108608>
- Zhang, J., & Zhang, W. (2022). AFM Image Analysis of the Adsorption of Xanthate and Dialkyl Dithiophosphate on Chalcocite. *Minerals*, 12(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/min12081018>

ANEXOS

Anexo 2 Instrumentos para la toma de datos

Código de Muestra	Peso	Tiempo	Ensayes						
			g/t Au	g/t Ag	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	% As
Cabeza									
Py - I									
Py - II									
Py - III									
Py - IV									
Relave Final									
Cab. Calc									

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	g/t				MIBC
			ZnSO ₄ (10%)	404	MX-5160	Z-6 (1%)	
Molienda							
Acond.							
Py I							
Py II							
Py III							
Py IV							
Total							

Etapas	Tiempo (min)	pH	cc/ min				MIBC
			ZnSO ₄ (10%)	404	MX-5160	Z-6 (1%)	
Molienda							
Acond.							
Py I							
Py II							
Py III							
Py IV							
Total							

Anexo 3 Matriz de consistencia.

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Metodología
Generales	¿En que medida el uso de ditiofosfatos y tionocarbonatos influirá en la cinética de flotación de oro y plata?	Analizar el uso de ditiofosfatos y tionocarbonatos como influirá en la cinética de flotación de oro y plata.	El uso de ditiofosfatos y tionocarbonatos influirá en la cinética de flotación de oro y plata	Independiente • Uso ditiofosfatos y tiocarbonatos Dependiente. Cinetica de flotación	Colector	<u>Tipo de investigación:</u> aplicada <u>Nivel de Investigación:</u> Explicativa
	- ¿En que medida el colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata?	Evaluar el empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación para ver cómo influye en la calidad de oro y plata.	El empleo de colector ditiofosfatos A-242, A-3926, A-3894 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata	Independiente - Colector ditiofosfatos Dependiente. - Calidad oro y plata	Colector Ley	<u>Diseño de Investigación:</u> Experimental <u>Enfoque de Investigación:</u> Mixto
Específico	¿En que medida el colector tionocarbonatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata?	Evaluar el empleo de colector tionocarbonatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación para ver cómo influye en la calidad de oro y plata	El empleo de colector tionocarbonatos MX-945, MX-5160 en la cinética de flotación influye en la calidad de oro y plata	Independiente - Colector tiocarbonato Dependiente. - Calidad de oro y plata	Colector Ley	<u>Población</u> <u>Muestra:</u> 50 kilos – 1 kg <u>Técnica Recolección</u> <u>Datos:</u> Observación
	¿En que medida el tiempo empleado en la cinética de flotación influye en la recuperación de oro y plata?	Evaluar el tiempo empleado en la cinética de flotación para ver cómo influye en la recuperación de oro y plata	- El tiempo empleado en la cinética de flotación influye en la recuperación de oro y plata	Independiente - Tiempo Dependiente. - Recuperación oro y plata	Espacio Eficiencia	<u>Técnica</u> <u>Procesamiento</u> <u>Información:</u> Estadístico

Anexo 10 Dosis de reactivo prueba estándar P1

ETAPAS	Tiempo (min)	cc/ min				
		pH	ZnSO4 (10%)	404	Z-6 (1%)	MIBC
Molienda	10'.00"	7.3				
Acond.	3'	7.3	1.5	2	2	2
Py - I	30"	7.3				
Py - II	1'	7.3				
Py - III	2'	7.3				
Py - IV	4'	7.3				
Total			1.5	2	2	2
				0.0082		0.0049

Anexo 11 Dosis de reactivo prueba A-242 P2

ETAPAS	Tiempo (min)	cc/ min				
		pH	ZnSO4 (10%)	404	242	Z-6 (1%)
Molienda	10'.00"	7.3				
Acond.	3'	7.3	1.5	2	1	2
Py - I	30"	7.3				
Py - II	1'	7.3				
Py - III	2'	7.3				
Py - IV	4'	7.3				
Total			1.5	2	1	2
				0.0082	0.0082	
						0.0049

Anexo 12 Dosis de reactivo prueba MX-945 P3

ETAPAS	Tiempo (min)	cc/ min				
		pH	ZnSO4 (10%)	404	MX-945	Z-6 (1%)
Molienda	10'.00"	7.3				
Acond.	3'	7.3	1.5	2	1	2
Py - I	30"	7.3				
Py - II	1'	7.3				
Py - III	2'	7.3				
Py - IV	4'	7.3				
Total			10	100	100	1
				0.0082	0.0082	
						0.0049

Anexo 13 Dosis de reactivo prueba A-3926 P4

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	cc/ min				
			ZnSO4 (10%)	404	A-3926	Z-6 (1%)	MIBC
Molienda	10'.00"	7.3					
Acond.	3'	7.3	1.5	2	1	2	2
Py - I	30"	7.3					
Py - II	1'	7.3					
Py - III	2'	7.3					
Py - IV	4'	7.3					
Total			1.5	2	1	2	2
				0.0082	0.0082		0.0049

Anexo 14 Dosis de reactivo prueba MX-5160 P5

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	cc/ min				
			ZnSO4 (10%)	404	MX-5160	Z-6 (1%)	MIBC
Molienda	10'.00"	7.3					
Acond.	3'	7.3	1.5	2	1	2	2
Py - I	30"	7.3					
Py - II	1'	7.3					
Py - III	2'	7.3					
Py - IV	4'	7.3					
Total			1.5	2	1	2	2
				0.0082	0.0082		0.0049

Anexo 15 Dosis de reactivo prueba A-3894 P6

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	cc/ min				
			ZnSO4 (10%)	404	A-3894	Z-6 (1%)	MIBC
Molienda	10'.00"	7.3					
Acond.	3'	7.3	1.5	2	1	2	2
Py - I	30"	7.3					
Py - II	1'	7.3					
Py - III	2'	7.3					
Py - IV	4'	7.3					
Total			1.5	2	1	2	2
				0.0082	0.0082		0.0049