



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre en la Planta Concentradora Virgen del Rosario

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

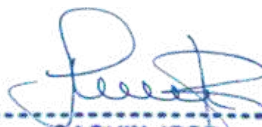
Autores

Miguel Angel Reyes Santos

Cristian Gamarra Flores

Asesor

Dr. Joaquín José Abarca Rodríguez



**JOAQUIN JOSE
ABARCA RODRIGUEZ
INGENIERO METALURGICO
Reg CIP Nº 108833**

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

LICENCIADA

(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

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Miguel Angel Reyes Santos	77385445	17 – 09 - 2026
Cristian Gamarra Flores	72022726	17 – 09 - 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
Alberto Irhaam Sanchez Guzman	15758117	https://orcid.org/0000-0003-1575-8466
Berardo Beder Ruiz Sanchez	31602007	https://orcid.org/0000-0002-1822-9204
Helen Analí Zapata Del Solar	44067559	https://orcid.org/0000-0002-5347-6155

2026 - 045199 Reyes Santos 2026 - 045201 Gamarra...

Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc ...

UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA FIQyM - PREGRADO - 22026

Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::1:3607318233

Fecha de entrega

6 jul 2026, 5:46 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

6 jul 2026, 5:59 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_de_REYES_SANTOS_MIGUEL_y_CRISTIAN_GAMARRA_FLORES.docx

Tamaño del archivo

2.5 MB

86 páginas

17.812 palabras

101.833 caracteres



Página 1 de 92 - Portada

Identificador de la entrega trnoid::1:3607318233



Página 2 de 92 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trnoid::1:3607318233

11% 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)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 5% 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 permitirán 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 lo revise.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me brindaron la oportunidad de formarme profesionalmente. Gracias por ser mi apoyo incondicional y por enseñarme que con perseverancia y dedicación se pueden alcanzar los sueños.

A mis hermanos, por su compañía, motivación y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida. Este logro también es de ustedes.

Cristian Gamarra Flores

DEDICATORIA

Con el mayor de los respetos, dedicamos la presente investigación a nuestros apreciados padres, familiares y seres queridos. Gracias a su apoyo, confianza y sacrificio constante, hemos logrado culminar este logro académico y profesional con esfuerzo, perseverancia y compromiso.

Miguel Ángel Reyes Santos

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su amor, sacrificio, consejos y apoyo incondicional en cada etapa de mi formación. Este logro también es de ustedes, porque siempre creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su compañía, apoyo y palabras de aliento que me ayudaron a continuar con este camino académico. Su confianza y cariño han sido una fuente constante de motivación para alcanzar esta meta.

Cristian Gamarra Flores

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios por concedernos vida, fortaleza y sabiduría para concluir satisfactoriamente esta investigación. Gostaríamos de expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional, confianza y motivación constante, elementos que han sido de gran importancia en nuestro desarrollo y que nos han permitido alcanzar nuestros objetivos. Asimismo, expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los docentes y asesores por sus orientaciones académicas de gran valía, así como a la Planta Concentradora Virgen del Rosario por su colaboración en la provisión de la información y condiciones necesarias para la realización de este trabajo de investigación.

Miguel Ángel Reyes Santos

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL	7
INDICE FIGURA	10
INDICE DE TABLA	11
ANEXO.....	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
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.	19
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	20
1.5 Delimitación del Estudio	22
1.5.1 Delimitación de territorio.	22

1.5.2	<i>Delimitación de tiempo espacio.</i>	23
CAPITULO II MARCO TEÓRICO		24
2.1.	Antecedentes de la Investigación	24
2.1.1.	Investigación Internacional	24
2.1.2.	Investigación Nacional	25
2.2.	Bases Teóricas	26
2.2.1.	Principios de flotación de minerales	26
2.2.2.	Circuito de flotación.	28
2.2.3.	Mineralogía del Mineral.	29
2.2.4.	Activación de minerales en la flotación de minerales	31
2.2.5.	Recirculación de concentrado.	32
2.2.6.	Recirculación del Concentrado Scavenger en la Activación del Zinc	34
2.2.7.	Parámetros Operacionales	36
2.3.	Bases Filosóficas	38
2.4.	Definiciones conceptuales	39
2.5.	Hipótesis de la Investigación	42
2.5.1.	Hipótesis General	42
2.5.2.	Hipótesis Específicos	42
2.6.	Operacionalización de Variables e Indicadores.	43
CAPITULO III METODOLOGÍA		44
3.1.	Diseño Metodológico.	44
3.2.	Población y Muestra	46
3.3.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	46

3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información.....	47
CAPITULO IV RESULTADOS.....	49
4.1. Análisis de resultados.....	49
4.1.1. Condiciones de trabajo.....	49
4.2. Resultados	50
4.3. Comparación de los resultados sin y con recirculación al SW23 y SW24	54
4.4. contrastación de hipótesis.....	60
4.4.1. Contrastación de hipótesis general.....	60
4.4.2. Contrastación de hipótesis específicos.....	61
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	64
5.1. Discusión de Resultados.....	64
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1. Conclusiones	67
6.2. Recomendaciones.....	68
CAPÍTULO V REFERENCIAS	70
5.1. Referencias	70

INDICE FIGURA

Figura 1	Calidad de concentrado de cobre sin recircular y con recirculación a la celda SW23, SW24.....	54
Figura 2	Recuperación de cobre en concentrado sin recirculación y con recirculación.....	55
Figura 3	Presencia del Zn en concentrado de cobre sin y con recirculación al SW23 y SW24 ..	56
Figura 4	Distribución del zinc en los concentrados sin y con recirculación al SW23 y SW24...	57
Figura 5	Ley de la plata en el concentrado de cobre sin y con recirculación al SW23 y SW24 .	58
Figura 6	Porcentaje de distribución Ag en sin y con recirculación SW23 SW24	59

INDICE DE TABLA

Tabla 1	Operacionalización de las variables e indicadores	43
Tabla 2	Leyes y recuperación del concentrado sin recircular de Cu, Zn, Ag	50
Tabla 3	Recirculación al SW23 la ley y recuperación del concentrado Ag, Cu, Zn	51
Tabla 4	Recirculación al SW24 ley y recuperación de Ag, Cu y Zn	52
Tabla 5	Análisis de varianza de la recirculación de la celda scavenger al SW2 rougher	60
Tabla 6	Contrastación de ANOVA de Welh.....	61
Tabla 7	Análisis de varianza de la calidad y recuperación del cobre sin y recirculación a las celdas W23 y SW24.....	62
Tabla 8	Análisis de varianza de la calidad y recuperación de plata sin y con recirculación a la celda SW23 Y SW24	63

ANEXO

<i>Anexo 1 localización</i>	83
Anexo 2 Balance metalúrgico del proceso 1	84
Anexo 3 Circuito del proceso	84
Anexo 4 Balance metalúrgico del proceso 2.....	84
Anexo 5 Matriz de consistencia.....	85
Anexo 6 Balance metalúrgico del proceso.....	86
Anexo 7 Calidad y recuperación de Cu y Ag convencional	86
Anexo 8 Recirculación a la celda SW 23.....	87
Anexo 9 Recirculación a la celda SW 24.....	87

RESUMEN

La investigación evaluó cómo el concentrado del circuito scavenger llega a la celda WS2 del circuito rougher y cómo afecta al activar el zinc en el concentrado de cobre. Esto influye en la calidad y recuperación de cobre y plata en la planta concentradora Virgen del Rosario. El propósito del estudio fue ver si cambiar el proceso de flotación mejoraría la selección y el rendimiento metalúrgico. La investigación tiene un enfoque cuantitativo y experimental. Se analizaron tres escenarios del circuito de flotación: sin recirculación, con recirculación a la celda SW23 y con recirculación a la celda SW24. Se usaron herramientas estadísticas para encontrar diferencias significativas entre los escenarios evaluados. De acuerdo con las condiciones establecidas para la investigación, se procedió a la realización de muestreos sistemáticos a lo largo del circuito de flotación durante un período de 46 días de operación. Las muestras de alimentación, concentrado y relave fueron recolectadas meticulosamente cada dos horas durante turnos diurnos y nocturnos. Posteriormente, se llevó a cabo la separación sólido-líquido mediante un riguroso proceso de filtración y secado, destinado al análisis químico en el laboratorio. Este proceso permitió determinar las leyes y recuperaciones de cobre, zinc y plata. Los estudios realizados han demostrado que la recirculación hacia la celda SW24 conlleva una reducción significativa del contenido de zinc en el concentrado de cobre, alcanzando un promedio del 1,95 %, en comparación con el 4,24 % registrado en SW23 y el 5,18 % obtenido en condiciones de no recirculación. Además, se obtuvo una recuperación promedio del 96.42 % de cobre y del 91.05 % de plata, aunque con una ligera disminución en las leyes del concentrado. La recirculación hacia la celda WS reduce zinc y mejora recuperación de cobre y plata, optimizando selectividad metalúrgica.

Palabra clave: Recirculación, celdas WS, flotación de Cu-Ag, recuperación Cu.

ABSTRACT

The research evaluated how the concentrate from the scavenger circuit reaches cell WS2 of the rougher circuit and how it affects the activation of zinc in the copper concentrate. This influences the quality and recovery of copper and silver at the Virgen del Rosario concentrator plant. The purpose of the study was to see if changing the flotation process would improve selection and metallurgical performance. The research has a quantitative and experimental approach. Three flotation circuit scenarios were analyzed: no recirculation, recirculation to cell SW23, and recirculation to cell SW24. Statistical tools were used to find significant differences between the scenarios evaluated. In accordance with the conditions established for the research, systematic sampling was carried out throughout the flotation circuit over a period of 46 days of operation. Feed, concentrate, and tailings samples were meticulously collected every two hours during day and night shifts. Subsequently, solid-liquid separation was carried out using a rigorous filtration and drying process for chemical analysis in the laboratory. This process made it possible to determine the grades and recoveries of copper, zinc, and silver. Studies have shown that recirculation to cell SW24 leads to a significant reduction in the zinc content of the copper concentrate, reaching an average of 1.95%, compared to 4.24% recorded in SW23 and 5.18% obtained under non-recirculation conditions. In addition, an average recovery of 96.42% for copper and 91.05% for silver was obtained, although with a slight decrease in concentrate grades. Recirculation to the WS cell reduces zinc and improves copper and silver recovery, optimizing metallurgical selectivity.

Keyword: Recirculation, WS cells, Cu-Ag flotation, Cu recovery.

INTRODUCCIÓN

La flotación constituye un proceso de gran relevancia en la concentración de minerales metálicos, particularmente en el ámbito de la industria del cobre. Este procedimiento permite la separación selectiva de minerales valiosos de la ganga mediante la utilización de reactivos químicos y condiciones operativas adecuadas. No obstante, uno de los principales problemas que se manifiestan en los circuitos de flotación de cobre es la activación y arrastre de minerales de zinc hacia el concentrado de cobre, lo que incide en la calidad del concentrado final y puede acarrear penalidades en los procesos de comercialización del metal.

En el ámbito de la concentración de minerales polimetálicos, la presencia de minerales asociados, tales como la esfalerita (ZnS), puede ocasionar complicaciones en el proceso de separación selectiva mediante flotación. La activación del zinc se produce por la presencia de iones metálicos o por condiciones operativas inadecuadas, lo que provoca que este mineral sea flotado junto con el cobre. En respuesta a esta situación, las plantas concentradoras implementan estrategias de optimización, que incluyen modificaciones operativas, control de reactivos y estrategias de recirculación de flujos. El propósito de estas estrategias es mejorar la selectividad del proceso y reducir la presencia de impurezas en el concentrado.

En este sentido, la reiteración de corrientes en el circuito de flotación, particularmente del concentrado procedente del circuito scavenger hacia determinadas celdas del circuito rougher, emerge como una estrategia para optimizar el desempeño del proceso metalúrgico. Esta propuesta metodológica permite la modificación de las condiciones de flotación dentro del circuito, favoreciendo la recuperación de minerales valiosos y reduciendo la activación de minerales indeseados, tales como el zinc.

El objeto de estudio de la presente investigación se ha desarrollado en la planta concentradora Virgen del Rosario, donde se ha procedido a la evaluación de la recirculación del concentrado del circuito scavenger hacia la celda WS2 del circuito rougher. El estudio tuvo como finalidad determinar el efecto de la modificación operacional en la activación del zinc en el concentrado de cobre, así como en la calidad y recuperación de cobre y plata durante el proceso de flotación.

Se llevó a cabo un análisis comparativo entre tres condiciones operativas del circuito, específicamente la operación sin recirculación, la recirculación hacia la celda SW23 y la recirculación hacia la celda SW24. En el transcurso de la investigación, se implementó un muestreo sistemático del circuito de flotación para la determinación de las leyes y recuperaciones de cobre, zinc y plata. Este proceso se llevó a cabo mediante análisis químicos y una evaluación estadística de los resultados obtenidos.

Los hallazgos mostraron cómo la recirculación afectaba la actividad de los metales en el circuito, dando datos importantes para mejorar el proceso de flotación y la separación de minerales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La problemática de la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 en el circuito rougher de la planta concentradora Virgen del Rosario aborda uno de los desafíos centrales en la metalurgia, en particular en el procesamiento de minerales subvalorados, como los que contienen concentraciones significativas de zinc junto con cobre. A nivel internacional, el manejo eficaz de los metales pesados en los concentrados se ha convertido en un objetivo crítico frente a las normas ambientales cada vez más estrictas y la necesidad de mejorar la eficiencia de extracción (Gaona & Lázaro, 2024). Las estrategias electroquímicas y los métodos de remoción son esenciales para mitigar los efectos perjudiciales de la activación del zinc, que puede comprometer la calidad del concentrado de cobre.

En el contexto regional y nacional, la planta concentradora Virgen del Rosario enfrenta la presión de maximizar la recuperación de metales en un mercado competitivo, donde la penalización económica por la presencia de metales no deseados, como el zinc, es crítica. La investigación sobre la recirculación del concentrado puede ser clave para resolver este problema, buscando un equilibrio sustentable entre la productividad y el cumplimiento de normas que regulan la presencia de contaminantes (Abrica-González & Gómez-Arroyo, 2022). El manejo ineficiente de estos concentrados puede resultar en pérdidas económicas severas debido a la incapacidad de cumplir con los estándares de mercado internacionales y regionales (Gaona & Lázaro, 2024).

Desde una perspectiva técnico-operativa, la recirculación en el circuito rougher es una técnica que tiene el potencial de optimizar la separación del zinc del cobre, permitiendo una mejora significativa en los porcentajes de recuperación. Sin embargo, la implementación de esta técnica

debe ser acompañada de un análisis exhaustivo del comportamiento electroquímico de los minerales sulfurados y de las interacciones que se producen en el proceso (Gaona & Lázaro, 2024). Estas dinámicas son fundamentales para predecir el rendimiento del metal y para ajustar los parámetros de operación en función de los resultados obtenidos en pruebas piloto.

La implementación de políticas y prácticas que sostengan el uso de tecnologías limpias y eficientes no solo es crucial desde un punto de vista económico, sino también desde una perspectiva ambiental. Biotecnologías, como los métodos de fitoremediación, podrían ser aplicadas como parte de la solución integral para manejar metales pesados en la producción minera, mejorando así la sostenibilidad de los procesos metalúrgicos (Suárez, 2023). Este enfoque se vuelve particularmente relevante en el contexto de una creciente demanda social y regulatoria por prácticas industriales más responsables.

En base a lo descrito es necesario mejorar la calidad del concentrado, disminuyendo los elementos contaminantes que interfieren en el proceso de extracción de los metales, este caso en la extracción de cobre el zinc interfiere en el proceso, por lo que es necesario separar para evitar las penalidades en el proceso de comercialización.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General.

¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher permite disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario?

1.2.2 Problemas Específicos.

¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher permite disminuir el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario?

¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?

¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo es el efecto de la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

1.3.2 Objetivo Especifico

Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo afecta el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

1.4 Justificación de la Investigación

Justificación Teórica. La activación del zinc en el proceso de flotación de cobre es un fenómeno bien documentado en la literatura metalúrgica. Este fenómeno ocurre cuando iones de zinc (Zn^{2+}) se adsorben en la superficie de partículas de mineral, lo que dificulta la selectividad del proceso de flotación y reduce la calidad del concentrado de cobre. La recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del circuito rougher se basa en principios teóricos de cinética de flotación y termodinámica de superficies, que sugieren que una redistribución controlada de los flujos de material puede mejorar la selectividad del proceso. Esta estrategia busca reducir la presencia de zinc en el concentrado final, optimizando la recuperación de cobre y minimizando las impurezas.

Justificación Metodológica. La implementación de esta propuesta requiere un enfoque metodológico sistemático que incluya: Análisis de flujos de proceso: Evaluar los flujos actuales de concentrado y relave en el circuito rougher y scavenger. Pruebas de laboratorio y piloto: Simular la recirculación del concentrado del scavenger al WS2 para determinar su impacto en la activación del zinc. Modelamiento matemático: Utilizar modelos de balance de masa y cinética de flotación para predecir el comportamiento del sistema. Monitoreo y control: Establecer protocolos para monitorear la calidad del concentrado y ajustar los parámetros operativos en tiempo real.

Este enfoque metodológico asegura que la propuesta se base en datos científicos y técnicos confiables, minimizando los riesgos asociados con su implementación.

Justificación Técnica. Desde el punto de vista técnico, la recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del circuito rougher presenta varias ventajas: Mejora en la selectividad, al

redistribuir el flujo de material, se reduce la activación del zinc y se incrementa la recuperación de cobre. Por otra parte, la optimización del uso de reactivos, al disminuir la presencia de zinc, se reduce el consumo de reactivos como los depresores de zinc, lo que disminuye costos operativos. Mientras que la estabilidad del proceso permite la recirculación controlada que puede mejorar la estabilidad del circuito de flotación, reduciendo fluctuaciones en la calidad del concentrado.

Además, esta modificación no requiere inversiones significativas en infraestructura, ya que utiliza equipos y circuitos existentes en la planta.

Justificación Social. La implementación de esta propuesta tiene un impacto social positivo al contribuir a la sostenibilidad de la operación minera. Al mejorar la calidad del concentrado de cobre, se asegura la continuidad de la producción, lo que se traduce en estabilidad laboral para los trabajadores de la planta y las comunidades aledañas. Además, al optimizar el proceso, se reduce el impacto ambiental, lo que mejora la relación entre la empresa y la comunidad.

Justificación Ambiental. La activación del zinc en el concentrado de cobre no solo afecta la calidad del producto, sino que también puede generar impactos ambientales negativos. Por ejemplo, un concentrado con alto contenido de zinc puede requerir tratamientos adicionales en las fundiciones, aumentando las emisiones de gases y residuos. Al reducir la activación del zinc, se disminuye la generación de impurezas y se contribuye a un proceso más limpio y sostenible. Además, al optimizar el uso de reactivos, se reduce el riesgo de contaminación de aguas y suelos.

Justificación Económica. Desde el punto de vista económico, la recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del circuito rougher ofrece beneficios significativos: como el aumento en la recuperación de cobre, un concentrado de mayor calidad permite obtener mejores precios en el mercado. Con una reducción de costos operativos, permite disminuir el consumo de reactivos y mejorar la eficiencia del proceso, este reduce los costos de producción. Minimizando

las penalizaciones donde un concentrado con menor contenido de zinc reduce las penalizaciones por impurezas en las fundiciones. Permitiendo el retorno de la inversión por la implementación de esta propuesta requiere una inversión mínima en comparación con los beneficios económicos que genera.

La recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del circuito rougher es una propuesta técnicamente viable, socialmente beneficiosa, ambientalmente responsable y económicamente rentable. Su implementación permitirá mejorar la calidad del concentrado de cobre, optimizar el proceso de flotación y contribuir a la sostenibilidad de la operación en la planta concentradora Virgen del Rosario.

1.5 Delimitación del Estudio

1.5.1 Delimitación de territorio.

El estudio se realizará en la planta concentradora Virgen del Rosario, ubicada en el paraje de Puacpampa, distrito de Pueblo Libre, provincia de Huaylas, departamento de Áncash, Perú. Geográficamente, la zona se encuentra en la región andina central del país, caracterizada por su relieve montañoso y su proximidad a la Cordillera Blanca (Ministerio de energía y minas , 2019). Las coordenadas aproximadas del lugar latitud -9.1162519 y longitud -77.7803256 (Google Maps, 2025), situándose en un valle interandino con una altitud de aproximadamente 3,200 metros sobre el nivel del mar (Mapas topográficos, 2025). Esta altitud influye en un clima frío y semiárido, con temperaturas promedio que oscilan entre 5°C y 18°C, y una humedad relativa que varía entre 40% y 60% durante gran parte del año (Worldmeteo, 2025). Las condiciones climáticas y geográficas del área son relevantes para el estudio, ya que pueden afectar los procesos de concentración de minerales y la eficiencia de las operaciones en la planta.

1.5.2 Delimitación de tiempo espacio.

El estudio sobre "Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre" se llevará a cabo durante un período de 6 meses, específicamente desde enero hasta junio de 2025. Este plazo incluye las etapas de planificación, ejecución experimental, recolección de datos, análisis de resultados y elaboración del informe final. La investigación se desarrollará exclusivamente en la planta concentradora Virgen del Rosario, lo que delimita el ámbito espacial a las operaciones y procesos de dicha planta. No se extenderá a otras instalaciones o plantas concentradoras, asegurando que los resultados sean específicos y aplicables al contexto operativo de Virgen del Rosario.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigación Internacional

Vallejos y otros (2023) en su artículo “Respuesta cinética de los bancos de flotación industriales: efecto del tamaño de las partículas y la mineralogía” publicado en la revista minerals, es un investigación de corte no experimental, donde se evalúan todo el circuito de flotación ya que la planta opera con un flujo mayor al diseño y un tamaño de partícula mayor , específicamente el circuito rougher donde se tiene celdas de flotación de 130 m³ y 300 m³ en lo que realizaron el estudio del tamaño del mineral, la mineralogía, la asociación del mineral y la profundidad de las espumas de las celda, y su comportamiento del mineral a lo largo del circuito. Los resultados obtenidos se tienen con una liberación del 50% menor tiene efecto positivo en la recuperación, mientras que en la calidad del cobre disminuye a lo largo del circuito por la asociación a no ser liberado y de las impurezas de la pirita y las gangas. Mientras que el caudal arrastra impurezas y afecta a la profundidad de las espumas haciéndolo más crítico para los ultimas celdas. Concluyendo que la liberación y el caudal afecta en la calidad del concentrado, recuperación y la profundidad de las espumas.

Brest y otros (2021) en su artículo denominado “Investigación estadística de los parámetros de flotación para la recuperación de cobre a partir de relaves de flotación de sulfuro”, publicado en la revista resultados de ingeniería, teniendo el enfoque experimental. Donde se evaluaron mediante el diseño factorial la flotación de minerales sulfuros, óxidos y mixto de relaves, la dosis de colector, espumante y dispersantes. Obteniendo un concentrado de cobre con ley de 8% y su recuperación del 60% con una dosis de 80 g/t de colector, 30 g/t de espumante y 120 g/t de

dispersante. Concluyendo que la dosis de colector y las interacciones con otros parámetros tiene una influencia en la flotación.

2.1.2. Investigación Nacional

Cotera y Rashuaman (2023) en trabajo de realizado para obtener el título profesional “Optimización del circuito de flotación de cobre etapa Rougher mediante diseños experimentales en la planta concentradora Toromocho – Chinalco 2021”, depositado la página del repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú, es una investigación de corte experimental, tiene como objetivo saber que efecto tiene el P80, pH, dosis de reactivo, densidad de pulpa del mineral respecto a la calidad y recuperación del cobre. Para ello se realizaron diseño experimental factorial de orden fraccionada con dos niveles para cuatro variables. El resultado obtenido y procesado mediante la estadística para contratación de la hipótesis por t student se tiene un incremento de recuperación de 10% de cobre en el circuito rougher. Concluyendo que el pH y granulometría tiene mayor influencia.

Vilcure & Abner (2024) en su tesis sobre “Influencia del amil xantato de potasio en la eficiencia de la separación del cobre y del zinc en la flotación por espuma, Nasca – 2022”, publicada en el sitio web del repositorio de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga es una investigación experimental, en ello se emplearon el Z-6, MIBC y CaO como regulador de pH con la finalidad de ver si el amil xantato de sodio tiene algún efecto en la separación del mineral de cobre y mineral de zinc. El resultado de la investigación nos da una calidad y recuperación adecuada de minerales de cobre y zinc con una dosis de 40g/t de xantato amil y potasio para minerales sulfurados, los reactivos como el colector Z-6 y el espumante MIBC trabaja adecuadamente a un pH 10.4. Concluyendo que el colector tiene efecto en la separación de minerales de zinc y cobre con una dosis adecuada.

Espinoza (2021) en su trabajo para la obtención del título profesional denominado “Cinética de flotación de minerales sulfurados para obtención del concentrado de Cobre y Zinc en planta concentradora de empresa los Quenuales S.A. Unidad Minera Contonga – San Marcos 2021”, depositado en el repositorio de la UNJFSC, es una investigación experimental, con la finalidad de evaluar la liberación, tiempo de flotación, pH, reactivos y circuito de limpieza. El resultado obtenido en la separación de cobre zinc en un tiempo de 8 minutos se tiene los mejores resultados con una recuperación del cobre del 85.11%, mientras que para el zinc en su respectivo concentrado se obtuvo del orden de 86.24%. concluyendo que el tiempo influye significativamente en la separación de minerales de cobre zinc.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Principios de flotación de minerales

La flotación es un proceso de separación selectiva de minerales basándose en sus propiedades superficiales (Wills & Napier-Munn, 2006), principalmente en su hidrofobicidad e hidrofiliidad (Mular y otros, 2002). Estos fenómenos son críticos para la separación de minerales en las plantas concentradoras, donde la superficie de los minerales interactúa con burbujas de aire y reactivos químicos (Drzymala, 2007). La efectividad de este proceso depende en gran medida de la acción de los reactivos utilizados, que, al modular las propiedades superficiales de los minerales, facilitan (o dificultan) su adhesión a las burbujas de aire durante la flotación (Sutulov, 1963).

El principio de separación selectiva se fundamenta en que los minerales hidrofóbicos tienden a unirse a las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos permanecen en la suspensión (Reyes y otros, 2020). En la flotación de sulfuros, la variación de la hidrofobicidad entre diferentes sulfuros permite una separación relativamente sencilla mediante la adición de

reactivos colectores, que son compuestos químicos que aumentan la hidrofobicidad de las partículas mediante la formación de una capa hidrofóbica en su superficie (Oliver y otros, 2019). Existen varios tipos de colectores, clasificados generalmente como aniónicos y catiónicos, siendo los colectores aniónicos, como los xantatos, los más comunes en la flotación de minerales metálicos (Reyes y otros, 2020).

La interacción entre la burbuja y la partícula es modulada por la química del medio y la presencia de diferentes especies químicas. Se ha descrito que el caldo en el que ocurre la flotación puede influir en la efectividad de los colectores y en la dinámica de burbujas-partículas (Englert y otros, 2011). Los cambios en el pH son fundamentales; por ejemplo, se ha demostrado que, a pH alcalino, el sulfato de cobre puede actuar como un activador de la esfalerita, mejorando su flotación junto con el uso de xantatos (Oliver y otros, 2019). Sin embargo, la presencia de iones metálicos como Ca^{2+} o Mg^{2+} puede actuar como depresores, interfiriendo en la capacidad de flotación de los minerales al adsorberse en las superficies de las partículas (Villegas & Uribe-Salas, 2023). Por lo tanto, la selección de reactivos y el control del pH son esenciales para optimizar la separación.

Además, el diseño del circuito de flotación y las condiciones operativas influyen en la interacción burbuja-partícula. La mezcla adecuada y el tamaño de las burbujas son relevantes para maximizar la captura de partículas (Machado y otros, 2017). La relación entre la concentración de reactivos y el tipo de mineral también condiciona la eficiencia de la flotación, lo que resalta la importancia de entender los mecanismos subyacentes a estos procesos químicos y físicos.

La flotación es un proceso que combina propiedades físicas y químicas de los minerales y reactivos. La interacción de los reactivos con las superficies de las partículas determina en gran medida el éxito de la separación selectiva en este proceso, destacando la relevancia de la

hidrofobicidad y la influencia de diversos factores químico-físicos en el diseño de procesos de flotación efectivos (Valderrama, 2019).

2.2.2. Circuito de flotación.

El proceso de flotación se lleva a cabo en varias etapas que comprenden circuitos diseñados específicamente para maximizar la recuperación de minerales valiosos. Entre estas etapas, se encuentran las secciones de rougher, scavenger y cleaner, cada una con objetivos y dinámicas de flujo de pulpa claramente definidas (Wills & Finch, 2015).

En la etapa de rougher, el objetivo principal es la recuperación inicial y rápida de los minerales valiosos del mineral triturado. Esta etapa comprende células de flotación que operan en paralelo y en serie, llevándose a cabo la separación a un costo relativamente bajo, ya que este flujo de pulpa contiene una alta cantidad de minerales deseables. Sin embargo, también produce un alto porcentaje de tailings, que pueden representar una parte significativa de la pérdida general de la planta. Durante esta fase, los colectores y espumantes son clave para incrementar la hidrofobicidad de las partículas minerales relevantes, permitiendo que estas se adhieran a las burbujas de aire y asciendan a la superficie (Vallejos y otros, 2023); (Lee y otros, 2021).

La etapa scavenger, juega un papel crucial en la maximización de la recuperación de minerales valiosos que no fueron recuperados en la fase de rougher. La función de esta etapa es capturar los minerales que aún permanecen en la pulpa de desecho generada por el circuito rougher. Generalmente, el flujo de pulpa del scavenger contiene aquellos minerales que muestran una menor hidrofobicidad y, por lo tanto, han tenido dificultades para unirse a las burbujas en la etapa de rougher (Gül & Aydın, 2021). Este circuito puede incluir una o más líneas de celdas de flotación que permiten aumentar la recuperación total del mineral.

La etapa de cleaner, se enfoca en mejorar la pureza del concentrado obtenido en las etapas anteriores. En este punto, el concentrado de rougher y scavenger se vuelve a procesar para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del producto final. Esta etapa puede ser más compleja, empleando diferentes tipos de tecnologías, como celdas mecánicas o neumáticas, para alcanzar las especificaciones deseadas del concentrado final (Vallejos y otros, 2023).

La interacción entre estas etapas es dinámica y está diseñada para maximizar la eficiencia del proceso. En particular, el circuito scavenger es vital no solo para recuperar el contenido valioso remanente, sino también para contribuir a la economía general del proceso de flotación, optimizando el uso de recursos y reduciendo los residuos (Hassanzadeh y otros, 2020). Al integrar un enfoque de mejora de procesos, como la implementación de tecnología avanzada, se pueden alcanzar tasas más altas de recuperación a través de cada etapa del circuito de flotación.

2.2.3. Mineralogía del Mineral.

La mineralogía del mineral tratado en la planta Virgen del Rosario es necesario entender los procesos de flotación y la recuperación de cobre y zinc. Este análisis se centra en la composición mineralógica del mineral, los minerales de cobre presentes y los problemas de activación del zinc durante la flotación de cobre.

Composición Mineralógica del Mineral Tratado: En la planta Virgen del Rosario, el mineral tratado principalmente consiste en un tipo de pórfido cuprífero, caracterizado por la presencia de diversos minerales de interés como la calcopirita (CuFeS_2) y la bornita ($\text{Cu}_{1.8}\text{Fe}_{1.2}\text{S}_4$). Estos son los minerales que normalmente se encuentran asociados y son relevantes en la producción de concentrados de cobre (Dávila y otros, 2022).

Minerales de Cobre Presentes. Los minerales de cobre identificados en el mineral tratado incluyen: Calcopirita: Este es el mineral de cobre más relevante y abundante en los depósitos de

pórfido. Su estructura cristalina y propiedades físicas favorecen su recuperación en procesos de flotación (Dávila y otros, 2022). Bornita: También conocida como "mineral de cobre oscuro", la bornita es menos común que la calcopirita, pero su contenido de cobre es significativamente alto. Es un mineral esencial para la producción de cobre en la planta (Nuñez & Delgado, 2023).

Minerales de Zinc Presentes. El mineral más importante de zinc que se encuentra en el proceso es la esfalerita (ZnS). Este sulfuro de zinc puede causar problemas de activación en la flotación del cobre. En particular, la presencia de iones de zinc en el medio de flotación necesita manejarse con precisión para evitar la activación indeseada.

Problemas de Activación del Zinc en la Flotación de Cobre. Uno de los principales problemas asociados con la activación del zinc en la flotación de cobre es la tendencia de la esfalerita a activarse cuando se introduce en el medio con cobre. Este fenómeno ocurre debido a que los iones Cu^{2+} pueden adsorberse en la superficie de la esfalerita, aumentando su hidrofobicidad y facilitando su recuperación en las etapas de flotación, lo que representa un desafío en la separación selectiva de minerales (Hernández y otros, 2019).

Los mecanismos de activación del zinc involucran la modificación de su superficie, que puede interferir con la flotación de minerales valiosos como la calcopirita y la bornita. Esto genera la necesidad de desarrollar estrategias adecuadas para alinear las condiciones de proceso, tales como el ajuste de pH y el uso de reactivos depresores selectivos que minimicen la activación del zinc (Romero & Ruíz, 2010).

La comprensión de la mineralogía del mineral tratado en la planta Virgen del Rosario, incluyendo la composición de minerales de cobre y zinc, así como los problemas de activación del zinc, es fundamental para optimizar el proceso de flotación. Esto no solo permite mejorar la recuperación de cobre, sino que también contribuye a una separación más eficaz y económica de

los minerales, resaltando la importancia de un análisis mineralógico adecuado en las operaciones de la planta.

2.2.4. Activación de minerales en la flotación de minerales

La activación del zinc en el proceso de flotación de minerales de cobre es un fenómeno que se refiere a la capacidad de los iones metálicos de cambiar las condiciones de la superficie, particularmente ion de cobre (Cu^{2+}), para facilitar la recuperación del sulfuro de zinc (esfalerita, ZnS) en un medio alcalino mediante la flotación (Sutulov, 1963). Esta activación se define como el aumento en la flotabilidad de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos que modifican las propiedades de la superficie del mineral, favoreciendo así su separación durante el proceso de flotación (Azañero, 2015).

Causa de activación: Las causas de la activación del zinc está basado en fundamentos químicas. En ausencia de activadores, el zinc puede presentar una baja recuperación debido a su relativa hidrofobicidad natural; sin embargo, la introducción de iones Cu^{2+} en el sistema puede alterar esta condición (Oliver y otros, 2019). Este metal, al adsorberse en la superficie de la esfalerita, forma una capa de compuestos como el sulfato de cobre que incrementa la hidrofobicidad del mineral. Este fenómeno es particularmente importante en la flotación, donde la adherencia entre burbujas de aire y partículas mineralógicas es esencial para lograr una separación eficiente (Oliver y otros, 2019); (Reyes y otros, 2020).

Los mecanismos de activación por iones metálicos, en este caso específicos a los iones Cu^{2+} , incluyen tanto la modificación de la superficie del mineral como la formación de complejos que aumentan su afinidad por los colectores (como xantatos). La activación de la esfalerita se considera un proceso en el que el Cu^{2+} reacciona y se deposita en la superficie, facilitando su interacción con los reactivos flotantes y mejorando su capacidad para unirse a las burbujas, lo que

en última instancia incrementa su flotabilidad (Oliver y otros, 2019). Por ejemplo, un estudio demostró que la presencia de Cu^{2+} favorece la formación de compuestos hidrofóbicos en la superficie de esfalerita, lo que resulta en una mejora en la recuperación durante la flotación (Oliver y otros, 2019); (Ramírez-Serrano y otros, 2012).

Factores que favorecen la activación: Existen varios factores que favorecen la activación del zinc en el proceso de flotación. Entre los más prominentes se encuentra el pH del medio, que puede alterar las condiciones de adsorción de los reactivos de la flotación y iones metálicos sobre la superficie del mineral. Un pH ligeramente ácido a neutro puede ser favorable para la activación con Cu^{2+} (Dávila y otros, 2022). Además, la concentración de iones Cu^{2+} juega un papel crítico; niveles más altos de estos iones pueden resultar en una mayor saturación en la superficie del mineral y, por ende, en una mejora en la flotabilidad de la esfalerita (Ramírez-Serrano y otros, 2012). Sin embargo, la presencia de otros iones, como Ca^{2+} y Mg^{2+} , puede interferir en este mecanismo de activación al adsorberse en la superficie y actuar como depresores (Villegas & Uribe-Salas, 2023).

La activación del zinc en la flotación de cobre es un proceso complejamente regulado que depende de la química superficial del mineral, los reactivos utilizados, y las condiciones operativas del proceso. Un entendimiento profundo de estos mecanismos no solo es crucial para mejorar las prácticas de procesamiento en las plantas de flotación, sino que también puede contribuir al desarrollo de estrategias más eficientes y sostenibles en la recuperación de minerales.

2.2.5. Recirculación de concentrado.

La recirculación de concentrados en procesos metalúrgicos refiere a la práctica de retornar una porción del concentrado metalúrgico que ha sido previamente tratado de vuelta a un punto específico dentro del circuito de procesamiento. Este enfoque se utiliza comúnmente en plantas

concentradoras para maximizar la recuperación de minerales valiosos y mejorar la eficiencia del proceso de separación.

2.2.5.1. Ventajas de la Recirculación de Concentrados

Aumento de la Recuperación: La recirculación permite capturar minerales que, de otro modo, se perderían en la etapa de colas. Esto es particularmente relevante en el caso de minerales que son difíciles de separar en las etapas iniciales de flotación (Rahman y otros, 2016).

Mejora de la Calidad del Concentrado: Al eliminar nuevamente el mineral valioso del flujo de cola, se mejora la ley del concentrado final, lo que puede traducirse en beneficios económicos significativos (Brinis & Samar, 2014).

Eficiencia de Recursos: La recirculación ayuda a optimizar el uso de reactivos químicos, ya que los concentrados que han sido parte del proceso pueden requerir menores cantidades de reactivos para su recuperación posterior. Esto reduce costos operativos (Mau y otros, 2019).

Sostenibilidad: La implementación de la recirculación contribuye a una menor generación de residuos, lo que es un aspecto clave para las operaciones mineras más sostenibles y responsables con el medio ambiente (Doncato & Costa, 2023).

2.2.5.2. Desventajas de la Recirculación de Concentrados

Incremento de la Complejidad del Proceso: La recirculación puede requerir ajustes adicionales en el proceso de flotación, lo que puede aumentar la complejidad operativa y la necesidad de controles precisos (Rahman y otros, 2016).

Contaminación Potencial: La recirculación de concentrados puede introducir impurezas o contaminantes en las etapas donde se espera alta pureza, especialmente si no se controlan adecuadamente las condiciones del proceso (Raudales y otros, 2024).

Riesgo de Sedimentación: En ciertas condiciones, los concentrados recirculados pueden causar sedimentación en las celdas de flotación, lo que podría reducir la efectividad del proceso y aumentar el tiempo de mantenimiento (Rosias y otros, 2020).

2.2.5.3. Aplicaciones Comunes de la Recirculación en Plantas Concentradoras

Circuitos de Flotación: En la flotación de sulfuros como el cobre y el zinc, la recirculación se emplea para devolver concentrados finos al sistema, donde pueden ser tratados nuevamente para extraer el valor residual (Jung y otros, 2017).

Optimización de Circuitos de Limpiado: En las etapas de limpieza de flotación, los concentrados obtenidos de la etapa de rougher pueden ser recirculados para mejorar la calidad del concentrado final (Vu y otros, 2017).

Tratamiento de Relaves: La recirculación también se puede implementar en el tratamiento de relaves, donde los concentrados previamente separados son devueltos al proceso para recuperar metales preciosos remanentes (Ciula, 2022).

Control de Calidad: En plantas que procesan minerales altamente complejos o que contienen múltiples especies minerales, la recirculación permite ajustar dinámicamente la composición del flujo de concentrado para optimizar la separación (Brinis & Samar, 2014).

La recirculación de concentrados en procesos metalúrgicos presenta tanto ventajas como desventajas que deben ser cuidadosamente consideradas para mejorar la eficiencia operativa y económica en las plantas concentradoras. Su correcta implementación y manejo son cruciales para maximizar la recuperación y calidad del producto final.

2.2.6. Recirculación del Concentrado Scavenger en la Activación del Zinc

La recirculación del concentrado scavenger puede influir significativamente en la activación del zinc en el proceso de flotación, especialmente en el contexto de la flotación de

minerales de cobre. Esta relación se puede entender desde varias perspectivas, incluyendo cambios en las propiedades superficiales del mineral, interacción con los reactivos flotantes y modificaciones en el tiempo de residencia y el grado de liberación de los minerales.

La Influencia de la Recirculación: Se puede plantear que la recirculación del concentrado scavenger incrementa la concentración de zinc y cobre en la pulpa del proceso de flotación. Esta acumulación de iones metálicos podría facilitar una mayor activación de la esfalerita en condiciones de flotación, debido a la mayor disponibilidad de Cu^{2+} , que actúa como activador del zinc (Takeda y otros, 2008). En este contexto, el aumento de la concentración de Cu^{2+} podría favorecer la formación de compuestos que mejoran la hidrofobicidad de la esfalerita, resultando en una mayor recuperación del mineral durante las etapas de flotación (Wu y otros, 2013).

Relación entre el Tiempo de Residencia, Grado de Liberación y Selectividad: El tiempo de residencia en las celdas de flotación es crítico para el proceso, ya que determina la duración de la interacción entre las burbujas y las partículas minerales. Un tiempo de residencia adecuado permite que el proceso de activación se lleve a cabo eficazmente, maximizando la recuperación de minerales deseados y minimizando el arrastre de impurezas (Makanjuola y otros, 2016). Por otro lado, el grado de liberación se refiere a cómo se libera el mineral valioso de su ganga durante el procesamiento. Un adecuado grado de liberación favorece la separación selectiva, lo cual es vital para evitar la activación no deseada de minerales como el zinc en presencia de otros minerales no deseados (Takeda y otros, 2008). La combinación de un tiempo de residencia optimizado y un adecuado grado de liberación permitirá una separación más efectiva en el proceso, haciendo que la influencia del concentrado scavenger sobre la activación del zinc no sólo sea positiva, sino también crítica para la selectividad del proceso de flotación.

2.2.6.1.Experiencias Previas o Estudios Relacionados.

Un estudio demostró que la recirculación de concentrados puede mejorar significativamente la recuperación de metales valiosos, especialmente en sistemas donde el zinc actúa como un mineral secundario en presencia de cobre (Minami y otros, 2006).

Investigaciones previas han mostrado que a medida que aumenta la concentración de Cu^{2+} en la pulpa, se facilita la activación de la esfalerita, que se traduce en un aumento de la flotabilidad de este mineral en condiciones de flotación optimizadas (Wu y otros, 2013).

La evaluación de procesos previos en circuitos de flotación ha indicado que la recirculación contribuye a una mejor economía de recursos, dado que permite reutilizar reactivos y mejorar la calidad del concentrado final al contener menos impurezas (Koh y otros, 2015).

Por lo tanto, los mecanismos por los cuales la recirculación del concentrado scavenger afecta la activación del zinc en el proceso de flotación están intrínsecamente relacionados con la dinámica del proceso de flotación, el tiempo de residencia, y el grado de liberación de los minerales. Las evidencias sugieren que la optimización de estos parámetros puede ser esencial para maximizar la recuperación y pureza del concentrado de cobre.

2.2.7. Parámetros Operacionales

La evaluación de ciertos parámetros operacionales es fundamental para optimizar los procesos en plantas concentradoras, especialmente en lo que respecta a la flotación y la recuperación de minerales valiosos. A continuación, se analizan cuatro parámetros clave: la ley de cobre en el concentrado final, el contenido de zinc en el concentrado de cobre, la recuperación de cobre en el circuito rougher y la distribución de partículas finas y gruesas en los flujos recirculados.

Ley de Cobre en el Concentrado Final: La ley de cobre en el concentrado final es un indicador crucial de la eficiencia del proceso de flotación. Una ley elevada significa que se ha

logrado una mayor recuperación de cobre valioso con un menor contenido de impurezas. La concentración de cobre se mide antes y después de las etapas de flotación, y se relaciona directamente con la calidad del concentrado, que influye en su valorización en el mercado. Una ley de cobre superior a 20-25% es generalmente aceptable en la industria (Cifuentes y otros, 2010).

Contenido de Zinc en el Concentrado de Cobre: El contenido de zinc también es un parámetro que se debe evaluar, ya que su presencia en el concentrado de cobre puede tener varios efectos negativos. Un alto contenido de zinc puede resultar en penalizaciones económicas cuando el concentrado es vendido, ya que los compradores suelen requerir un menor contenido de impurezas para asegurar la calidad del metal refinado. Por lo tanto, monitorear y controlar el nivel de zinc en el concentrado es esencial para minimizar el impacto financiero sobre el producto final (García y otros, 2023).

Recuperación de Cobre en el Circuito Rougher: La recuperación de cobre en el circuito rougher evalúa la eficacia del proceso inicial de flotación donde se busca maximizar la cantidad de cobre separado de la ganga. Se expresa como un porcentaje y se determina a partir de la cantidad de mineral que pasa a la etapa de cleaning en relación con el total de mineral alimentado. Un desempeño óptimo en el circuito rougher es fundamental para asegurar que la cantidad de cobre recuperado sea la más alta posible, determinando así la eficiencia general del circuito (Cifuentes y otros, 2010).

Distribución de Partículas Finas y Gruesas en los Flujos Recirculados: La distribución de partículas finas y gruesas en los flujos recirculados es otro parámetro importante que evaluar, ya que influye en la sedimentación y la eficacia de la flotación. La presencia de partículas finas puede mejorar la recuperación, pero también puede causar problemas de sedimentación en las celdas de flotación si no se maneja adecuadamente (Ganoza, 2022). Una distribución equilibrada

entre partículas finas y gruesas es crucial para maximizar la eficiencia del proceso y minimizar el tiempo de inactividad debido a problemas operativos.

En conjunto, estos parámetros operacionales permiten un análisis integral del rendimiento de una planta concentradora. Su monitoreo y optimización son esenciales para garantizar una operación eficiente y económicamente viable en el procesamiento de minerales cupríferos. Adicionalmente, la interacción entre la recirculación de concentrados y la activación de minerales puede influir significativamente en estos parámetros, sugiriendo que una gestión integral de los factores operacionales es crucial para el éxito del proceso de flotación.

2.3. Bases Filosóficas

La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 en el circuito de rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre es un tema relevante que involucra consideraciones técnicas y químicas en el ámbito de la minería y la metalurgia. Esta práctica busca optimizar la recuperación de cobre y, al mismo tiempo, minimizar la influencia del zinc como activador no deseado en el proceso de flotación. La comprensión y el análisis de esta técnica deben fundamentarse en evidencias que consideren la interacción de los fenómenos químicos y los procesos físicos inherentes en la minería.

La recirculación es un principio bien establecido en diversas áreas de la ciencia. En el contexto de la minería, permite un manejo más eficiente de los recursos minerales, lo que tiene un impacto significativo en la sostenibilidad y en la economía del proceso minero (Montenegro y otros, 2008). La incorporación de técnicas de geoestadística para estimar variables no tradicionales en la metalurgia también refuerza la importancia de la recirculación al asegurar que los datos representen con precisión las condiciones del yacimiento y la calidad de los concentrados (Armijos & Celis, 2022). La interacción entre el mineral y los reactivos químicos, así como el resultado de

los procesos de flotación, se influye significativamente por los mecanismos de recirculación que se implementan (Bernaola & Dávila, 2023) ; (Hunt & Berry, 2017).

La interacción entre el zinc y el cobre en las plantas concentradoras es igualmente compleja, donde los mecanismos de activación y depresión en el proceso de flotación son cruciales. La caracterización mineralógica de los concentrados permite entender mejor estas interacciones (Bernaola & Dávila, 2023); (Santiago y otros, 2022). En este sentido, el diseño de un circuito de flotación que incluya la recirculación del concentrado scavenger puede ser visto como una solución innovadora que mejora la eficiencia y la productividad global de la planta, al tiempo que plantea un dilema en la gestión de residuos y su impacto en el medio ambiente (Ortiz y otros, 2012) (Ortiz et al., 2012). Este enfoque permite explorar nuevas dinámicas dentro de la metalurgia, sugiriendo que la filosofía del proceso puede inspirar la implementación de prácticas más sostenibles y responsables (Zaar, 2024).

Por último, la integración de datos y el uso de técnicas avanzadas de análisis en la investigación sugieren un cambio hacia una minería más consciente y adaptativa. La búsqueda de optimización, que combina el conocimiento técnico con la consideración del impacto ambiental, son fundamentales para el desarrollo de prácticas que no solo se enfoquen en el aumento de producción, sino que también respeten los límites del entorno donde se llevan a cabo estos procesos (Armijos & Celis, 2022); (Urviola y otros, 2020).

2.4. Definiciones conceptuales

- a) **Activación del zinc:** Fenómeno en el que el zinc, presente como esfalerita (ZnS), es químicamente activado por iones de cobre en solución, lo que permite su flotación junto con el cobre, reduciendo la calidad del concentrado final (Bulatovic, 2007).

- b) **Circuito de flotación:** Conjunto de etapas interconectadas (rougher, scavenger, cleaner) diseñadas para separar selectivamente los minerales valiosos de la ganga mediante el uso de reactivos químicos y burbujas de aire (Wills & Finch, Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 2015).
- c) **Concentrado de cobre:** Producto final del proceso de flotación, compuesto principalmente por minerales de cobre (como calcopirita, CuFeS_2), que se envía a fundición para su posterior refinación (Gupta & Yan, 2006).
- d) **Esfalerita (ZnS):** Mineral sulfurado de zinc que, cuando está presente en el mineral de cobre, puede activarse y flotar junto con el cobre, reduciendo la calidad del concentrado (Bulatovic, 2007).
- e) **Optimización de circuitos:** Proceso de ajuste y mejora de los parámetros operativos de un circuito de flotación (como flujos de recirculación, dosificación de reactivos y distribución de agua) para maximizar la recuperación y la calidad del concentrado (Wills & Napier-Munn, Mineral Processing Technology., 2006).
- f) **Planta concentradora:** Instalación industrial donde se procesa el mineral extraído de la mina para separar los metales valiosos de la ganga mediante procesos físicos y químicos (Wills & Finch, Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 2015).
- g) **Reactivos de flotación:** Sustancias químicas utilizadas en el proceso de flotación para modificar las propiedades superficiales de los minerales, permitiendo su separación selectiva. Incluyen colectores, espumantes y modificadores (Bulatovic, 2007).
- h) **Recirculación de concentrado:** Proceso en el que el concentrado obtenido en una etapa posterior del circuito de flotación (como el scavenger) es reintroducido en una etapa anterior

(como el rougher) para optimizar la recuperación del mineral valioso y mejorar la selectividad del proceso (Wills & Finch, Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 2015).

- i) **Rougher:** Primera etapa del circuito de flotación, donde se obtiene un concentrado preliminar con una alta recuperación del mineral de interés, aunque con menor pureza. (Wills & Finch, Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 2015).
- j) **Scavenger:** Etapa del circuito de flotación diseñada para recuperar partículas de mineral valioso que no fueron capturadas en las etapas anteriores, como el rougher (Gupta & Yan, 2006).
- k) **Selectividad en flotación:** Capacidad del proceso de flotación para separar eficientemente los minerales valiosos de los no valiosos, minimizando la contaminación del concentrado final (Gupta & Yan, 2006).
- l) **WS2:** La celda de flotación WS, también conocida como celda WS-Morococha, es un tipo de celda de flotación auto-aireada que se utiliza en la industria minera para separar minerales valiosos de la ganga. Esta celda se caracteriza por su capacidad de tratar partículas gruesas y su volumen de celda que va de 5 a 556 pies cúbicos (Wilfredo, 1976).

2.5. Hipótesis de la Investigación.

2.5.1. Hipótesis General.

La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución en la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

2.5.2. Hipótesis Específicos.

La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución del porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, influye en la mejora en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, influye en la mejora en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

2.6. Operacionalización de Variables e Indicadores.

La operación de estudio sobre “Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario”, se describe en la tabla 1.

Tabla 1

Operacionalización de las variables e indicadores

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
Recirculación de concentrado	La recirculación del concentrado es el retorno de material parcialmente concentrado al inicio del proceso de flotación para mejorar la recuperación de minerales valiosos (Wills & Finch, 2015)	- Concentrado	- Flujo
Dependiente			
Disminución de la activación de zinc	Reducir la incorporación de minerales de zinc al concentrado de cobre durante el proceso de flotación (Fuerstenau y otros, 2007).	- Porcentaje de activación - Calidad y recuperación cobre - Calidad y recuperación de plata	- % - g/t
Intervinientes			
Condiciones de operación en la flotación	Son los parámetros controlados en la flotación para la separación selectiva de minerales en el proceso de flotación (Adewale, 2023).	- Aire - Granulometría - Reactivos - Densidad de pulpa - pH	- cm ³ /min - %-200m - g/t - g/L - básico

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico.

3.1.1. Tipo de Investigación.

Esta investigación representa un estudio aplicado, enfocado en resolver un problema industrial específico mediante la implementación y evaluación de modificaciones en el circuito de flotación. Su objetivo es mejorar la selectividad del proceso reduciendo la activación del zinc en el concentrado de cobre a través de cambios operacionales en los flujos de recirculación entre etapas, lo que implica manipular variables de proceso (puntos de adición de concentrado scavenger) y medir sus efectos en la calidad del producto final (Narváez, 2009).

3.1.2. Nivel de Investigación.

La investigación sobre "Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre" presenta un nivel explicativo porque busca establecer relaciones causales entre la modificación del circuito de flotación y la reducción de la activación del zinc. Este nivel de investigación va más allá de la descripción de fenómenos, analizando los mecanismos por los cuales la recirculación del concentrado scavenger afecta las condiciones fisicoquímicas del proceso, alterando la química superficial de las partículas de zinc y reduciendo su recuperación en el concentrado de cobre (Hernandez & Mendoza, 2018).

3.1.3. Diseño de la Investigación.

Esta investigación emplea un diseño experimental de tipo pre-experimental con pre-prueba y post-prueba sin grupo control, donde se evalúa el efecto de la recirculación del concentrado scavenger al WS2 (variable independiente) sobre el contenido de zinc en el concentrado final de

cobre (variable dependiente). El diseño implica una medición inicial del sistema convencional (pre-prueba), seguida por la implementación de la modificación del circuito y mediciones posteriores (post-prueba). Las pruebas se realizan bajo condiciones controladas de planta, manteniendo constantes parámetros como dosificación de reactivos, pH, densidad de pulpa y tiempo de residencia, mientras se varía el punto de adición del concentrado scavenger (Zuta y otros, 2022).

3.1.4. Enfoque de la Investigación.

La investigación sobre recirculación del concentrado scavenger al WS2 del circuito rougher utiliza un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos que analizan numéricamente los cambios en las leyes de concentrado, recuperaciones metalúrgicas y cinética de flotación, con elementos cualitativos que examinan los mecanismos fisicoquímicos de la activación del zinc y los fenómenos superficiales involucrados. Este enfoque permite tanto medir estadísticamente la efectividad de la modificación del circuito como comprender los fundamentos de las interacciones entre reactivos, minerales y condiciones operacionales que explican los resultados obtenidos (Ñaupas y otros, 2014).

3.2. Población y Muestra.

3.2.1. Población de la Investigación.

La población en el estudio sobre "Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre", es el flujo del circuito de separación de cobre zinc en la planta concentradora Virgen del Rosario.

3.2.2. Muestra de la Investigación.

Respecto la muestra en el estudio sobre "Recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre", se realizará en la alimentación al circuito de flotación scavenger, concentrado, relave en un lapso de 2 horas durante la guardia de día y noches aproximadamente de medio litro de pulpa para luego enviar llevar al laboratorio y sacar las muestras, que consiste en la mezcla de la pulpa acumulado durante la guardia, para luego sacar una muestra representativa de un litro y filtrar y secar. La alimentación, concentrado y relave se sacará aproximadamente una muestra seca de unos 200 gramos para enviar al laboratorio, antes de la recirculación y después de la recirculación para realizar las respectivas evaluaciones. En el tiempo de dos horas se medirán las otras variables necesarias que se requieren en el estudio.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.3.1. Técnicas en la recopilación de datos.

En la investigación realizado, la observación se empleó como método de recopilación de datos para monitorear sistemáticamente variables en el circuito de flotación, como la eficiencia de la recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del rougher, los niveles de activación del zinc en el concentrado de cobre, y parámetros operacionales (pH, dosificación de reactivos, distribución de tamaño de partícula, entre otros). Este enfoque permitirá registrar información en

tiempo real, identificar patrones y correlaciones de datos, minimizando sesgos mediante protocolos estandarizados de medición (Hernández y otros, 2014).

3.3.2. Descripción de los Instrumentos en la recopilación de datos.

En la investigación realizado, los instrumentos para la toma de datos incluyeron listas de cotejo y cuadros estructurados para sistematizar la observación. La lista de cotejo contendrá ítems predefinidos, como parámetros operacionales (pH, dosificación de reactivos, flujo de pulpa), indicadores de eficiencia (recuperación de cobre, niveles de zinc activado) y condiciones del proceso (temperatura, tiempo de residencia), los cuales se marcarán o medirán según su ocurrencia o valor. Por otro lado, el cuadro estructurado organizará los datos en filas y columnas, registrando variables cuantitativas (por ejemplo, concentración de zinc en %, tamaño de partícula en micras) y cualitativas (observaciones de anomalías operativas) de manera ordenada y cronológica. Estos instrumentos garantizan la coherencia, reducen omisiones y facilitan el análisis posterior (Hernández y otros, 2014).

3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información.

Para el procesamiento de datos en la investigación sobre la recirculación del concentrado del scavenger al WS2 del circuito rougher, se empleará la estadística descriptiva para resumir y organizar la información recopilada (Graña & Díaz, 2007). Esto incluirá el cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, rango) para variables como la concentración de zinc en el concentrado de cobre, eficiencia de recuperación, pH, dosificación de reactivos y tamaño de partícula (Humberto & Carlos, 2015). Además, se utilizarán herramientas gráficas como histogramas, diagramas de caja y gráficos de dispersión para visualizar patrones, distribuciones y posibles correlaciones entre variables (Montero, 2007). Por ejemplo, se analizará cómo la recirculación afecta la variabilidad de la activación de zinc en diferentes condiciones

operativas. Estos análisis permitirán sintetizar los datos de manera clara y accesible, facilitando la identificación de tendencias preliminares.

En complemento, se aplicará estadística inferencial para validar hipótesis y generalizar resultados (Humberto & Carlos, 2015). Se realizarán pruebas de hipótesis (como la prueba t o ANOVA) para comparar medias entre grupos (ej.: concentrado antes y después de la recirculación), y análisis de regresión lineal o múltiple para evaluar la relación entre variables independientes (pH, dosificación de colectores) y dependientes (activación de zinc) (Sabadías, 1995). También se emplearán técnicas de modelado estadístico para predecir el impacto de la recirculación en la eficiencia del proceso. Para ello, se utilizarán paquetes estadísticos como minitab, jamovi, JASP, Excel.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Condiciones de trabajo.

Las muestras obtenidas de planta se realizaron con un muestreo del circuito sin recircular, con recirculación al WS23 y WS24 en la alimentación, concentrado y relave cada 2 horas durante el turno de día y noche las cuales se llevaron al laboratorio metalúrgico para la separación solido liquido mediante la filtración y secado. El producto de la separación solido liquido se empaqueta en sobre manila y enviado al laboratorio químico para su análisis químico.

Para los datos del circuito convencional se llevaron a cabo durante 11 días, mientras que con recirculación a la celda WS23 se realizaron durante 11 días y para la recirculación a la celda WS24 en un periodo de 24 días, siendo un total de 46 días.

Las muestras extraen cada 2 horas con un muestreador de hojas en promedio de $\frac{1}{2}$ litro de muestras, los que se depositan en un balde de 24 litros con tapa para no contaminar las muestras, esta muestra, después de la guardia se lleva al laboratorio metalúrgico para realizar una homogenización de la muestra y sacar una muestra de $\frac{1}{2}$ litro para ser filtrado y secado. El concentrado, relave y mineral secado se saca la muestra por incremento un peso de aproximadamente 100 gramos en una bolsa lo que se rotulan y se introduce en una bolsa manilla para rotular y enviar al laboratorio de las 3 muestras como cabeza, relave y concentrado por turno.

4.2. Resultados

Tabla 2

Leyes y recuperación del concentrado sin recircular de Cu, Zn, Ag

N°	Sim -%Cu	Sim -%Zn	Sim - onz/t Ag	Sim - R %Cu	Sim - R % Zn	Sim - R % Ag
1	25.08	5.35	12.92	95.10	78.74	88.82
2	24.66	4.05	13.51	87.10	51.60	80.16
3	25.11	5.74	13.57	95.52	79.27	88.07
4	26.68	4.75	14.48	89.81	61.68	84.73
5	25.58	4.21	13.31	94.10	61.38	86.12
6	26.88	5.58	14.58	93.96	76.00	88.15
7	26.02	5.58	14.29	94.27	74.47	85.73
8	27.69	3.97	15.95	93.50	50.25	85.94
9	27.77	6.60	15.64	97.31	84.26	89.43
10	26.06	4.05	13.69	93.45	60.73	85.71
11	24.24	7.14	16.10	97.01	79.41	89.62

En los once datos sin recirculados en la tabla 2, las leyes promedio fueron Cu 25.98% (mín. 24.24 en #11; máx. 27.77 en #9), Zn 5.18% (mín. 3.97 en #8; máx. 7.14 en #11) y Ag 14.37 oz/t (mín. 12.92 en #1; máx. 16.10 en #11). Las recuperaciones promedio alcanzaron R_Cu 93.74% (mín. 87.10 en #2; máx. 97.31 en #9), R_Zn 68.89% (mín. 50.25 en #8; máx. 84.26 en #9) y R_Ag 86.59% (mín. 80.16 en #2; máx. 89.62 en #11).

Por corridas, se destaca #9 con altos valores simultáneos (Cu 27.77%, R_Cu 97.31%, R_Zn 84.26%, R_Ag 89.43). La #11 presenta el Zn más alto (7.14%) y la Ag más alta (16.10 oz/t) junto con el máximo R_Ag (89.62%), aunque su Cu de cabeza es el menor (24.24%). En contraste, #2 muestra los mínimos de R_Cu (87.10%) y R_Ag (80.16%), y #8 el mínimo R_Zn (50.25%) con Zn de cabeza 3.97%.

Tabla 3

Recirculación al SW23 la ley y recuperación del concentrado Ag, Cu, Zn

Nº	23 - %Cu	23 - %Zn	23 - onz/t Ag	23 - R %Cu	23 - R % Zn	23 - R % Ag
1	24.67	5.00	12.61	93.01	73.17	86.19
2	24.50	3.98	13.41	86.39	50.64	79.44
3	23.62	4.89	12.58	88.38	66.44	80.30
4	25.52	3.66	13.77	84.78	46.85	79.49
5	24.93	3.81	12.93	91.19	55.28	83.20
6	24.62	3.90	13.09	83.78	51.67	77.07
7	25.41	4.88	13.92	91.59	64.82	83.09
8	25.79	2.92	14.01	84.89	36.04	73.58
9	25.10	4.18	13.94	85.72	51.99	77.68
10	25.57	3.88	13.43	91.27	57.88	83.66
11	23.35	5.55	15.53	92.30	60.94	85.40

En 11 datos de la recirculación a la celda SW23 en la tabla 3, las leyes promedian Cu 24.83% (mín. 23.35 en #11; máx. 25.79 en #8), Zn 4.24% (mín. 2.92 en #8; máx. 5.55 en #11) y Ag 13.57 oz/t (mín. 12.58 en #3; máx. 15.53 en #11). Las recuperaciones promedio son R_Cu 88.48% (83.78–93.01), R_Zn 55.97% (36.04–73.17) y R_Ag 80.83% (73.58–86.19), siendo Zn el circuito más variable.

Por corridas, #1 marca los máximos simultáneos de R_Cu (93.01%), R_Zn (73.17%) y R_Ag (86.19%); #8 muestra los mínimos de R_Zn (36.04%) y R_Ag (73.58%), coincidiendo con la ley de Zn más baja (2.92%); #11 combina Ag y Zn más altos (15.53 oz/t y 5.55%) con Cu de cabeza más bajo (23.35%). A partir de los datos, se observan correlaciones altas: R_Cu–R_Ag ($r \approx 0.92$) y R_Zn–%Zn ($r = 0.85$), además de asociaciones fuertes entre R_Ag–R_Zn ($r = 0.82$) y R_Cu–R_Zn ($r = 0.77$).

Tabla 4*Recirculación al SW24 ley y recuperación de Ag, Cu y Zn*

Nº	24 - %Cu	24 - %Zn	24 - onz/t Ag	24 - R %Cu	24 - R % Zn	24 - R % Ag
1	22.39	2.12	10.13	96.41	50.46	90.35
2	22.37	2.69	10.43	94.96	42.23	87.11
3	22.46	2.20	10.60	95.89	67.67	90.98
4	23.35	1.57	9.90	97.35	62.20	91.21
5	24.19	1.64	11.02	96.55	96.55	96.55
6	21.72	1.54	10.14	97.21	62.21	93.53
7	22.26	1.97	10.33	95.85	60.51	90.18
8	21.99	1.66	10.53	96.16	57.48	92.31
9	23.30	1.86	10.29	96.21	56.71	89.80
10	21.32	1.96	9.47	97.10	57.76	91.53
11	24.29	1.86	10.87	96.37	46.59	89.92
12	23.86	1.86	11.29	95.62	42.80	89.02
13	25.55	1.41	10.55	97.10	39.05	91.22
14	23.78	1.68	11.48	97.09	40.22	92.79
15	23.41	1.87	11.00	96.16	41.64	90.04
16	20.12	1.78	10.69	96.86	42.96	92.92
17	20.98	2.02	10.35	96.39	44.58	91.66
18	21.30	2.42	10.04	96.45	46.88	91.44
19	24.37	2.03	11.44	96.48	39.84	90.60
20	23.22	2.02	11.09	96.84	43.24	91.41
21	23.70	2.24	10.85	96.63	46.68	91.00
22	21.65	2.20	9.90	96.21	47.78	90.12
23	24.23	2.30	11.26	95.89	46.52	90.17
24	22.10	1.81	9.94	96.32	40.12	89.37

Los datos en la tabla 3, sobre la recirculado a la celda SW24, las leyes son moderadas y relativamente estables: las leyes de Cu promedia 22.83% (mín. 20.12 en #16; máx. 25.55 en #13),

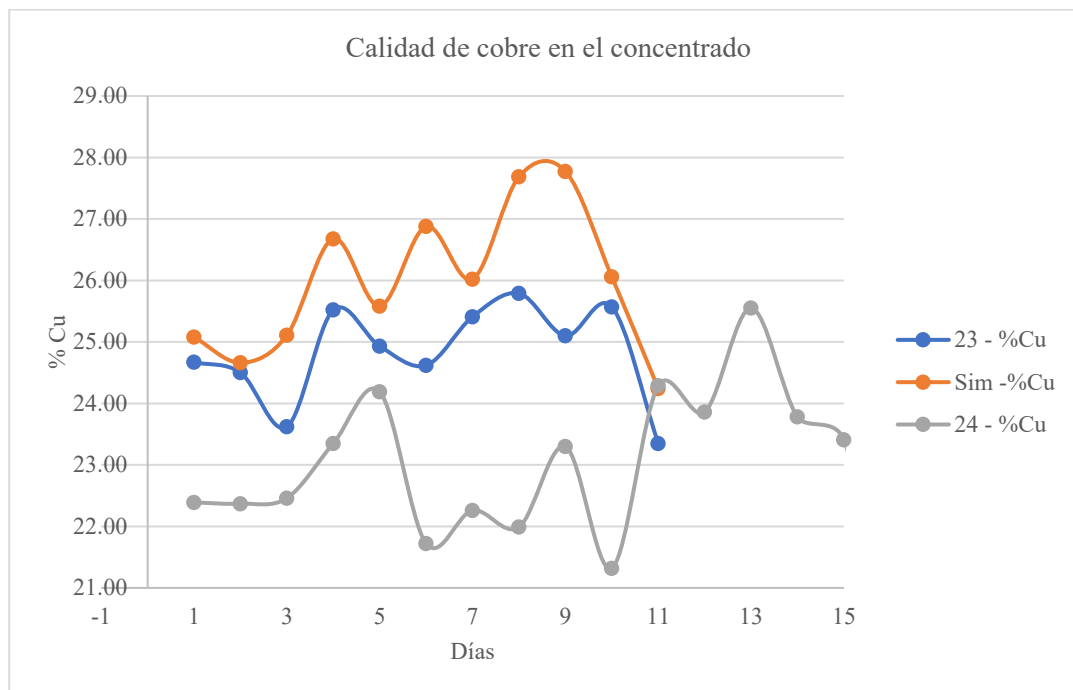
Zn promedio 1.95% (mín. 1.41 en #13; máx. 2.69 en #2) y Ag 10.57 oz/t (mín. 9.47 en #10; máx. 11.48 en #14). Los mejores valores puntuales por ley se observan en #13 (Cu), #2 (Zn) y #14 (Ag).

Las recuperaciones muestran tres comportamientos distintos: Cu es muy consistente y alto (96.42% en promedio; 94.96–97.35, máximo en #4); Ag también alto y con dispersión baja (91.05%; 87.11–96.55, mínimo en #2, máximo en #5); mientras que Zn es el más variable (50.95%; 39.05–96.55). Destaca #5 con 96.55% simultáneo en R_Cu, R_Zn y R_Ag, valor atípico frente al resto (el segundo mejor R_Zn es 67.67% en #3). En el extremo opuesto, las recuperaciones de Zn más bajas se dan en #13 (39.05%) y, con valores cercanos, #14–#15, pese a leyes de cabeza similares al conjunto. En síntesis: Cu y Ag mantienen rendimientos elevados y estables; Zn exhibe gran dispersión con algunos casos sobresalientes y otros francamente bajos.

4.3. Comparación de los resultados sin y con recirculación al SW23 y SW24

Figura 1

Calidad de concentrado de cobre sin recircular y con recirculación a la celda SW23, SW24



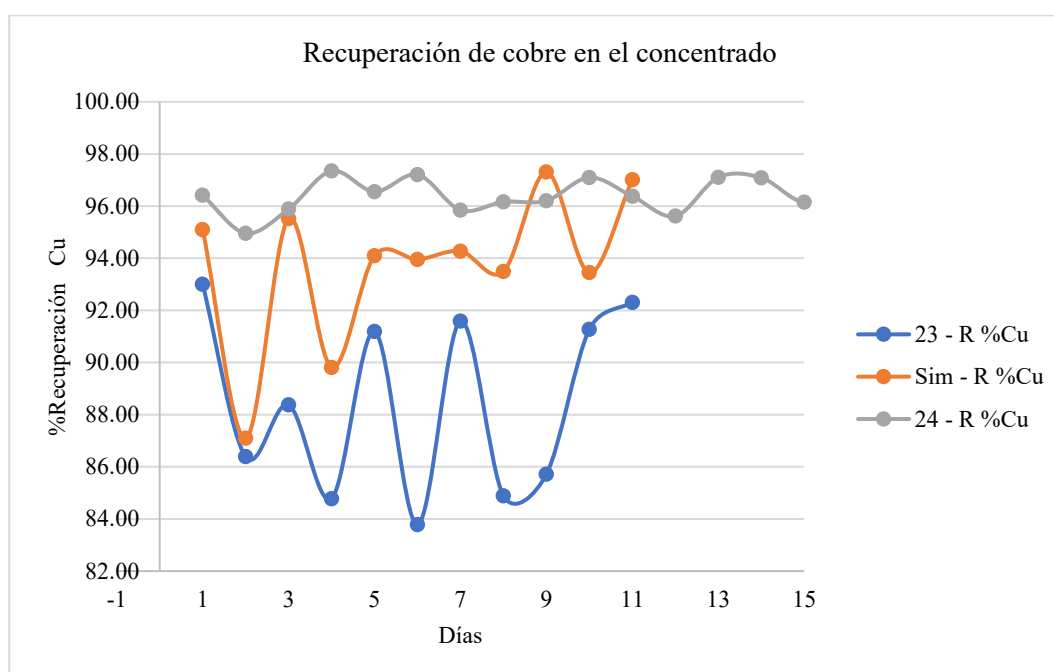
La figura 1 compara la ley de Cu en el concentrado para tres series. Sim – %Cu (naranja) se mantiene como la más alta durante casi todo el periodo (25.0–27.8%), con una tendencia ascendente hasta los días 8–9 (pico 27.8%) y luego descenso hasta 26% en el día 10 y una caída abrupta cercana a 24% alrededor del día 11–12. 23 – %Cu (azul) es intermedia y estable, fluctuando 24–26% con dos mesetas (días 4–5 y 8–10) y una bajada puntual marcada en el día 11 (23.3%), tras la cual intenta recuperarse. 24 – %Cu (gris) presenta los valores más bajos y mayor variabilidad (≈ 21.5 – 25.7%): alterna picos y valles cortos, con un mínimo alrededor del día 10–11 (21.5%) y un pico transitorio ~ 25.7 hacia el final.

El orden de desempeño típico es Sim > SW23 > SW24. La sincronía de cambios alrededor del día 11 (caen Sim y SW23; SW24 marca mínimo y luego pico) sugiere un evento común que

afectó la calidad del concentrado (p. ej., cambio de alimentación, P80, pH/activación o régimen de recirculación). Operativamente, SW23 muestra control más robusto (variación acotada), Sin recirculación (Sim) logra las leyes más altas, pero es sensible a perturbaciones, y SW24 requiere estabilización (granulometría y dosificación) para reducir su alta oscilación y cerrar la brecha de ley frente a las otras dos series.

Figura 2

Recuperación de cobre en concentrado sin recirculación y con recirculación



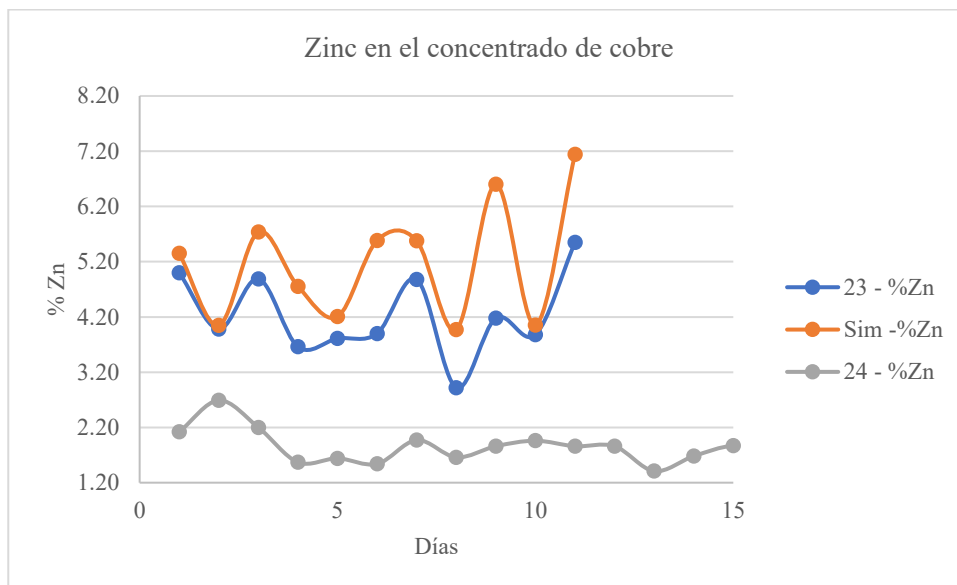
La figura 2 muestra tres series de recuperación de cobre. SW24 – R %Cu (gris) se mantiene alta y muy estable alrededor de 96–97% durante todo el periodo, con oscilaciones menores (± 0.5 p.p.). Sin recirculación (Sim) – R %Cu (naranja) opera en un nivel intermedio (93–97%), con picos cercanos a 97–98% y valles temporales alrededor de 90–92% en los primeros días antes de recuperarse.

Por su parte, 23 – R %Cu (azul) es la serie más baja y volátil: inicia cerca de 93%, cae sucesivamente hasta 84–86% hacia la mitad del periodo y luego se recupera gradualmente hacia

92% al final. En conjunto, el orden de desempeño es $SW24 > Sim > WS23$ en la mayor parte del intervalo, destacando la consistencia de $SW24$ y la mayor variabilidad de $SW23$.

Figura 3

Presencia del Zn en concentrado de cobre sin y con recirculación al $SW23$ y $SW24$

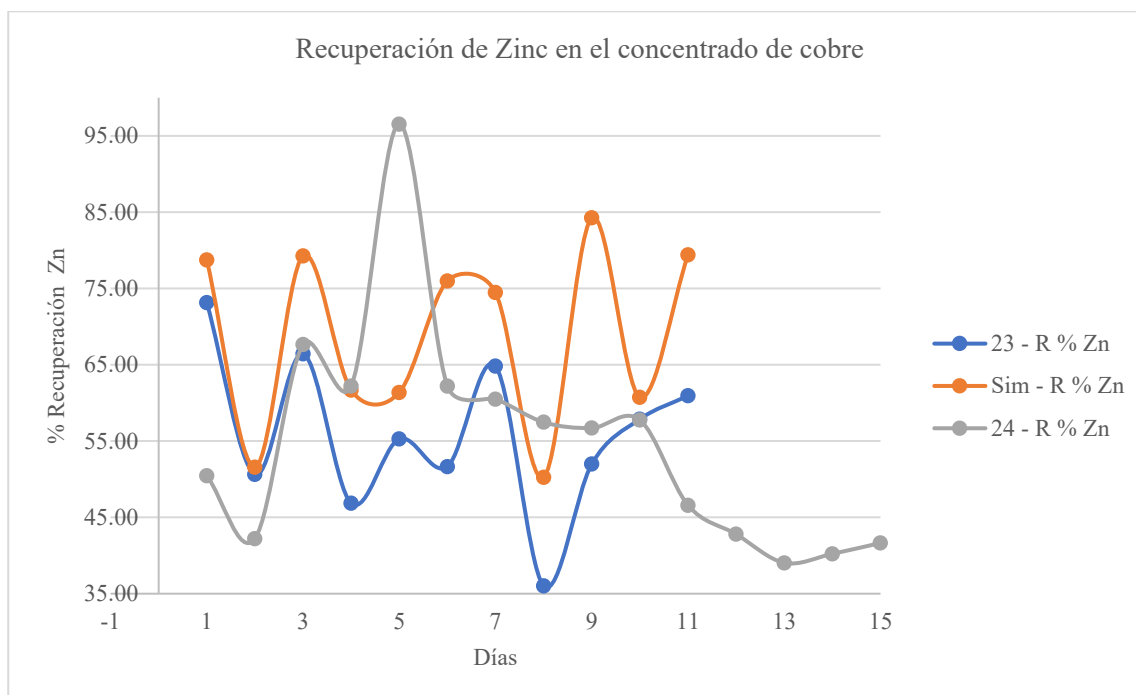


En la figura 3 compara el %Zn en el concentrado de cobre para tres series. Sin recirculación (Sim) – %Zn (naranja) es la más alta y volátil: se mueve 4.0–7.2%, con picos claros hacia los días 9–11 (6.8–7.2%) y valles temporales 4.0–4.3%. $SW23$ – %Zn (azul) se mantiene en un nivel intermedio 3.1–5.6%; desciende hasta 3.1 alrededor del día 8 y luego repunta hasta 5.6 cerca del día 11.

$SW24$ – %Zn (gris) presenta los valores más bajos y estables, alrededor de 1.3–2.1%, con oscilaciones menores y un leve aumento al final (1.9–2.0%). En casi todo el periodo se observa el orden $Sim > SW23 > SW24$ en contenido de Zn, con máxima variabilidad en Sim, variabilidad moderada en $SW23$ y mínima en $SW24$.

Figura 4

Distribución del zinc en los concentrados sin y con recirculación al SW23 y SW24

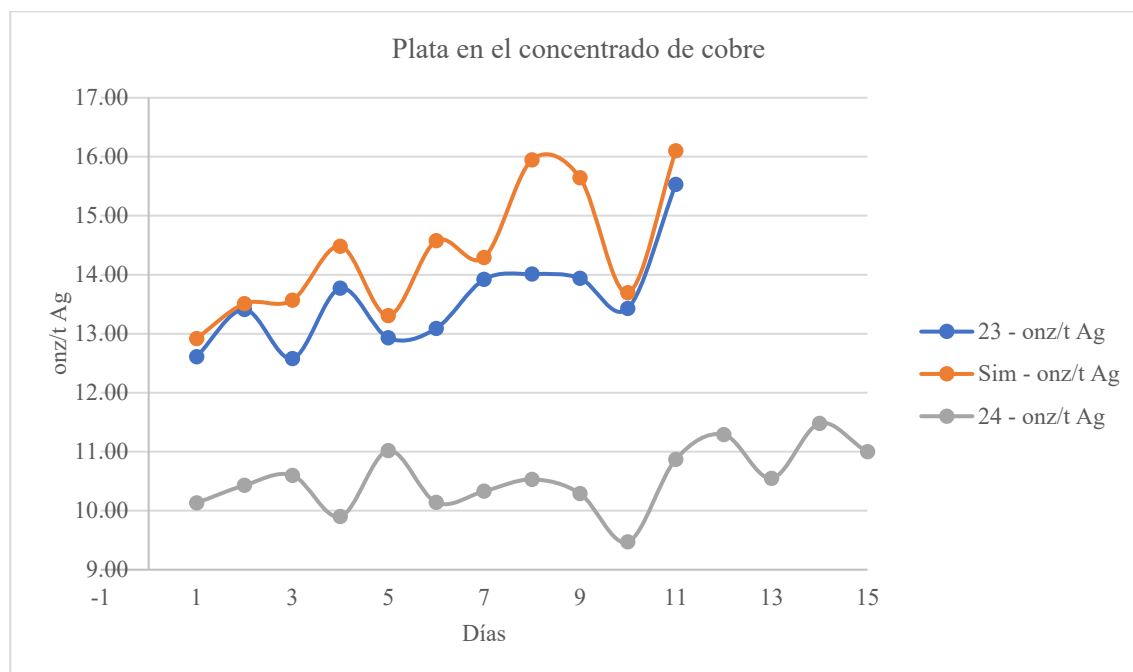


La figura 4 compara la recuperación de zinc para tres series. Sin recirculación (Sim) – R %Zn (naranja) se mantiene en un nivel medio–alto (aprox. 55–85%). Tiene picos claros hacia la mitad y el final del periodo (cerca de 80–85%) y valles puntuales alrededor de 50–55%, pero en general se recupera rápido.

SW23 – R %Zn (azul) es más baja y variable: inicia alta, cae con fuerza hasta un mínimo cercano a 35% hacia el medio del periodo y luego remonta gradualmente hacia 60–63%. SW24 – R %Zn (gris) muestra un pico muy alto al inicio (cerca de 95%), pero después desciende de forma sostenida hasta valores alrededor de 40%. En conjunto, el orden típico es Sim > SW23 en la parte final, mientras que SW24 pasa de ser el mejor al comienzo a perder rendimiento hacia el cierre.

Figura 5

Ley de la plata en el concentrado de cobre sin y con recirculación al SW23 y SW24

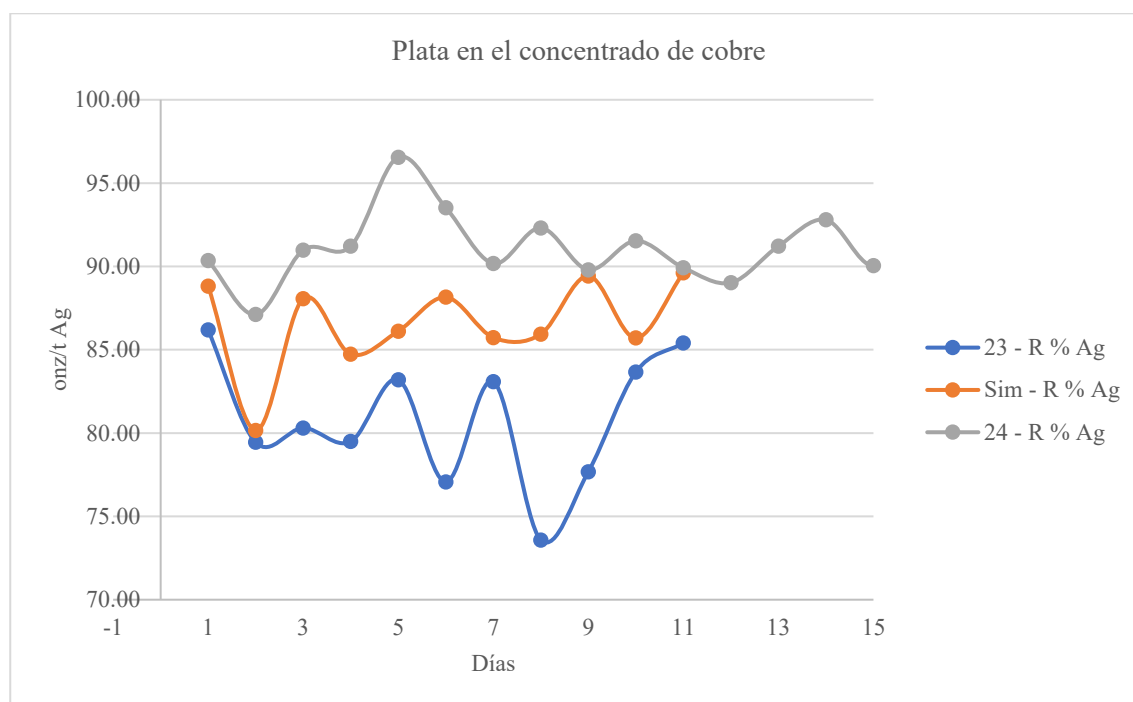


La figura 5 muestra la cantidad de plata presente en el concentrado para tres series. Sim - onz/t Ag (naranja) es la más alta y muestra una clara tendencia al alza: parte de unas 13,2 onzas por tonelada, alcanza las 16,0 onzas por tonelada hacia los días 8-9, cae brevemente alrededor del día 10 (13,6 onzas por tonelada) y luego se recupera hasta las 16,2 onzas por tonelada al final. SW23 - onz/t Ag (azul) sigue un patrón similar, pero un escalón por debajo: sube gradualmente de 12,6 a 15,6 onzas por tonelada, con un bache cercano a 13,5 onzas por tonelada en el día 10 y posterior rebote.

SW24 onz/t Ag (gris) presenta los valores más bajos y estables (aproximadamente 10,0-11,5 onzas por tonelada), con ligeras oscilaciones y un ligero aumento hacia el cierre. Durante casi todo el período se mantiene el orden $\text{Sim} > \text{SW23} > \text{SW24}$. La caída simultánea de Sim y SW23 alrededor del día 10 sugiere un evento común (por ejemplo, un cambio en la alimentación o en las condiciones operativas) antes de la recuperación inmediata.

Figura 6

Porcentaje de distribución Ag en sin y con recirculación SW23 SW24



La figura 6 compara la recuperación de plata (R %Ag) en tres series. SW24 — R %Ag (gris) es la más alta y estable, y se mueve en torno a un 88-96 %, con un máximo cerca de la mitad del período (96 %) y leves oscilaciones posteriores que la mantienen en torno a un 90-92 % hacia el final. Sim - R %Ag (naranja) se ubica en un nivel intermedio (82-90 %), con un inicio irregular (cae cerca del 80 % en los primeros días), una recuperación gradual y picos alrededor del 88-90 % hacia la parte media-final.

SW23-R %Ag (azul) es la más baja y variable: comienza en un 86 %, cae a un 79-80 % en los primeros días, presenta un valle marcado (73-78 %) en la mitad del período y luego se recupera hasta un 85 % al final. En conjunto, el orden de desempeño típico es SW24 > Sim > SW23, siendo SW24 el que destaca por su alta consistencia, Sim por su recuperación progresiva y SW23 por su mayor sensibilidad a los cambios durante el periodo.

4.4. contrastación de hipótesis.

4.4.1. Contrastación de hipótesis general.

Ha: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución en la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

Ho: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, **no** tendrá efecto en la disminución en la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

Tabla 5

Análisis de varianza de la recirculación de la celda scavenger al SW2 rougher

Condición	n	%Zn medio	IC95% %Zn	R%Zn medio
SW24	24	1.95	1.82–2.07	50.95
SW23	11	4.24	3.73–4.75	55.97
Sim	11	5.18	4.46–5.91	68.89

La contrastación en la tabla 5 con recirculación al SW2 (SW24) el %Zn en el concentrado disminuye de forma marcada frente a SW23 y Sim. En SW24, el %Zn promedio es 1.95% (IC95%: 1.82–2.07), mientras que en SW23 es 4.24% (3.73–4.75) y en Sim 5.18% (4.46–5.91). El ANOVA de Welch muestra diferencias significativas ($F \approx 102.5$; $p < 1 \times 10^{-15}$). Comparaciones pareadas confirman reducciones sustanciales (SW24 vs SW23: $\Delta = -2.29$ pp, $p < 1 \times 10^{-6}$; S24 vs Sim: $\Delta = -3.24$ pp, $p < 1 \times 10^{-6}$). En apoyo, R%Zn es menor en SW24 que en Sim.

4.4.2. Contrastación de hipótesis específicos.

Ha: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución del porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

Ho: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, **no** tendrá efecto en la disminución del porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.

Tabla 6

Contrastación de ANOVA de Welch

Condición	n	%Zn medio	IC95% %Zn	Δ vs SW24 (pp)	p (vs SW24)	R%Zn medio
SW24 (SW2)	24	1.95	1.82–2.07	—	—	50.95
SW23 (base)	11	4.24	3.73–4.75	+2.29	<0.001	55.97
Sim (sin recirc.)	11	5.18	4.46–5.91	+3.24	<0.001	68.89

En el análisis de varianza en la tabla 6, con los tres escenarios (Sim, SW23, SW24), se contrastó la variable principal %Zn en el concentrado de Cu. SW24 (recirculación al SW2) presenta una media muy inferior a 23 y Sim. El ANOVA de Welch indica diferencias globales significativas ($F_{102.5}$; $p < 0.001$). Las comparaciones pareadas confirman que $SW24 < SW23$ y $SW24 < Sim$ con $p < 0.001$ y tamaños de efecto muy grandes ($\Delta = -2.29$ y -3.24 pp). En apoyo, la R%Zn también es menor en SW24 que en Sim. Se rechaza H_0 y se acepta H_a ; la recirculación sí disminuye la activación de Zn.

Ha: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, influye en la mejora en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

Ho: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, **no** influye en la mejora en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

Tabla 7

Análisis de varianza de la calidad y recuperación del cobre sin y recirculación a las celdas W23 y SW24

Variable	Condición	n	Media	IC95%	Δ vs SW24 (p.p.)	p (vs SW24)
%Cu (calidad)	SW24 (SW2)	24	22.83	22.28–23.38	—	—
	WS23 (base)	11	24.83	24.30–25.35	+1.996	4.4×10^{-6}
	Sim (sin recirc.)	11	25.98	25.19–26.77	+3.149	4.9×10^{-7}
R%Cu (recuperación)	SW24 (SW2)	24	96.42	96.18–96.66	—	—
	23 (base)	11	88.48	86.15–90.81	–7.94	1.7×10^{-5}
	Sim (sin recirc.)	11	93.74	91.74–95.74	–2.68	0.0137

En la tabla 7 para los tres escenarios (Sim, SW23, SW24), se contrastó si la recirculación al SW2 (SW24) mejora calidad (%Cu en el concentrado) y recuperación (R%Cu). Los resultados muestran que SW24 incrementa significativamente la recuperación de Cu frente a 23 ($\Delta=+7.94$ p.p.; $p=1.7 \times 10^{-5}$) y también frente a Sim ($\Delta=+2.68$ p.p.; $p=0.0137$). Sin embargo, la calidad (%Cu) disminuye en SW24 respecto de 23 ($\Delta=-1.996$ p.p.; $p=4.4 \times 10^{-6}$) y Sim ($\Delta=-3.149$ p.p.; $p=4.9 \times 10^{-7}$). Se acepta parcialmente H_a solo para recuperación y se rechaza para calidad; globalmente, no se verifica una mejora simultánea en ambas métricas.

Ha: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, influye en la mejora en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

Ho: La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al SW2 del circuito rougher, **no** influye en la mejora en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.

Tabla 8

Análisis de varianza de la calidad y recuperación de plata sin y con recirculación a la celda SW23 Y SW24

Condición	n	onz/t Ag (media)	Δ onz/t vs SW24	R %Ag (media)	Δ p.p. vs SW24
SW24 (recirc.)	24	10.57	—	91.05	—
SW23 (base)	11	13.57	+3.00	80.83	-10.22
Sim (sin recirc.)	11	14.37	+3.80	86.59	-4.46

En la tabla 8, correspondiente a los tres escenarios (Sim, SW23 y SW24, con recirculación hacia el WS23/SW24), se evaluó si la recirculación mejoraba simultáneamente la calidad (onz/t Ag en el concentrado) y la recuperación (R % Ag). Los datos muestran que SW24 incrementa la recuperación del Ag respecto a SW23 y Sim, pero reduce la ley del Ag (calidad) frente a ambos. Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa (Ha) para la recuperación y se rechaza para la calidad; en conjunto, no se evidencia una mejora conjunta en ambos casos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de Resultados

Los resultados de esta investigación demuestran que la recirculación del concentrado del circuito Scavenger hacia el circuito Rougher, concretamente hacia las celdas SW23 y SW24, provoca cambios significativos en la calidad del concentrado y en la recuperación metalúrgica de los metales evaluados (cobre, zinc y plata). En el escenario sin recirculación, se observan las mayores leyes de cobre (25,98 %) y plata (14,37 oz/t), así como recuperaciones relativamente altas de cobre (93,74 %) y zinc (68,89 %). Sin embargo, también se observa una mayor presencia de zinc en el concentrado de cobre (5,18 %), lo que indica una mayor activación o arrastre del zinc hacia el concentrado y una menor selectividad del proceso.

La aplicación de circulación hacia la celda SW23 provoca una reducción moderada del contenido de zinc en el concentrado (4,24 %), lo que sugiere una ligera mejora en la selectividad del circuito. Sin embargo, esta configuración da lugar a recuperaciones más bajas de cobre (88,48 %) y plata (80,83 %) en comparación con el circuito convencional, además de a una mayor variabilidad en la recuperación del zinc. Estos hallazgos indican que la recirculación hacia la celda SW23 no logra un equilibrio óptimo entre recuperación y calidad, posiblemente debido a una redistribución de las partículas minerales en el circuito que afecta a la estabilidad del proceso de flotación.

La recirculación del flujo hacia la celda SW24 muestra un comportamiento distinto al de las otras celdas. Los resultados ponen de manifiesto una reducción significativa del contenido de zinc en el concentrado de cobre, con una media del 1,95 %, lo que supone una disminución notable en comparación con el circuito sin recirculación y con el escenario de recirculación en SW23. Este

resultando confirma que la recirculación hacia la celda SW24 contribuye a disminuir la activación del zinc y, por tanto, a mejorar la selectividad del proceso de flotación. Además, se ha observado una recuperación significativa y sostenida de cobre (96.42 %) y plata (91.05 %), lo que indica que esta estrategia es efectiva para la recuperación metalúrgica de estos metales.

Esta mejora en cuanto a la recuperación se presenta acompañada de una disminución de la ley de cobre (22,83 %) y de plata (10,57 onzas por tonelada) en el concentrado. Este comportamiento se explica por el aumento de partículas finas y parcialmente liberadas que vuelven al circuito rougher debido a la recirculación. Esto aumenta la recuperación total del metal, pero reduce su concentración en el producto final. Este fenómeno es habitual en los circuitos de flotación en los que se prioriza la recuperación metalúrgica frente a la calidad del concentrado.

Los distintos resultados que se obtuvieron al realizar un análisis de la varianza de Welch confirman que las diferencias observadas entre los tres escenarios son estadísticamente significativas, especialmente en lo que respecta al contenido de zinc en el concentrado. La disminución de zinc en el escenario SW24 ($\Delta = -3,24$ puntos porcentuales en comparación con el circuito sin recirculación) muestra que la recirculación tiene un impacto significativo en la reducción de la activación del zinc. Esto es lo mismo que pasa en la flotación selectiva, donde el agua y otras cosas pueden cambiar las condiciones del circuito, haciendo que los minerales que no queremos se reduzcan.

El estudio de estos resultados pone de manifiesto su relación con lo expuesto en investigaciones previas. Las condiciones operacionales del circuito rougher influyen en la calidad del concentrado y en la recuperación de los metales. Por ejemplo, Vallejos et al. (2023) indican que la recirculación de flujos y la liberación mineralógica son factores importantes. Asimismo, Brest et al. (2021) señalan que las interacciones entre las variables operativas del proceso de

flotación pueden modificar su eficiencia, afectando tanto a la selectividad como a la recuperación metalúrgica. A nivel nacional, estudios como los de Coterá y Rashuaman (2023) y Espinoza (2021) también destacan que las variables operativas del circuito y la cinética del proceso influyen directamente en la eficiencia de separación de los minerales sulfurados.

Los resultados obtenidos muestran que recircular el concentrado scavenger hacia la celda SW24 aumenta la recuperación de cobre y plata y disminuye considerablemente la activación del zinc en el concentrado de cobre. Esto último, a su vez, mejora la selectividad del proceso. No obstante, esta mejora en la recuperación se produce a costa de una disminución de la ley del concentrado, lo que indica que existe un compromiso entre recuperación y calidad. Así que, para elegir la estrategia de recirculación, hay que mirar bien la calidad del concentrado y la recuperación metalúrgica, según lo que la planta concentradora quiera conseguir.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de la recirculación del concentrado procedente del circuito scavenger hacia la celda WS2 del circuito rougher en la planta concentradora Virgen del Rosario. Los hallazgos de esta evaluación indican que la implementación de esta estrategia resulta en una reducción significativa de la activación del zinc en el concentrado de cobre. Como resultado, se observa una mejora en la selectividad del proceso de flotación. Los resultados obtenidos evidencian que el contenido medio de zinc en el concentrado experimenta una disminución de 5,18 % en el circuito sin recirculación a 1,95 % con recirculación hacia SW24, además de un incremento en la recuperación de cobre hasta un 96,42 % y en la recuperación de plata hasta un 91,05 %. Sin embargo, esta mejora en la recuperación se ve acompañada de una ligera disminución en la ley del concentrado, por lo que la recirculación hacia WS2 constituye una alternativa operativa eficiente para optimizar el desempeño metalúrgico del circuito de flotación.

La evidencia empírica ha demostrado que la recirculación del concentrado scavenger hacia la celda WS2 del circuito rougher reduce el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre. Los datos obtenidos evidencian que el contenido medio de zinc desciende al 1,95 % en el escenario SW24, en contraste con el 4,24 % registrado en SW23 y el 5,18 % observado en el circuito sin recirculación, lo que corrobora que la recirculación optimiza la selectividad del proceso de flotación.

La implementación de la recirculación hacia WS24 se ha observado que incrementa significativamente la recuperación de cobre en el concentrado, aunque se ha documentado una reducción marginal en su ley. En el escenario de recirculación hacia SW24 se obtuvo una

recuperación media de cobre del 96,42 %, lo que resulta superior a la obtenida en el circuito sin recirculación (93,74 %) y en SW23 (88,48 %). Sin embargo, la ley de cobre en el concentrado disminuyó hasta el 22,83 %.

El proceso de recirculación durante la recuperación de plata en concentrados scavenger a la celda WS24 ha demostrado ser eficaz en la recuperación de metales preciosos. Sin embargo, se ha observado que este proceso puede tener un impacto negativo en la pureza del concentrado, reduciendo la concentración de plata. Los resultados obtenidos evidencian que la recuperación media de plata alcanza el 91,05 % en SW24, lo que supera los valores del circuito sin recirculación (86,59 %) y de SW23 (80,83 %). Sin embargo, la ley de plata desciende a 10,57 oz/t, lo que refleja un comportamiento análogo al observado en el cobre.

6.2. Recomendaciones

Se sugiere recircular el concentrado del circuito scavenger a la celda WS2 (SW24) del circuito rougher en la planta concentradora Virgen del Rosario, ya que los resultados muestran que esto reduce la activación del zinc en el concentrado de cobre y mejora la recuperación de cobre y plata. Hay que controlar siempre las variables del circuito de flotación para equilibrar la recuperación de metales y la calidad del concentrado.

Mejorar el proceso de flotación, como el pH, la cantidad de productos (colectores, espumantes y depresores) y el tamaño de las partículas del mineral, cuando se use la recirculación hacia la celda WS2, para reducir la pérdida de cobre y plata en el concentrado.

Hay que realizar estudios sobre la mineralogía y el nivel de liberación del mineral, porque condicionan la activación y el arrastre del zinc hacia el concentrado de cobre. Este análisis mejorará el proceso.

Hacer más investigaciones usando experimentos y análisis de estadísticas que nos permitan ver el efecto de otras variaciones del proceso de flotación, como la densidad de pulpa, el tiempo de residencia y la recirculación en diferentes partes del proceso, con el objetivo de mejorar el rendimiento metalúrgico.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS

5.1. Referencias

- Abrica-González, P., & Gómez-Arroyo, S. (2022). Efectos y caracterización de nanopartículas atmosféricas (Np-Cuo, Zno) en plantas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 145-164. doi:<https://doi.org/10.20937/rica.54303>
- Adewale, A. (2023). *Mineral Processing Technology: A Concise Introduction*. CRC Press.
- Armijos, N., & Celis, J. (2022). Revisión del modelo geometalúrgico para la estimación de recursos minerales en depósitos pórfido cupríferos. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(50), 445-459. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24261>
- Azañero, A. (2015). *Flotación y Concentración de Minerales*. Lima : Editorial colecciones jóvic.
- Bernaola, A., & Dávila, D. (2023). Recuperación de oro de minerales auríferos refractarios, la importancia de la caracterización mineralógica y el efecto del oxígeno en la lixiviación ácida. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Mina Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e25031. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25031>
- Brest, K., Henock, M., Guellord, N., Kimpiab, M., & Kapiamba, K. (2021). Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings. *Results in Engineering*, 9, 100207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.20>
- Brinis, H., & Samar, M. (2014). A method for inhibiting scale formation and corrosion in a cooling water system. . *Desalination and Water Treatment*, 52(13-15), 2609-2619. doi:<https://doi.org/10.1080/19443994.2013.797646>

Bulatovic, S. (2007). *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*. Elsevier.

Obtenido

de

[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=NgXJUiYknNoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Bulatovic,+S.M.+\(2007\).+Handbook+of+Flotation+Reagents:+Chemistry,+Theory+and+Practice.+Elsevier.&ots=a5jooZMJkd&sig=rz2ElNcFPgceGwWQ0F0OkU2SwrM#v=onepage&q=Bulatovic%2C%20S.M.%2](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=NgXJUiYknNoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Bulatovic,+S.M.+(2007).+Handbook+of+Flotation+Reagents:+Chemistry,+Theory+and+Practice.+Elsevier.&ots=a5jooZMJkd&sig=rz2ElNcFPgceGwWQ0F0OkU2SwrM#v=onepage&q=Bulatovic%2C%20S.M.%2)

Cifuentes, G., Simpson, J., Jordán, D., Urzúa, A., & Briones, L. (2010). Modelación empírica de flotación en columna a escala piloto. *Revista de Metalurgia*, 46(2), 101-108. doi:<https://doi.org/10.3989/revmetalm.0834>

Ciula, J. (2022). Analysis of the effectiveness of wastewater treatment in activated sludge technology with biomass recirculation. *Architecture Civil Engineering Environment*, 15(2), 123-134. doi:<https://doi.org/10.2478/acee-2022-0020>

Cotera Mayta, F. J., & Rashuaman Sapallanay, R. (2023). Optimización del circuito de flotación de cobre etapa Rougher mediante diseños experimentales en la planta concentradora toromocho – Chinalco 2021. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894>

Dávila, G., Guillen, M., & Delgado, E. (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), 433-444. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24259>

- Doncato, K., & Costa, C. (2023). Macronutrients of brown and green water types of bft systems may behave differently during recirculation in saline aquaponics. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66. doi:<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023210542>
- Drzymala, J. (2007). *Mineral Processing: Foundations of theory and practice of minerallurgy*. Wroclaw University of Technology.
- Englert, A., Rodrigues, R., & Rubio, J. (2011). Flotação de partículas ultrafinas: estado da arte e contribuição técnica sobre o ponto de mínimo na eficiência de captura bolha-partícula. *Holos - Issn 1807-1600*, 5, 39-48. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2011.789>
- Espinoza, R. (2021). Cinética de flotación de minerales sulfurados para obtención del concentrado de Cobre y Zinc en planta concentradora de empresa los Quenuales S.A. Unidad Minera Contonga – San Marcos 2021. *Ingeniero Metalurgico*. Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión, Huacho. Obtenido de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/6010>
- Fuerstenau, M., Jameson, G., & Yoon, R. (2007). *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Froth_Flotation/8zpjAhBViC0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=To+reduce+the+incorporation+of+zinc+minerals+into+the+copper+concentrate+during+the+flotation+process.&pg=PA66&printsec=frontcover
- Ganoza, J. (2022). Flotación de partículas gruesa. *Revista Minería*. doi:<https://revistamineria.com.pe/raiz/flotacion-de-particulas-gruesas>

- Gaona, R., & Lázaro, I. (2024). Mexican contribution to sulfide minerals electrochemistry: a review. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 68(4), 833-851. doi:<https://doi.org/10.29356/jmcs.v68i4.2310>
- García, S., Mosquera, J., Andueza, F., Morillo, D., Salazar, D., Armas, S., & Fiallos, D. (2023). Biolixiviación de metales pesados en residuos minero-metalúrgicos. *Siembra*, 10(2), e5538. doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.5538>
- Google Maps. (6 de 3 de 2025). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.pe/maps/place/HDP/@-9.1162519,-77.7803256,2620m/data=!3m1!1e3!4m9!1m2!2m1!1spuacpampa,+Pueblo+Libre,+Huaylas,+Per%C3%BA!3m5!1s0x91a951bd27671c1f:0xd82fcc8244e9cd43>
- Graña, C., & Díaz, M. (2007). *Introducción a la Estadística Descriptiva*. Netbiblo. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_Estad%C3%ADstica_Descript/NR_i4XWKfQYC?hl=es-419&gbpv=1&dq=libro+estadistica+descriptiva&printsec=frontcover
- Gül, A., & Aydın, B. (2021). Kinetic modelling and optimization of flotation process of electrum. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 57(6), 80-94. doi:<https://doi.org/10.37190/ppmp/142895>
- Gupta, A., & Yan, D. (2006). *Mineral Processing Design and Operation: An Introduction*. Elsevier. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/book/9780444516367/mineral-processing-design-and-operation>

- Hassanzadeh, A., Sajjady, S., Gholami, H., Amini, S., & Özkan, Ş. (2020). An improvement on selective separation by applying ultrasound to rougher and re-cleaner stages of copper flotation. *Minerals*, 10(7), 619. doi:<https://doi.org/10.3390/min10070619>
- Hernández, I., González, V., Reyes, M., Pérez, M., Teja, A., Juárez, J., . . . Reyes, G. (2019). Oxidación de pirargirita con metabisulfito y cianuración de plata. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 6(6), 108-115. doi:<https://doi.org/10.29057/aactm.v6i6.5019>
- Hernandez, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana. Retrieved from https://www.academia.edu/112987196/Hern%C3%A1ndez_Sampieri_R_and_Mendoza_C_2018_Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_Las_rutas_cuantitativa_cualitativa_y_mixta
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed. ed.). McGraw-Hill. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Humberto, L., & Carlos, R. (2015). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Universidad del Norte. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_y_distribuci%C3%B3n_de_probabilidad/43haDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=libro+estadistica+descriptiva&printsec=frontcover

- Hunt, J., & Berry, R. (2017). Geological contributions to geometallurgy: a review. *Geoscience Canada*, 44(3), 103-118. doi:<https://doi.org/10.12789/geocanj.2017.44.121>
- Jung, H., Grady, M., Victoroff, T., & Miller, A. (2017). Simultaneously reducing CO₂ and particulate exposures via fractional recirculation of vehicle cabin air. *Atmospheric Environment*, 160, 77-88. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.014>
- Koh, E., Hung, C., Parker, K., Crowley, J., Giblin, D., & Henderson, J. (2015). Metal selectivity by the virulence-associated yersiniabactin metallophore system. *Metallomics*, 7(6), 1011-1022. doi: <https://doi.org/10.1039/c4mt00341a>
- Lee, S., Gibson, C., & Ghahreman, A. (2021). The separation of carbonaceous matter from refractory gold ore using multi-stage flotation: a case study. *Minerals*, 11(12), 1430. doi:<https://doi.org/10.3390/min11121430>
- Machado, L., Souza, J., Basavarajappa, M., & Mišković, S. (2017). Estudo do comportamento de uma mistura sólido-líquido em um tanque de flotação utilizando a técnica de tomografia por resistência elétrica. *Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração*, 15(15). doi:<https://doi.org/10.5151/1516-392x-27041>
- Makanjuola, S., Enujiugha, V., & Omoba, O. (2016). Multiresponse optimization and prediction of antioxidant properties of aqueous ginger extract. *Preventive Nutrition and Food Science*, 21(4), 355-360. doi:<https://doi.org/10.3746/pnf.2016.21.4.355>
- Mapas topográficos. (2025). *Mapa topográfico Pueblo Libre, altitud, relieve*. Obtenido de <https://es-es.topographic-map.com/map-2wtkrr/Pueblo-Libre/>

- Mau, V., Neumann, J., Wehrli, B., & Gross, A. (2019). Nutrient behavior in hydrothermal carbonization aqueous phase following recirculation and reuse. *Environmental Science & Technology*, 53(17), 10426-10434. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03080>
- Minami, A., Sakurada, N., Fuke, S., Kikuchi, K., Nagano, T., Oku, N., & Takeda, A. (2006). Inhibition of presynaptic activity by zinc released from mossy fiber terminals during tetanic stimulation. *Journal of Neuroscience Research*, 83(1), 167-176. doi:<https://doi.org/10.1002/jnr.20714>
- Ministerio de energía y minas . (2019). *Resolución Administrativa N.º 332-2019-MEM/CM*. Obtenido de Gobierno del Perú : <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/285724-332-2019-mem-cm>
- Montenegro, V., Sano, H., & Fujisawa, T. (2008). Distribución de selenio, cobalto, molibdeno y cadmio en el proceso de fundición de cobre bajo recirculación de polvos. *Revista De Metalurgia*, 44(3), 273-279. doi:<https://doi.org/10.3989/revmetalm.2008.v44.i3.1>
- Montero, J. (2007). *Estadística descriptiva*. Alfa Centauro. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva/D6sj2d0xTgUC?hl=es-419&gbpv=1&dq=libro+estadistica+descriptiva&printsec=frontcover
- Mular, A., Halbe, D., & Barratt, D. (2002). *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control: Proceedings. SME*. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Mineral_Processing_Plant_Design_Practice/GibosO9NkWwC?hl=es-419&gbpv=1&dq=STAGES+OF+THE+MINERAL+FLOTATION+CIRCUIT&pg=PA2194&printsec=frontcover

- Narváez, V. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística: Para médicos, odontólogos y estudiantes de ciencias de la salud*. RIL Editores. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_cient/ZPVtPpdFdGMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=tipo+de+investigaci%C3%B3n+aplicada+metodologia+de+investigaci%C3%B3n+cient%C3%ADfica&pg=PA64&printsec=frontcover
- Núñez, Á., & Delgado, E. (2023). Recuperación de cobre, zinc, oro y plata desde minerales polimetálicos por lixiviación en solución oxidante amoniacal. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e25263. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25263>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa—Cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_cuanti/VzOjDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=enfoque+de+investigaci%C3%B3n+mixta&printsec=frontcover
- Oliver, J., Reyes, M., Ruiz, A., Labra, M., Hernández, F., Tapia, J., & Cobos-Murcia, J. (2019). Caracterización espectroscópica de los sulfuros de zinc flotados en presencia de precipitados de hierro. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 6(6), 116-122. doi:<https://doi.org/10.29057/aactm.v6i6.5020>
- Ortiz, J., Ortega, B., Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., & Pérez, S. (2012). Mineralogía magnética de suelos volcánicos en una toposecuencia del valle de teotihuacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(1), 1-20. doi:<https://doi.org/10.18268/bsgm2012v64n1a1>

- Rahman, M., Pownceby, M., Haque, N., Bruckard, W., & Zaman, M. (2016). Valuable heavy minerals from the brahmaputra river sands of northern bangladesh. *Applied Earth Science*, 125(3), 174-188. doi:<https://doi.org/10.1080/03717453.2015.1115159>
- Ramírez-Serrano, B., Coello-Velázquez, A., Bernardo-Sánchez, A., Khouri, E., & Menéndez-Aguado, J. (2012). Recuperación de iones cobre por flotación con amilxantato de potasio. *Revista de Metalurgia*, 48(4), 254-263. doi:<https://doi.org/10.3989/revmetalm.115>
- Raudales, R., Toro-Herrera, M., Fisher, P., Boldt, J., & Altland, J. (2024). Paclobutrazol residues in recirculated water in commercial greenhouses. *Horttechnology*, 34(2), 198-203. doi:<https://doi.org/10.21273/horttech05367-23>
- Reyes, M., Hernández, F., Labra, M., Tapia, J., Reyes, I., & Flores, M. (2020). Comportamiento de la flotación sin colector de pirargirita. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 8(8), 10-15. doi: <https://doi.org/10.29057/aactm.v8i8>
- Reyes, M., Reyes, I., Flores, M., Hernández, F., Labra, M., & Tapia, J. (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), 55-61. doi:<https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6201>
- Romero, F., & Ruíz, M. (2010). Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de méxico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), 43-53. doi:<https://doi.org/10.18268/bsgm2010v62n1a3>
- Rosias, P., Robroeks, C., Kant, K., Rijkers, G., Zimmermann, L., Schayck, C., & Dompeling, E. (2020). Feasibility of a new method to collect exhaled breath condensate in pre-school

children. *Pediatric Allergy and Immunology*, 21(1). doi:<https://doi.org/10.1111/j.1399-3038.2009.00909.x>

Sabadías, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Univ de Castilla La Mancha. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_e_inferencia_l/RbaC-wPWqjsC?hl=es-419&gbpv=1&dq=libro+estadistica+descriptiva&printsec=frontcover

Santiago, M., Cholico-González, D., Lara, N., & García, R. (2022). Caracterización de un mineral carbonáceo e identificación del efecto preg-robbing. *Epistemos*, 16(32). doi:<https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i32.205>

Suárez, J. (2023). La fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros a través de *dactylis glomerata* y *pennisetum clandestinum*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(52), e25283. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25283>

Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción : Instituto de investigaciones tecnológicas .

Takeda, A., Itoh, H., Yamada, K., Tamano, H., & Oku, N. (2008). Enhancement of hippocampal mossy fiber activity in zinc deficiency and its influence on behavior. *Biometals*, 21(5), 545-552. doi:<https://doi.org/10.1007/s10534-008-9140-0>

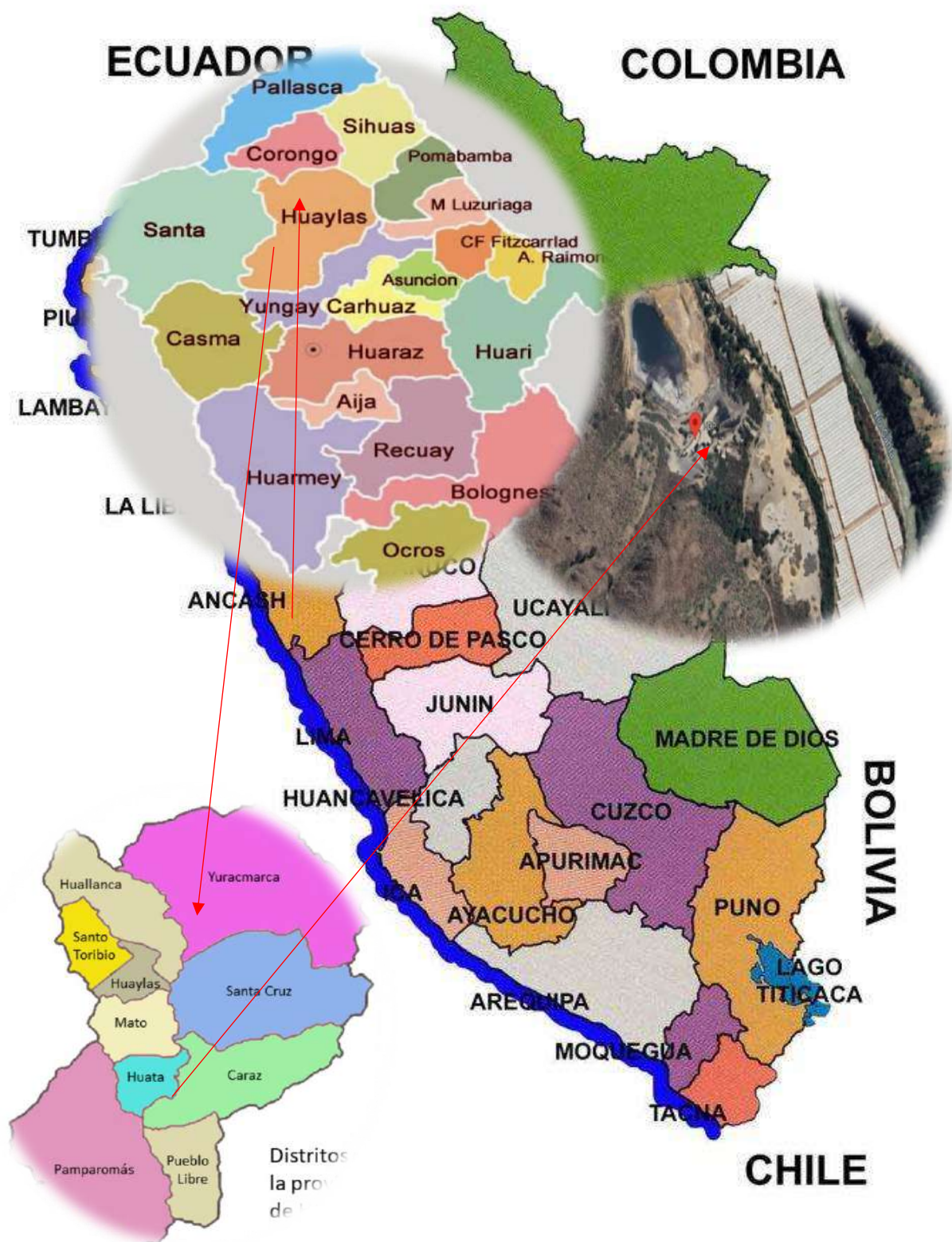
Urviola, F., Guzmán, P., Villagómez, G., González-Sánchez, J., & Torres, L. (2020). Predicción de drenaje ácido de mina, jales de la mina la prieta, chihuahua, México. *RICIA*. doi:<https://doi.org/10.20937/rica.53523>

- Valderrama, L. (2019). Recuperación de apatita de relave producidos en la concentración magnética de hierro. *Holos - Issn 1807-1600*, 1, 1-11. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2019.7906>
- Vallejos, P., Yianatos, J., Rodriguez, M., & Cortínez, J. (2023). Kinetic Response of Industrial Flotation Banks: Effect of Particle Size and Mineralogy. *Minerals*, 13(5), 621. doi:<https://doi.org/10.3390/min13050621>
- Vilcacure, H., & Abner, N. (2024). Influencia del amil xantato de potasio en la eficiencia de la separación del cobre y del zinc en la flotación por espuma, Nasca—2022. *Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica. Obtenido de <https://repositorio.unica.edu.pe/items/2d4df66a-b74>
- Villegas, S., & 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. *Epistemos*, 17(34). doi:<https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.255>
- Vu, T., Montaner, M., & Guigui, C. (2017). Recycling of reverse osmosis concentrates to the membrane bioreactor in the mbr-ro process for water reuse: effect on mbr performances. *Revue Des Sciences de L Eau*, 30(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.7202/1040057ar>
- Wilfredo, S. (1976). *Máquina de flotación WS Morococha de gran volumen*. Obtenido de <https://onemine.org/documents/m-quina-de-flotaci-n-ws-morococha-de-gran-volumen>
- Wills, B., & Finch, J. (2015). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/book/9780080970530/wills-mineral-processing-technology>

- Wills, B., & Napier-Munn, T. (2006). *Mineral Processing Technology*. Elsevier Science & Technology Books. Obtenido de https://www.academia.edu/34476019/Mineral_Processing_Technology_An_Introduction_to_the_Practical_Aspects_of_Ore_Treatment_and_Mineral_Recovery
- Worldmeteo. (2025). *El tiempo en Pueblo Libre, Perú—14 Días*. Obtenido de Worldmeteo: <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/peru/pueblo-libre/tiempo-196790/>
- Wu, D., Wen, S., Yang, J., Deng, J., & Liu, J. (2013). The effect of zinc oxide flotation using dodecylamine. *Advanced Materials Research* , 634-638, 3522-3526. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.634-638.3522>
- Zaar, M. (2024). La geopolítica del carbono cero y el papel de los minerales críticos en la transición energética. *Ar Cne Revista Electrónica de Recursos en Internet Sobre Geografía y Ciencias Sociales*, 28. doi:<https://doi.org/10.1344/ara2024.290.46680>
- Zuta, M., Garcés, N., Reinoso, G., Garcés, G., & Pulles, M. (2022). *Diseños de investigación experimental aplicados a la ciencias sociales*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Dise%C3%B1os_de_investigaci%C3%B3n_experimental/wKmzEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=dise%C3%B1o+de+investigaci%C3%B3n+experimental&pg=PT47&printsec=frontcover

ANEXOS

Anexo 1 localización

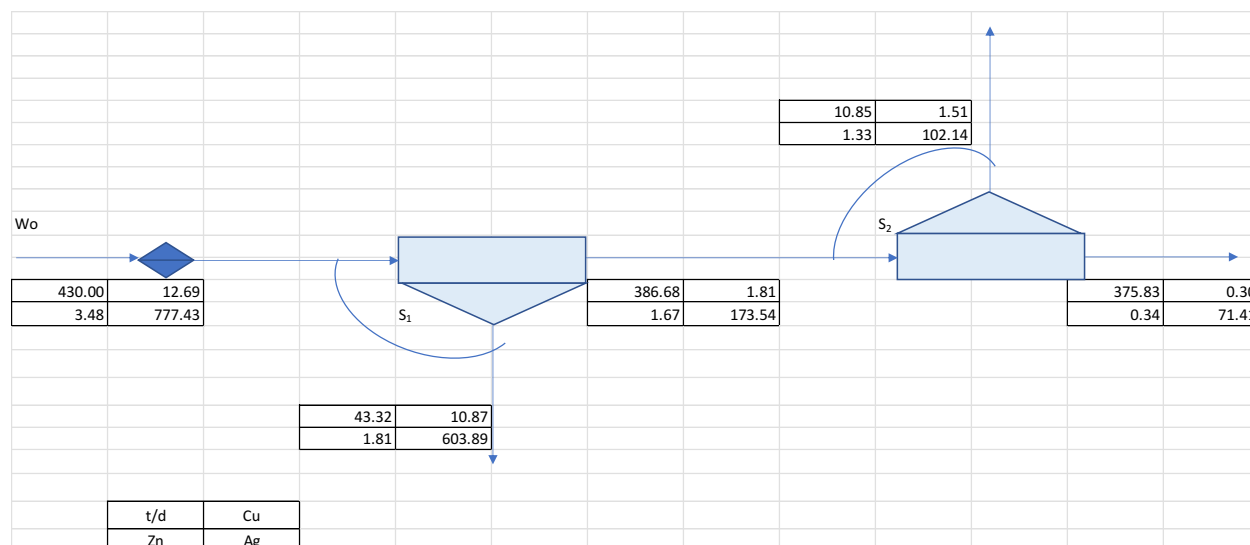


Balance de metalúrgico

Anexo 2 Balance metalúrgico del proceso 1

Producto	t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			
		%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	Rc
Cabeza	430.00	2.95	0.81	1.81	12.69	3.48	777.43	100	100	100	
Conc. Cu	44.44	27.77	6.60	15.64	12.34	2.93	695.22	97.31	84.26	89.43	9.68
Rellave	385.56	0.09	0.14	0.21	0.34	0.55	82.21	2.69	15.74	10.57	
Cab. Calc.	430.00	2.95	0.81	1.81	12.69	3.48	777.43	100.00	100.00	100.00	

Anexo 3 Circuito del proceso



Anexo 4 Balance metalúrgico del proceso 2

Producto	t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			
		%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	Rc
Cabeza	430.00	2.95	0.81	1.81	12.69	3.48	777.43	100	100	100	
Conc. Cu1	43.32	25.10	4.18	13.94	10.87	1.81	603.89	85.72	51.99	77.68	9.93
Conc. Cu2	10.85	13.92	12.29	9.41	1.51	1.33	102.14	11.91	38.30	13.14	39.62
Rellave	375.83	0.08	0.09	0.19	0.30	0.34	71.41	2.37	9.71	9.18	
Cab. Calc.	430.00	2.95	0.81	1.81	12.69	3.48	777.43	100.00	100.00	100.00	

Anexo 5 Matriz de consistencia.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Metodología
Generales	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher permite disminuir la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo es el efecto de la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.	La recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución en la activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.	Flujo	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher permite disminuir el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo afecta el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Independiente</u> - Recirculación	Desplazamiento	<u>Nivel de Investigación:</u> Explicativa
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher permite disminuir el porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, tendrá efecto en la disminución del porcentaje de activación del zinc en el concentrado de cobre en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Independiente</u> - Recirculación	Flujo	<u>Diseño de Investigación:</u> Experimental
Específico	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Dependiente.</u> - Disminución de zinc	Desplazamiento	<u>Enfoque de Investigación:</u> Mixta
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher, influye en la mejora en la calidad y recuperación del cobre en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Independiente</u> - Recirculación	Flujo	<u>Población Muestra:</u> 0.5 L (200 g)
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Dependiente.</u> - Mejora calidad y recuperación Cu	Desplazamiento	<u>Técnica Recolección Datos:</u> Observación
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Independiente</u> - Recirculación	Flujo	<u>Técnica Procesamiento Información:</u> Estadístico descriptiva
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.	<u>Dependiente.</u> - Calidad y recuperación d Ag	Control paramento	
	¿En qué medida la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario?	Evaluar la recirculación del concentrado proveniente del scavenger al WS2 del circuito rougher para ver cómo influye en la calidad y recuperación de la plata en el concentrado en la planta concentradora virgen del rosario.			

Anexo 6 Balance metalúrgico del proceso

t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			Rc
	%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	
430.00	2.40	0.67	1.2	10.32	2.88	516.00	100	100	100	
44.06	22.46	2.20	10.6	9.90	0.97	467.02	95.89	33.64	90.51	9.76
385.94	0.11	0.12	0.12	0.42	0.46	46.31	4.11	16.08	8.98	
430.00	2.40	0.33	1.19	10.32	1.43	513.33	100.00	49.72	99.48	
t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			Rc
	%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	
430.00	2.40	0.33	1.19	10.32	1.43	513.33	100	100	100	
44.06	22.46	2.20	10.60	9.90	0.97	467.02	95.89	67.67	90.98	9.76
385.94	0.11	0.12	0.12	0.42	0.46	46.31	4.11	32.33	9.02	
430.00	2.40	0.33	1.19	10.32	1.43	513.33	100.00	100.00	100.00	

t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			Rc
	%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	
430.00	2.68	0.72	1.23	11.52	3.10	528.90	100	100	100	
48.04	23.35	1.57	9.9	11.22	0.75	475.64	97.35	24.36	89.93	8.95
381.96	0.08	0.12	0.12	0.31	0.46	45.83	2.65	14.80	8.67	
430.00	2.68	0.28	1.21	11.52	1.21	521.48	100.00	39.17	98.60	
t/d	Leyes			Con metálico			Distribución			Rc
	%Cu	%Zn	onz/t Ag	Cu(t)	Zn(t)	Ag(onz)	Cu	Zn	Ag	
430.00	2.68	0.28	1.21	11.52	1.21	521.48	100	100	100	
48.04	23.35	1.57	9.90	11.22	0.75	475.64	97.35	62.20	91.21	8.95
381.96	0.08	0.12	0.12	0.31	0.46	45.83	2.65	37.80	8.79	
430.00	2.68	0.28	1.21	11.52	1.21	521.48	100.00	100.00	100.00	

Anexo 7 Calidad y recuperación de Cu y Ag convencional

N°	Sim -%Cu	Sim -%Zn	Sim - onz/t Ag	Sim - R %Cu	Sim - R % Zn	Sim - R % Ag
1	25.08	5.35	12.92	95.10	78.74	88.82
2	24.66	4.05	13.51	87.10	51.60	80.16
3	25.11	5.74	13.57	95.52	79.27	88.07
4	26.68	4.75	14.48	89.81	61.68	84.73
5	25.58	4.21	13.31	94.10	61.38	86.12
6	26.88	5.58	14.58	93.96	76.00	88.15
7	26.02	5.58	14.29	94.27	74.47	85.73
8	27.69	3.97	15.95	93.50	50.25	85.94
9	27.77	6.60	15.64	97.31	84.26	89.43
10	26.06	4.05	13.69	93.45	60.73	85.71
11	24.24	7.14	16.10	97.01	79.41	89.62

Anexo 8 Recirculación a la celda SW 23

N°	23 - %Cu	23 - %Zn	23 - onz/t Ag	23 - R %Cu	23 - R % Zn	23 - R % Ag
1	24.67	5.00	12.61	93.01	73.17	86.19
2	24.50	3.98	13.41	86.39	50.64	79.44
3	23.62	4.89	12.58	88.38	66.44	80.30
4	25.52	3.66	13.77	84.78	46.85	79.49
5	24.93	3.81	12.93	91.19	55.28	83.20
6	24.62	3.90	13.09	83.78	51.67	77.07
7	25.41	4.88	13.92	91.59	64.82	83.09
8	25.79	2.92	14.01	84.89	36.04	73.58
9	25.10	4.18	13.94	85.72	51.99	77.68
10	25.57	3.88	13.43	91.27	57.88	83.66
11	23.35	5.55	15.53	92.30	60.94	85.40

Anexo 9 Recirculación a la celda SW 24

N°	24 - %Cu	24 - %Zn	24 - onz/t Ag	24 - R %Cu	24 - R % Zn	24 - R % Ag
1	22.39	2.12	10.13	96.41	50.46	90.35
2	22.37	2.69	10.43	94.96	42.23	87.11
3	22.46	2.20	10.60	95.89	67.67	90.98
4	23.35	1.57	9.90	97.35	62.20	91.21
5	24.19	1.64	11.02	96.55	96.55	96.55
6	21.72	1.54	10.14	97.21	62.21	93.53
7	22.26	1.97	10.33	95.85	60.51	90.18
8	21.99	1.66	10.53	96.16	57.48	92.31
9	23.30	1.86	10.29	96.21	56.71	89.80
10	21.32	1.96	9.47	97.10	57.76	91.53
11	24.29	1.86	10.87	96.37	46.59	89.92
12	23.86	1.86	11.29	95.62	42.80	89.02
13	25.55	1.41	10.55	97.10	39.05	91.22
14	23.78	1.68	11.48	97.09	40.22	92.79
15	23.41	1.87	11.00	96.16	41.64	90.04
16	20.12	1.78	10.69	96.86	42.96	92.92
17	20.98	2.02	10.35	96.39	44.58	91.66
18	21.30	2.42	10.04	96.45	46.88	91.44
19	24.37	2.03	11.44	96.48	39.84	90.60
20	23.22	2.02	11.09	96.84	43.24	91.41
21	23.70	2.24	10.85	96.63	46.68	91.00
22	21.65	2.20	9.90	96.21	47.78	90.12
23	24.23	2.30	11.26	95.89	46.52	90.17
24	22.10	1.81	9.94	96.32	40.12	89.37