

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica de la asociación Molibdeno – Torio y la recuperación por
flotación en la falla Rondoni – Quío - Huánuco, 2023**

**Para optar el título profesional de
Ingeniero Metalurgista**

Autores:

Bach. Anibal ALDAVA CRISPIN

Bach. Rommel Lorenzo CHAUPIS FLORES

Asesor:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica de la asociación Molibdeno – Torio y la recuperación por
flotación en la falla Rondoni – Quío - Huánuco, 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

PRESIDENTE

Dr. Ruben Edgar PALOMINO ISIDRO

MIEMBRO

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 231-2024-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

**Evaluación metalúrgica de la asociación Molibdeno –
Torio y la recuperación por flotación en la falla Rondoni
– Quío - Huánuco, 2023**

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. ALDAVA CRISPIN, Anibal

Bach. CHAUPIS FLORES, Rommel Lorenzo

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. SIUCE BONIFACIO, Ramiro

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

14 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 10 de diciembre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154805046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.12.2024 18:25:24 -05:00

DEDICATORIA

En el recuerdo eterno de mi amado padre, y con profunda gratitud hacia mi querida madre por su inquebrantable paciencia, su infinito amor y su inigualable apoyo incondicional.

Mis queridos padres y adorados hermanos, quiero expresarles mi más profundo agradecimiento por brindarme su inquebrantable apoyo, su inigualable comprensión y su constante aliento que me impulsaron a no claudicar y alcanzar con éxito uno de mis más anhelados objetivos.

Muchas gracias por inspirarnos a ser hombres de bien.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profunda gratitud hacia mi alma mater, la prestigiosa Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme una educación de calidad que ha sido fundamental en mi desarrollo académico y profesional. Asimismo, deseo agradecer a cada uno de los distinguidos profesores de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, cuya dedicación y conocimientos han enriquecido mi experiencia educativa y me han preparado de manera integral para enfrentar los desafíos del mundo laboral. En especial, me gustaría expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Ramiro Siuce Bonifacio, destacado asesor de este estudio, por su inestimable respaldo y valiosísimo aporte profesional a lo largo de todo el desarrollo de esta investigación.

Al personal Staff y colaboradores del laboratorio de Minera Perú Sol SAC por permitirme desarrollar las pruebas metalúrgicas.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con las muestras minerales obtenidas, de la falla Rondoni; donde se observa la presencia de molibdenita libre, acompañado de minerales accesorios. El objetivo principal fue desarrollar un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación. La investigación es del tipo aplicada, alcanza el nivel explicativo, se desarrolló el método analítico, aplicando el diseño factorial para las pruebas metalúrgicas por flotación; destacando la adición de los colectores Diesel D-2 y A3418, con resultados que superan el 80% de recuperación de molibdeno en los concentrados. Concluye que el proceso de flotación seguido es el adecuado; se descartó la presencia de torio al ser sometido al contador Geiger, para las pruebas de radiactividad.

Palabras claves: Dosificación, colector, recuperación, flotación.

ABSTRACT

The present work was developed with the mineral samples obtained from the Rondoni fault; where the presence of free molybdenite is observed, accompanied by accessory minerals. The main objective was to develop a metallurgical evaluation model of the molybdenum thorium association for flotation recovery. The research is of the applied type, it reaches the explanatory level, the analytical method was developed, applying the factorial design for metallurgical flotation tests; highlighting the addition of the Diesel D-2 and A3418 collectors, with results that exceed 80% recovery of molybdenum in the concentrates. It concludes that the flotation process followed is appropriate; the presence of thorium was ruled out when subjected to the Geiger counter, for radioactivity tests.

Keywords: Dosage, collector, recovery, flotation.

INTRODUCCIÓN

La Falla Rondoni, presenta unos cuerpos mineralizados de molibdenita que afloran y resulta interesante por la presencia de molibdenita libre de otros sulfuros que en la mayoría de yacimientos se presenta asociado. Solo tiene minerales accesorios como son los silicatos y feldespatos, los cuales no representan un obstáculo significativo para el proceso de concentración por flotación; es por esta razón que se ha llevado a cabo una serie de experimentos detallados evaluando las características mineralógicas y los reactivos más influyentes para la recuperación de molibdeno, incluyendo la evaluación de diferentes tipos de colectores.

La investigación se desarrolló del siguiente modo:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, en el proceso de elaboración de un proyecto de investigación, es fundamental abordar de manera detallada y exhaustiva aspectos como la contextualización del problema, la definición clara y precisa del problema de estudio, la explicitación de los objetivos generales y específicos que se pretenden alcanzar, la formulación de hipótesis que orienten la investigación, la identificación y operacionalización de las variables relevantes, el diseño metodológico que guiará la recolección y análisis de datos, la justificación de la relevancia y pertinencia del estudio, así como la exposición de la importancia que tiene para el avance del conocimiento en el área de interés.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, en el proceso de elaboración del estudio, es fundamental tener en cuenta y analizar detenidamente los antecedentes que respaldan la investigación, así como explorar a fondo las bases teóricas que sustentan el fenómeno de la flotación de minerales. Además, resulta imprescindible establecer con precisión y claridad la definición de los términos básicos involucrados en el ámbito de estudio.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN,

Se proporcionan las directrices detalladas a seguir para la adquisición y procesamiento de datos experimentales correspondientes.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se presentan detalladamente en tablas y gráficos los resultados obtenidos de las pruebas metalúrgicas realizadas, con el propósito de comparar y contrastar con las investigaciones previamente llevadas a cabo; de igual manera, se procede a contrastar la hipótesis planteada inicialmente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, en este informe, se han detallado exhaustivamente las conclusiones obtenidas a través del estudio de investigación realizado, así como se han presentado recomendaciones concretas para orientar futuras investigaciones en distintas áreas relacionadas.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Espacial.	2
1.2.2. Temporal.	2
1.3. Formulación del problema	2
1.3.1. Problema general.....	2
1.3.2. Problemas específicos	2
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.5.1. Justificación Tecnológica.....	3
1.5.2. Justificación Ambiental.....	4
1.5.3. Justificación Económico	4

1.6. Limitaciones de la investigación.....	4
--	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.2. Bases teóricas - científicas	10
2.2.1. Flotación de minerales	10
2.2.2. Clasificación de reactivos de flotación	11
2.2.3. Molibdeno	13
2.2.4. Procesamiento de la molibdenita	14
2.2.5. Dificultades en la recuperación de la molibdenita por flotación.....	21
2.3. Definición de términos básicos	22
2.4. Formulación de hipótesis	23
2.4.1. Hipótesis general	23
2.4.2. Hipótesis específicas	23
2.5. Identificación de variables	23
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	24

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Nivel de investigación.....	25
3.3. Método de investigación	26
3.4. Diseño de investigación	26
3.5. Población y muestra	26

3.5.1. Población.....	26
3.5.2. Muestra.....	27
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	27
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	28
3.9. Tratamiento estadístico	28
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	30
4.1.1. Descripción del proyecto.....	30
4.1.2. Muestreo.....	30
4.1.3. Trabajos en laboratorio	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	31
4.2.1. Preparación de muestra	31
4.2.2. Análisis cuantitativo.....	31
4.2.3. Caracterización macroscópica de la molibdenita.....	32
4.2.4. Caracterización microscópica de la molibdenita.....	37
4.2.5. Pruebas metalúrgicas.....	41
4.3. Prueba de hipótesis.....	54
4.3.1. Primera hipótesis específica.....	54
4.3.2. Segunda hipótesis específica.....	55
4.3.3. Hipótesis general	56
4.4. Discusión de resultados.....	57

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades del molibdeno</i>	13
Tabla 2 <i>Variables, definiciones e indicadores</i>	24
Tabla 3 <i>Actividades para el acopio de información</i>	27
Tabla 4 <i>Análisis químico del mineral</i>	31
Tabla 5 <i>Análisis granulométrico de la muestra inicial</i>	41
Tabla 6 <i>Análisis granulométrico del mineral a 5 min de molienda</i>	42
Tabla 7 <i>Análisis granulométrico del mineral a 10 min de molienda</i>	42
Tabla 8 <i>Análisis granulométrico del mineral a 15 min de molienda</i>	43
Tabla 9 <i>Porcentaje acumulado pasante para pruebas de molienda</i>	43
Tabla 10 <i>Prueba metalúrgica 1</i>	45
Tabla 11 <i>Prueba metalúrgica 2</i>	46
Tabla 12 <i>Prueba metalúrgica 3</i>	48
Tabla 13 <i>Variables controladas</i>	48
Tabla 14 <i>Matriz de diseño factorial</i>	49
Tabla 15 <i>Diseño factorial completo</i>	49
Tabla 16 <i>Coefficientes codificados</i>	50
Tabla 17 <i>Análisis de varianza</i>	50
Tabla 18 <i>Prueba de la segunda hipótesis específica</i>	56
Tabla 19 <i>Prueba de flotación según diseño factorial 1</i>	61
Tabla 20 <i>Prueba de flotación según diseño factorial a</i>	61
Tabla 21 <i>Prueba de flotación según diseño factorial b</i>	61
Tabla 22 <i>Prueba de flotación según diseño factorial ab</i>	62
Tabla 23 <i>Prueba de flotación según diseño factorial c</i>	62
Tabla 24 <i>Prueba de flotación según diseño factorial ac</i>	62
Tabla 25 <i>Prueba de flotación según diseño factorial bc</i>	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Clasificación de reactivos de flotación</i>	12
Figura 2 <i>Procesamiento de la molibdenita</i>	19
Figura 3 <i>Muestra 101</i>	32
Figura 4 <i>Muestra 102</i>	33
Figura 5 <i>Muestra 103</i>	33
Figura 6 <i>Muestra 104</i>	34
Figura 7 <i>Muestra 105</i>	34
Figura 8 <i>Muestra 106</i>	35
Figura 9 <i>Muestra 107</i>	35
Figura 10 <i>Muestra 108</i>	36
Figura 11 <i>Muestra 109</i>	36
Figura 12 <i>Muestra 10</i>	37
Figura 13 <i>Estructura de cristalina de la molibdenita</i>	38
Figura 14 <i>Muestra 111</i>	38
Figura 15 <i>Muestra 112</i>	39
Figura 16 <i>Muestra 113</i>	39
Figura 17 <i>Muestra 114</i>	40
Figura 18 <i>Diagramas de cinética de molienda</i>	44
Figura 19 <i>Diagrama de Pareto de los efectos</i>	51
Figura 20 <i>Efectos principales para la concentración de molibdeno</i>	52
Figura 21 <i>Interacción de las variables en la concentración de Mo</i>	53
Figura 22 <i>Concentración del molibdeno versus Diesel D-2 y A3418</i>	53
Figura 23 <i>Superficie de respuesta de la concentración del molibdeno versus Diesel D-2 y A3418</i>	54

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Hasta el siglo XIX, el molibdeno era considerado un elemento químico de laboratorio sin presentar ninguna aplicación económica práctica. No obstante, a raíz de una serie de experimentos variados, se demostró que el molibdeno podía ser un reemplazo eficaz del tungsteno en múltiples combinaciones con el acero. Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XX cuando la tecnología avanzó lo suficiente para permitir la extracción de cantidades significativas, lo que despertó un creciente interés comercial en la explotación de este metal precioso.

Actualmente, en el mundo la obtención del molibdeno, se efectúa como subproducto de los minerales de cobre, y la recuperación por flotación se efectúa a la molibdenita (MoS_2); muy pocas menas existen en el mundo para extraer y obtener concentrados de molibdeno a partir de minerales primarios.

En el Perú se encuentran muchos yacimientos con alta sulfuración visible, que afloran a superficie, ubicados en cordillera central de los andes aún por descubrir, de los cuales se puede extraer una apreciable cantidad de molibdeno como mineral primario; en determinados lugares se viene extrayendo molibdenita

de yacimientos primarios como son las vetas superficiales existentes en la comunidad de Coraima, provincia de Concepción, Región Junín.

En la falla Rondoni, provincia de Ambo; se encuentra un yacimiento con presencia de piritas en diversas presentaciones, pirofilitas y se aprecia molibdenita en apreciables cantidades por lo que requiere desarrollar estudios tecnológicos y evaluar la posibilidad de concentrar este mineral con rentabilidad y sostenibilidad.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Espacial.

El desarrollo exhaustivo del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los modernos laboratorios ubicados estratégicamente en la planta concentradora de la reconocida empresa Perú Sol SAC.

1.2.2. Temporal.

El extenso trabajo de investigación abarcó un periodo de doce meses completos, desde mayo de 2023 hasta febrero de 2024.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo desarrollar la evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quío – Huánuco, 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a) PE1: ¿Cuál es la caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quío – Huánuco, 2023?

- b) PE2: ¿De qué manera las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia influyen en la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quíno – Huánuco, 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quíno – Huánuco, 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) OE1: Desarrollar el modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quíno – Huánuco, 2023.
- b) OE2: Evaluar las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia que influye en la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni - Quíno – Huánuco, 2023.

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación justifica su ejecución en función de los siguientes criterios fundamentales y relevantes:

1.5.1. Justificación Tecnológica

Mediante la cuidadosa dosificación de los reactivos químicos apropiados para los minerales extraídos de la falla geológica de Rondoni, y la correcta implementación de la secuencia tecnológica detallada del proceso de flotación; se conseguirá exitosamente la obtención de concentrados de molibdeno de alta pureza y calidad comercial.

1.5.2. Justificación Ambiental

Los valiosos minerales que se van depositando gradualmente como desmonte durante el proceso de extracción, debido a sus bajas concentraciones, serán sometidos a un exhaustivo proceso de tratamiento posterior, tras una meticulosa clasificación inicial. El adecuado almacenamiento de estos materiales se llevará a cabo siguiendo estrictamente los rigurosos parámetros de control ambiental.

1.5.3. Justificación Económico

El procesamiento eficiente de los minerales de molibdeno primario, debido a sus leyes significativas que permiten una explotación extensiva (a cielo abierto), mediante la aplicación del método de flotación; es crucial para lograr las recuperaciones óptimas, generando un valor comercial elevado para los concentrados y garantizando beneficios financieros sustanciales para la compañía.

1.6. Limitaciones de la investigación

- a) **Tecnológicas.** A pesar de llevar a cabo una exhaustiva búsqueda de información relevante, no se ha podido encontrar en la nube electrónica estudios experimentales similares a los minerales actualmente en producción, lo cual representa una limitación significativa.
- b) **Temporales.** En los trabajos que se realizó en la falla Rondini, todo está programado y debido a los altos pagos que se realiza a la comunidad de Quío, por usufructo, superficie y servidumbre de su territorio, la respuesta al mineral extraído tiene que ser rápida, caso contrario la empresa ingresa en falencia económica y tiene que retirarse del

yacimiento, pudiendo ingresar otra empresa a explotar; por tratarse de pequeña minería.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Vergara, Daniel (2012) en la tesis “*Análisis del comportamiento de la molibdenita en mineral de rajo y subterráneo de Dand*”, para optar el Título de Ingeniero Civil en Metalurgia Extractiva – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Chile; tiene como principal objetivo: Analizar detalladamente las diversas variables que inciden de manera significativa en el proceso de recuperación de molibdeno en la planta concentradora de DAND, con la finalidad de idear y proponer estrategias innovadoras que optimicen dicho proceso, incrementando así la cantidad de este elemento extraído, sin comprometer en absoluto la eficiencia en la recuperación de cobre.

Concluye: Se ha observado una significativa pérdida de molibdeno en los finos de la etapa de separación centrífuga vertical. Esto se atribuye al corto tiempo de residencia en el proceso (debido al incremento de la capacidad del Rougher), por lo tanto, se sugiere llevar a cabo experimentos de cinéticas de flotación SCv

para el Molibdeno, con el propósito de determinar si un incremento en esta variable resulta en un aumento en la eficiencia de recuperación.

Existe una interesante combinación de reactivos (CY-01-42 y CY-01-210 en una proporción de 3:1 en peso) que ha demostrado incrementar significativamente la eficiencia de recuperación de molibdeno, sin comprometer la recuperación de cobre. No obstante, se requiere llevar a cabo un exhaustivo análisis de su impacto en las fases subsiguientes del proceso, tanto en las etapas de limpieza y SCv, como en la etapa de flotación selectiva. En esta fase final del estudio, es fundamental llevar a cabo una evaluación exhaustiva del comportamiento del sistema con NaHS, que es el reactivo químico utilizado en la Prueba de Precipitación Controlada (PPC), con el objetivo de simular fielmente el proceso que se lleva a cabo en la planta industrial mencionada.

Navarro, Franz (2018) en la tesis “*Flotación de mineral sulfurado de cobre-molibdeno en pH alcalino usando agua residual de cerveza*”, para optar el título de Ingeniero Metalúrgico – Universidad Técnica Federico Santa María – Chile, tiene como objetivo principal: Proponer y analizar el potencial uso de agua residual generada en las operaciones de la industria cervecera para llevar a cabo la recuperación metalúrgica de cobre, hierro y molibdeno, mediante la implementación de un sistema de flotación especializado.

Concluye: Que el agua residual generada durante el proceso de producción de cerveza, a pesar de ser recuperada en cantidades significativamente menores en la mayoría de los casos, fue la única que logró recuperar una mayor cantidad de hierro en comparación con el cobre y el molibdeno, obteniendo aproximadamente un 1,2% más que estos elementos mencionados. Esto sucedió porque diseñé un colchón de espumación extremadamente voluminoso y, al

mismo tiempo, sumamente duradero, lo cual impidió la adecuada selección de las partículas de cobre, molibdeno e incluso fierro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Carbajal, Ana & Velasco, Milagros (2015) en la tesis: “*Sustitución parcial del Hidrosulfuro de sodio como depresor de cobre en el proceso de flotación de molibdeno a escala de laboratorio*” – para poder optar por el Título de Ingeniero Químico en la prestigiosa Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, se plantea como objetivo general llevar a cabo un estudio con el fin de sustituir de manera parcial al Hidrosulfuro de Sodio como agente depresor del Cobre en el complejo proceso de flotación diferencial de Molibdeno a nivel de Laboratorio, con el propósito de mantener la eficiencia en la recuperación de Molibdeno dentro de los parámetros establecidos previamente.

Concluye:

- Se logró exitosamente sustituir parcialmente el compuesto químico Hidrosulfuro de sodio (NaSH) en el proceso de flotación diferencial de molibdeno a nivel de laboratorio, empleando el reactivo AERO 7260 a una concentración del 50%. Los resultados obtenidos revelaron un porcentaje de recuperación del 97.8%, mientras que al utilizar el Hidrosulfuro de Sodio al 100%, se alcanzó un porcentaje de recuperación de molibdeno del 98.2%. Estos datos indican que no se observaron variaciones significativas en los niveles de recuperación dentro del rango establecido.
- Se logró determinar de manera efectiva la influencia significativa de las diversas variables en el proceso a través del exhaustivo desarrollo del modelo matemático propuesto. Estos hallazgos nos condujeron a la conclusión de que el factor determinante es la cantidad de dosificación del reactivo AERO 7260,

ya que proporciona una estabilidad significativamente mayor al NaSH, seguido por las dosificaciones de ácido sulfúrico, antiespumante (XAS) y NaSH, en ese orden.

- Se llevaron a cabo exhaustivas pruebas de flotación diferencial de Molibdeno utilizando los valores máximos y mínimos recomendados para la dosificación de reactivos, siguiendo la matriz previamente establecida para un sofisticado diseño factorial. De este modo, se logró desarrollar un complejo modelo matemático que permitió prever con precisión el valor óptimo de recuperación en Molibdeno, alcanzando un impresionante 97.64%.

Yañez, Sergio (2016) en la tesis “*Evaluación del proceso de flotación cobre molibdeno*”, para optar el Título profesional de Ingeniero Metalurgista – Universidad Nacional San Agustín – Arequipa; el propósito principal de este estudio es llevar a cabo una evaluación exhaustiva del proceso de flotación de cobre molibdeno con el fin de identificar y analizar en detalle las variables críticas que ejercen influencia significativa en la eficiencia de recuperación en la Planta Concentradora de Constancia.

Conclusiones:

- Las variables más relevantes que se identificaron en el procedimiento de evaluación de la flotación de cobre en la Planta Concentradora de Constancia fueron el reactivo D-101, el reactivo R-100 y el nivel de pH, logrando alcanzar recuperaciones superiores al 86%.
- En el proceso de recuperación de cobre, es de suma importancia el uso del reactivo R-100, el cual, de acuerdo con el análisis de Pareto, ejerce una influencia significativa en la eficiencia de recuperación cuando se dosifica en cantidades que oscilan entre 20 y 25 gramos por tonelada métrica. Para el D-

101, la dosificación recomendada se encuentra en un rango de 10 a 12 gramos por tonelada, mientras que el nivel de pH ideal es de alrededor de 10 unidades.

- Las interacciones de las tres variables, como el pH y los parámetros R-100, D-101 y R-100, muestran una baja significancia estadística, sin embargo, contribuyen en menor medida al proceso de mejora de la recuperación del cobre en comparación con otras variables estudiadas.

En el proceso de recuperación del molibdeno, se ha observado que las variables que ejercen mayor influencia son el pH, el reactivo NaSH y el uso de Diesel, lo que ha permitido alcanzar tasas de recuperación superiores al 95%.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Flotación de minerales

Todas y cada una de las técnicas o métodos de separación, ya sean de naturaleza física o química, encuentran su fundamento en las diversas propiedades intrínsecas de los materiales. La concentración de minerales por espuma, conocida como flotación, es un proceso de separación basado en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales. Este método se utiliza ampliamente en la industria minera para extraer minerales valiosos de minerales de menor valor. Los reactivos auxiliares, de vital importancia en el proceso de flotación, contribuyen de manera significativa al separar los minerales mediante la adsorción selectiva o al establecer complejos con las especies químicas que pueden obstaculizar dicho proceso de adsorción. (Maurice, Fuerstenau, & Kenneth, 2009, pág. 245).

a) Las variables que intervienen en el proceso de flotación se clasifican en los siguientes descritos a continuación (Conejeros, 2003, pág. 24).

- Densidad de pulpa y porcentaje de sólidos
- pH
- Tiempo de flotación
- Nivel de espuma
- Carga circulante
- Granulometría
- Grado y tipo de aireación
- Temperatura de la pulpa
- Dosificación de reactivos

2.2.2. Clasificación de reactivos de flotación

a) Los reactivos químicos son compuestos tanto inorgánicos como orgánicos que desempeñan un papel fundamental en el complejo procedimiento de flotación, actuando en calidad de agentes colectores, modificadores, espumantes, entre otros. Su función es establecer las condiciones idóneas para lograr una separación eficiente mediante flotación de los minerales de interés, al mismo tiempo que se deprime la presencia de minerales estériles que carecen de valor económico en cada etapa del proceso de extracción minera. La clasificación de los reactivos en el proceso de flotación es lo siguiente:

- **Colectores:** La función principal es otorgarles propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales.

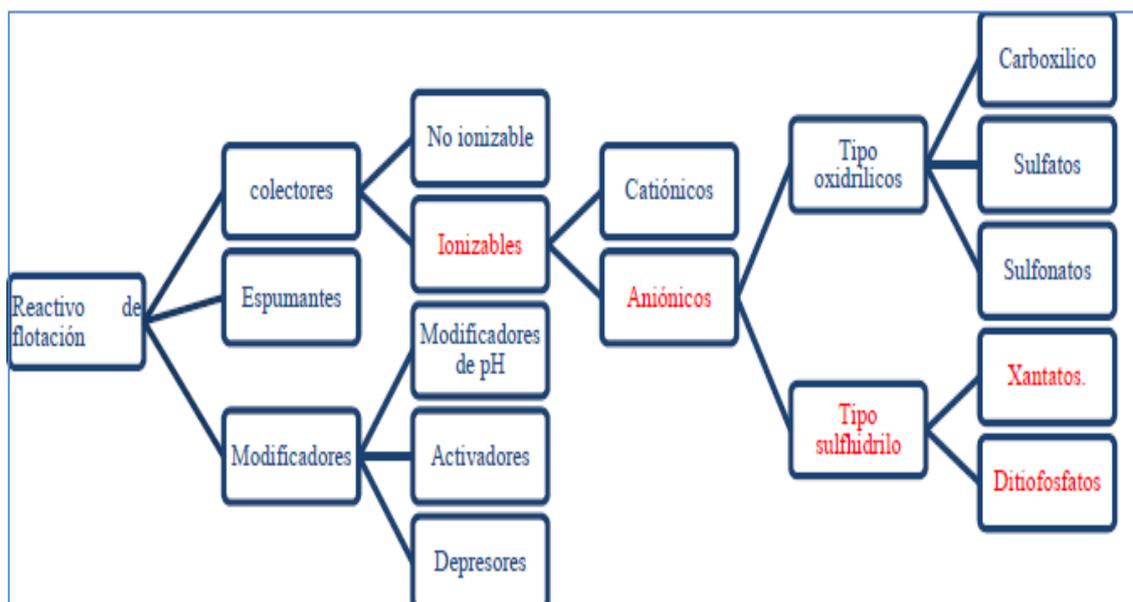
Los colectores son compuestos químicos de carácter heteropolar; su grupo polar es la parte activa que se une de manera selectiva a la superficie del mineral en base a la adsorción, ya sea de naturaleza química o física.

- **Modificadores:** Permite la regulación de las condiciones de actividad de los colectores, mejorando su selectividad.

Los modificadores crean condiciones favorables en la superficie de los minerales para el funcionamiento selectivo de los colectores.

- **Espumantes:** Facilita la creación de burbujas duraderas y consistentes, generando una capa de espuma; el tamaño de las burbujas puede variar dependiendo de múltiples factores presentes durante el proceso de flotación. Los espumantes, también conocidos como agentes espumantes, son compuestos químicos tensoactivos con propiedades heteropolares, que tienen la capacidad de adsorberse de manera selectiva en la interfase entre el gas y el líquido, dando lugar a la formación de una espuma estable y duradera (Conejeros, 2003, pág. 24).

Figura 1 Clasificación de reactivos de flotación



Nota: Elaborado en base a Conejeros, 2003. págs. 31 – 34.

2.2.3. Molibdeno

Según IMO A (2022) “El molibdeno, el elemento número 42 de la tabla periódica, se encuentra en la tabla periódica en la segunda serie de transición de la tabla, en el grupo 6B entre el cromo y el tungsteno.

Tiene la temperatura de fusión más elevada de todos los elementos conocidos, sin embargo, a diferencia de la gran mayoría de los demás metales de alto punto de fusión, su densidad es solamente un 25% superior a la del hierro. Su coeficiente de expansión térmica es notablemente bajo, lo que significa que su conductividad térmica sobrepasa a la de la mayoría de los elementos, con la excepción de unos pocos.

Tabla 1 *Propiedades del molibdeno*

Propiedades del molibdeno	
Número atómico	42
Peso atómico	95,96
Estructura cristalina	Cúbico centrado en las bases
Red molecular	$a = 3,1470 \text{ \AA}$
Densidad	10,22 g/cm ³
Punto de fusión	2623°C
Coeficiente de expansión térmica	$4,8 \times 10^{-6} / \text{K a } 25^\circ\text{C}$
Conductividad térmica	138 W/m K a 20°C

Nota: adaptado de www.imoa.com/info.

Cuando se agrega al acero y al hierro fundido, el molibdeno mejora la resistencia, la templabilidad, la soldabilidad, la tenacidad, la resistencia a temperaturas elevadas y la resistencia a la corrosión. En las aleaciones con base

de níquel, mejora la resistencia tanto a la corrosión como a la deformación por fluencia a alta temperatura.

Las aleaciones fabricadas a partir de molibdeno presentan una combinación excepcional de características, entre las que se destacan su notable resistencia a temperaturas extremadamente altas, su elevada conductividad tanto térmica como eléctrica, así como su reducida capacidad de expansión ante cambios de temperatura. El molibdeno metálico, debido a sus propiedades únicas, se convierte en la primera alternativa a considerar en una amplia variedad de aplicaciones especializadas que requieren un alto nivel de resistencia y durabilidad.

La característica sobresaliente del molibdeno es su extraordinaria versatilidad:

- Estados de oxidación : -II a VI
- Números de coordinación : 4 a 8
- Estereoquímica variada

La capacidad del elemento para formar compuestos con una amplia variedad de ligandos inorgánicos y orgánicos, mostrando una clara preferencia por los átomos donantes de oxígeno, azufre, flúor y cloro, entre otros elementos químicos.

Formación de compuestos binucleares y polinucleares que contienen diversos ligandos puente como óxido, cloruro y/o enlaces metal-metal, como por ejemplo enlaces molibdeno – molibdeno.

2.2.4. Procesamiento de la molibdenita

El molibdeno se encuentra generalmente en sus yacimientos en forma de menas de baja ley, lo que implica que, previo a su utilización en aplicaciones

metalúrgicas e industriales, debe someterse obligatoriamente a las etapas de beneficio y concentración. Estas fases permiten separar los minerales de molibdeno de las especies mineralógicas adyacentes y elevar la concentración de este valioso metal. El resultado final obtenido en una instalación de procesamiento de minerales es el concentrado de alta ley, el cual se caracteriza por contener la especie mineralógica prácticamente en su forma más pura y concentrada. Desde el concentrado de mineral de molibdeno, a través de complejos procesos piro – hidrometalúrgicos y electrometalúrgicos; el molibdeno se puede obtener en su estado metálico puro o en forma de diversos compuestos químicos que tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria moderna.

La molibdenita, mineral que se presenta como la fuente principal y prácticamente exclusiva de molibdeno en la industria, destaca por su particular estructura cristalina hexagonal, su formación en capas y sus propiedades altamente hidrofóbicas, lo que la convierte en un material altamente susceptible a los procesos de concentración mediante el uso de técnicas de flotación.

Otro tipo de mineral de molibdeno que resulta ser altamente susceptible a los diversos procesos de concentración es la wulfenita, que se presenta en forma de molibdato de plomo. No obstante, el proceso completo de recuperación del molibdeno implica una serie de operaciones adicionales, tales como la fundición inicial, seguida de la lixiviación ácida y la precipitación química, con el objetivo de lograr su separación efectiva del plomo y demás metales presentes en la mezcla. Esta es la explicación principal de por qué la wulfenita es prácticamente excluida como recurso para la extracción de molibdeno.

Otros minerales de molibdeno, como la powelita y la molibdita, se presentan en forma de polvos amarillentos muy blandos, con las características

típicas de los minerales oxidados. Por lo tanto, no reúnen las condiciones óptimas para ser sometidos a procesos de preparación mecánica y concentración. En resumen, se puede considerar que casi la totalidad del molibdeno proviene de la molibdenita y que este mineral se beneficia exclusivamente por el método de flotación.

El porcentaje de contenido de molibdeno en los yacimientos de explotación económicamente viables puede oscilar entre un mínimo de 0,01% y un máximo de 0,25%. Este elemento químico suele encontrarse mayormente ligado a minerales sulfurados de diversos metales, siendo el cobre uno de los más relevantes en este contexto.

Los yacimientos y minas de donde se extrae el molibdeno se clasifican en tres tipos:

- Minas donde la recuperación de molibdenita es el único elemento.
- Minas en las cuales la molibdenita es separada durante la recuperación de cobre
- Minas donde la recuperación de los co-productos molibdenita y cobre depende de su viabilidad comercial.

A continuación, se detalla minuciosamente el proceso de beneficio aplicado en el escenario donde la separación del molibdeno se lleva a cabo simultáneamente con la recuperación de cobre en yacimientos de cobre porfírico. Este caso en particular es el que se ha perfeccionado en las instalaciones de Chile, país reconocido por ser la fuente convencional de extracción de molibdenita.

Los elementos de importancia económica presentes en un depósito de cobre porfídico incluyen minerales de cobre, molibdenita y pirita (FeS_2), los cuales son fundamentales para la extracción y procesamiento de este recurso

mineral. Por lo general, el porcentaje de contenido de cobre oscila entre el 0,7% y el 2,0%, mientras que el contenido de molibdeno se sitúa entre el 0,001% y el 0,1% de MoS₂, y la presencia de pirita puede encontrarse en concentraciones que fluctúan entre el 1% y el 5%.

Como en toda operación de beneficio de minerales, son esenciales tres etapas:

1. liberación de minerales por medio de operaciones de reducción de tamaño y clasificación;
2. separación de la parte noble de la ganga o concentración, por medio de flotación.
3. operaciones de eliminación de agua, filtración y secado para obtener el concentrado de molibdeno desde sus pulpas y llegar a un producto seco comercial.

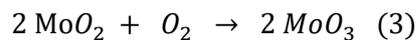
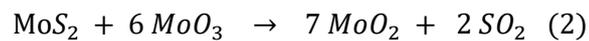
En la Figura siguiente, se muestra en forma esquemática los principales procesos que se realizan para la obtención de productos de molibdeno.

Las diversas etapas de beneficio de la molibdenita se llevan a cabo a través de un conjunto de operaciones específicas que incluyen:

- a) **Molienda:** el mineral extraído es sometido a un proceso de trituración y pulverización en molinos de bolas o rodillos, con el objetivo de reducirlo a partículas muy pequeñas que no superen los 150 micrones de tamaño.
- b) **Flotación:** el proceso de flotación se lleva a cabo en grandes tanques aireados con el fin de lograr la separación de los minerales metálicos de la ganga, que es el material que carece de valor económico. En el caso específico de los minerales de cobre/molibdeno, se emplea este método para separar la molibdenita del sulfuro de cobre. El concentrado de molibdenita obtenido

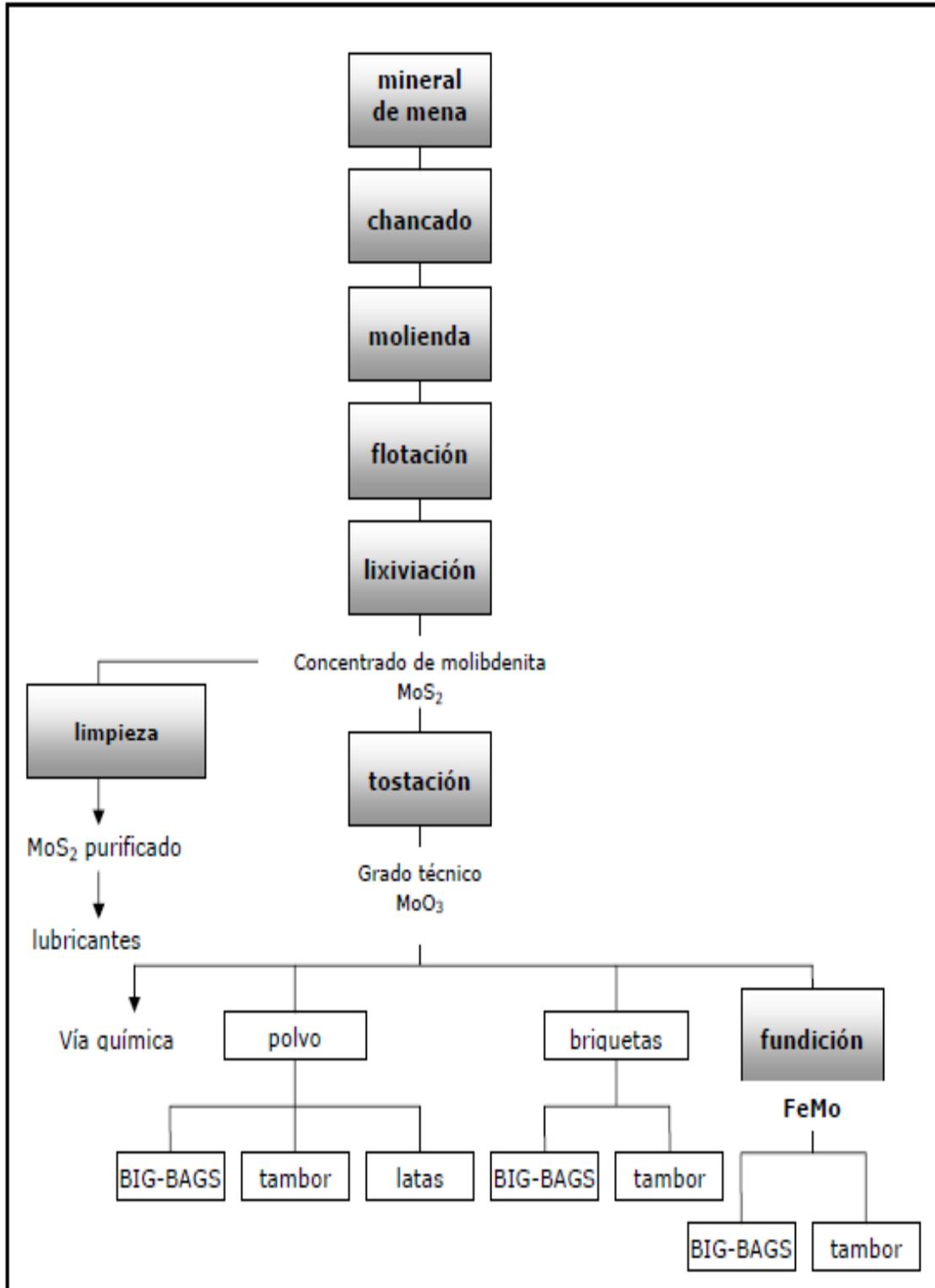
tras el proceso de extracción presenta un contenido de entre el 85% y el 92% de MoS₂, lo que lo convierte en un material de gran valor en la industria. En caso de ser necesario, se puede recurrir a la técnica de lixiviación ácida para llevar a cabo la disolución de impurezas tales como el cobre y el plomo.

- c) **Tostación:** este procedimiento industrial transforma la molibdenita en un concentrado de molibdenita tostada (también denominada como trióxido de molibdeno de calidad técnica) a través de las reacciones químicas que se producen a temperaturas que oscilan entre los 500 y 650 grados Celsius:



Los tostadores industriales son sofisticados hornos de tipo chimenea con múltiples etapas, en los cuales el mineral de molibdenita concentrado es transportado de manera descendente, contracorriente a la corriente de aire y gases calientes que circulan desde la parte inferior. El concentrado de molibdenita se transporta y distribuye a través de grandes rastrillos estratégicamente ubicados para favorecer y acelerar las reacciones químicas necesarias en el proceso de extracción. El concentrado obtenido de la molibdenita suele contener, en promedio, al menos un 57% de molibdeno, y generalmente menos de un 0,1% de sulfuro.

Figura 2 *Procesamiento de la molibdenita*



Nota: adaptado de www.imoa.org

- d) Recuperación de Renio:** algunos de los concentrados de molibdenita, que son un valioso subproducto de las operaciones mineras de cobre, pueden contener trazas muy reducidas de renio, en proporciones inferiores al 0,1% del total. Los tostadores industriales de molibdeno, diseñados específicamente para llevar a cabo el proceso de recuperación de renio, se destacan como una de las principales y más efectivas alternativas para obtener este valioso y escaso metal.
- e) Fundición de ferro-molibdeno:** aproximadamente, entre un 30 y un 40 por ciento de la producción total de concentrados de molibdenita tostados es sometida a un proceso adicional con el fin de obtener ferromolibdeno. El concentrado de mineral tostado es cuidadosamente mezclado con óxido de hierro y luego sometido a un proceso de reducción con aluminio en una reacción térmica controlada. Este proceso resulta en la formación de una robusta barra de ferro-molibdeno que puede llegar a pesar varios cientos de kilogramos. Esta barra contiene un porcentaje significativo de molibdeno, generalmente entre un 60% y un 70%, mientras que el resto de su composición es principalmente acero. Posteriormente al proceso de enfriamiento con aire, la barra es sometida a un proceso de trituración y posteriormente es separada y organizada a través de tamices vibratorios con el fin de lograr los niveles de tamaño establecidos previamente para el producto final de ferro-molibdeno.
- f) Purificación de concentrados de molibdenita tostados (óxido de Mo grado técnico):** Aproximadamente el 25% del total de óxido de molibdeno de calidad técnica fabricado a nivel global es posteriormente sometido a

procesos adicionales con el fin de obtener una amplia gama de productos químicos.

La purificación es realizada:

- Por sublimación para producir óxido de molibdeno puro (MoO_3).
- Por procesos químicos húmedos para producir una gran gama de productos químicos de molibdeno (principalmente óxidos de molibdeno y molibdatos).

La última etapa del proceso implica la disolución inicial del óxido de grado técnico en un medio altamente alcalino, como el hidróxido de amonio o de sodio, seguido de la eliminación de las impurezas mediante un proceso de precipitación y filtración, y/o extracción utilizando un solvente adecuado. La solución de molibdato de amonio resultante es posteriormente transformada en uno de los productos de molibdato a través de un proceso de cristalización o precipitación ácida, dependiendo de las condiciones específicas de la reacción. Estos minerales pueden ser sometidos a un proceso de calcinación en hornos especiales, con el fin de obtener trióxido de molibdeno de alta pureza.

- g) Producción de molibdeno metálico:** el molibdeno metálico es producido por la reducción con hidrógeno del óxido de molibdeno puro o molibdatos de amonio.

2.2.5. Dificultades en la recuperación de la molibdenita por flotación

La mayor dificultad de la concentración de los minerales de molibdeno, especialmente de la molibdenita, se basa a lo siguiente:

- a)** La estructura mineralógica está compuesta de una matriz de cuarzo y dentro de ello se encuentra la molibdenita.

- b) La dureza de la molibdenita es 1, lo cual a molienda primaria se pulveriza llegando entre 35 a 15 micrones de diámetro, convirtiéndose en un material fino o ultrafino.
- c) En contraste, el cuarzo tiene dureza 7 y requiere de remolienda para liberar a la molibdenita.
- d) El problema surge en la etapa de flotación, donde se recupera parcialmente y el resto se va al relave en forma de lamas.
- e) Actualmente en el mundo se están implementando técnicas emergentes para lograr mayores recuperaciones basadas en nuevos conceptos de disminución de la generación, en planta, de finos y ultrafinos, de la optimización de la “captura” de partículas por burbujas y del aumento de tamaño de las partículas problema (**ver Tabla I**).

2.3. Definición de términos básicos

- **Tratamiento:** Es un conjunto diverso de recursos y estrategias que se emplean con el propósito de mitigar o lograr consecuencias beneficiosas o desfavorables.
- **Mineral:** Una roca es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida y estructura cristalina. Las rocas se forman a través de procesos geológicos que involucran la solidificación de minerales y la acumulación de materiales a lo largo del tiempo.
- **Mena:** Minerales de gran valor económico, los cuales representan aproximadamente un 5 a 10% del volumen total de la roca en cuestión. Corresponden principalmente a minerales sulfurados y oxidados, los cuales

contienen el elemento de interés, como, por ejemplo, cobre, molibdeno, zinc, entre otros elementos importantes en la industria minera.

- **Flotación:** Es un complejo proceso fisicoquímico de tres fases (sólido – líquido - gaseoso) que tiene por objetivo la separación eficiente de especies minerales mediante la adhesión altamente selectiva de partículas minerales a burbujas de aire presentes en la mezcla.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si desarrollamos un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio, entonces; influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) HE1: Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio, entonces, influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.
- b) HE2: Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia entonces influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.

2.5. Identificación de variables

a) Variable dependiente

- Recuperación de molibdeno

b) Variables independientes

- Evaluación metalúrgica de sulfuros

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2 Variables, definiciones e indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente	Caracterizar un mineral es describir los elementos químicos que se encuentran en el material y la forma como están asociados.	El reconocimiento microscópico del mineral permite orientar el proceso metalúrgico a seguir para la recuperación del material valioso (molibdeno).	Caracterización del mineral Granulometría	Reconocimiento mineralógico micrones
Evaluación metalúrgica de la molibdenita	Los reactivos colectores crean en la pulpa, las condiciones propicias para una óptima flotación y preparan la superficie de las partículas para adherirse a las burbujas de aire.	La función específica de los colectores es crear condiciones para la adherencia de las partículas de cobre a las burbujas de aire para su recuperación posterior por flotación.	Dosificación de reactivos	Cm ³ /T
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente	Recuperar molibdeno es resultado de un proceso	La flotación es el proceso que consiste en la separación de los minerales deseados de los estériles, a		%
Recuperación de molibdeno - torio	físico químico que permiten separar de los otros minerales que acompañan al estado natural, mediante la flotación.	través de la adherencia de las partículas finas valiosas a las burbujas de aire	Recuperación de molibdeno	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **aplicada** porque el investigador manipula las variables objeto del estudio, lo cual es objeto de estudio. actúa conscientemente sobre la muestra, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (Baena, 2017, pág. 18).

- Por su naturaleza: tiene enfoque cuantitativo.
- Por el objeto de estudio: aplicado.

3.2. Nivel de investigación

Según Ñaupas et al. (2018), el nivel de investigación es principalmente explicativo, ya que los estudios de esta naturaleza se fundamentan en problemas debidamente formulados y buscan identificar la relación de causa y efecto de manera rigurosa y detallada. Es imprescindible que los investigadores trabajen exhaustivamente con hipótesis, las cuales tienen como objetivo principal explicar

de qué manera las variables independientes inciden en la variable dependiente. (pág. 147).

3.3. Método de investigación

Se optó por utilizar el enfoque analítico, ya que, debido a su naturaleza, parte de una premisa inicial para derivar conclusiones específicas que posteriormente son sometidas a pruebas experimentales para su validación. Se desarrolló teniendo en cuenta el nivel descriptivo, explicativo y experimental, con el objetivo de garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

- Descriptivo. - mediante este método se realizó la descripción de los fenómenos y comportamiento de las etapas que ocurren durante las pruebas experimentales.
- Explicativo. Durante las pruebas experimentales se realizó el respectivo comentario de la causa y efecto de cada etapa de las pruebas.
- Experimental. Se manipuló las dimensiones de la variable independiente, para obtener respuestas al fenómeno producido (Bernal, 2016, pág. 145).

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental cíclico, debido a que las pruebas siguen un proceso sistémico (Bernal, 2016, pág. 146).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está constituida por el mineral extraído del cuerpo mineralizado existente en la falla Rondoni; depositado en la cancha de almacenamiento de material de mina que asciende a 30 toneladas métricas en promedio por día, con campañas de 45 días para luego ser trasladado a la planta concentradora Perú Sol SAC.

3.5.2. Muestra

La muestra constituyo el mineral depositado en la cancha de almacenamiento y obtenido bajo el sistema de puntos; obteniéndose un promedio de 2 kilogramos/día, durante 30 días continuos haciendo un total de 60 kilos; material que permitió desarrollar las pruebas experimentales en laboratorio.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

Tabla 3 Actividades para el acopio de información

No	Actividad	Técnica	Instrumentos
1	Recolección de muestra	Cono y cuarteado	Tablas preestablecidas
2	Cálculo del peso específico	Método del picnómetro	tablas preestablecidas
3	Cálculo de la dureza del mineral	Reconocimiento experimental	Tablas preestablecidas
4	Liberación del mineral	Molienda	Tablas en Excel
5	Reconocimiento mineralógico	Análisis microscópico	Fotografías
6	Análisis cuantitativo	Análisis químico	Tablas preestablecidas
7	Separación físico - química	Flotación	Tablas preestablecidas

Nota: Elaboración propia.

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

La validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación, se desarrolló teniendo en cuenta tres factores:

- a) Verificando el acopio de muestra y procesamiento del mismo, en calidad y cantidad; del mismo modo, la calidad de los equipos instalados y el grado de preparación de los reactivos.

- b) Intervención del ser humano en las pruebas metalúrgicas; mostrando su experiencia y capacidad de análisis y dificultades que se presentaron.
- c) Revisando los antecedentes de fabricación y usos de los colectores sujetos a experimentación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para efectuar el procesamiento de datos se desarrolló los siguientes pasos:

- a) Obtención de información de la muestra a investigar.
- b) Definición de las variables o criterios para ordenar los datos obtenidos en el trabajo de campo y laboratorio.
- c) Definición de las herramientas estadísticas a utilizar en el procesamiento de datos, que para este caso se utilizó las medidas de tendencia central y la prueba estadística Chi cuadrado, para validar la confiabilidad de los instrumentos de investigación.
- d) Introducción de datos al computador y activar el programa para procesar la información.
- e) Obtención de los resultados según criterios previamente establecidos para cada propósito.

3.9. Tratamiento estadístico

Utilizando el software Microsoft EXCEL y el programa Minitab statistical, se procedió a organizar de manera sistemática los datos recopilados en tablas detalladas y gráficos representativos. Las pruebas experimentales de flotación se llevaron a cabo a lo largo de un período de tiempo de 10 días consecutivos. Previamente a la ejecución de dichas pruebas, se efectuó un exhaustivo análisis bibliográfico centrado en los estudios previos sobre la mineralización del molibdeno en depósitos minerales de origen primario.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

La aprobación o desaprobación de un estudio se fundamenta en la evaluación ética de la investigación, considerando su valor tecnológico y su robustez científica, así como un equilibrio adecuado entre los posibles beneficios y los riesgos asociados, la reducción de los riesgos, la implementación de protocolos completos de consentimiento informado (abordando aspectos culturales relevantes y mecanismos de garantía), los criterios para la selección de variables, y la evaluación del impacto de la investigación en la sostenibilidad y viabilidad económica de la empresa extractora, tanto durante el desarrollo del estudio como una vez concluido el mismo. La revisión exhaustiva toma en consideración detalladamente la revisión científica previa, así como las normativas y disposiciones legales aplicables en la materia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Descripción del proyecto

El proyecto tuvo como objetivo recuperar concentrados de molibdeno por flotación a partir de los minerales existentes en la falla Rondoni; en determinado sector, se observa la presencia de molibdenita asociado a la monzonita biotítica y pegmatitas; la formación geológica muestra un cuerpo mineralizado de aproximadamente 10 metros de diámetro medio que se profundiza en forma vertical. El trabajo minero se realiza a diario con taladros verticales de 6 pies de longitud, los cuales después de haber realizado el decapado, se observa en forma definida la presencia de molibdenita en todo el cuerpo mineralizado.

4.1.2. Muestreo

El acopio de mineral se realizó a diario en la cancha de mineral adjunto al yacimiento; se tomó muestras representativas bajo el sistema de redes aproximadamente 2 kilogramos por 30 días para tener una muestra representativa; a la vez se observó continuidad de mineralización en el yacimiento.

4.1.3. Trabajos en laboratorio

La muestra representativa, se trasladó a los laboratorios de la planta concentradora Perú Sol SAC ubicado en Huari, para realizar las pruebas experimentales y posteriormente procesar todo el mineral extraído en campañas de aproximadamente 300 toneladas.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Preparación de muestra

Para la obtención de la muestra representativa, el mineral composito se trituró y bajo el sistema de cono y cuarteado, se fue reduciendo el material hasta obtener 10 kilos de muestra con los cuales se desarrolló las pruebas metalúrgicas.

4.2.2. Análisis cuantitativo

Para determinar los elementos existentes en las muestras, se analizó por vía clásica, en el laboratorio de la empresa Perú Sol SAC, con el siguiente resultado:

Tabla 4 Análisis químico del mineral

Muestra	% Mo	% Cu	% Fe ₂ O ₃
Mineral 1	4,08	0,04	3,60
Mineral 2	3,80	0,02	4,20
Mineral 3	4,05	0,02	4,50

Nota: Resultados emitidos por los laboratorios de la empresa Perú Sol SAC.

- **Comentario:** Se descartó la presencia de torio, cuando las muestras con presencia de plagioclasas y pegmatitas, fueron sometidos al contador Geiger y no reflejo radiactividad, y por su naturaleza los minerales de torio son radioactivos y con afinidad a la molibdenita.

4.2.3. Caracterización macroscópica de la molibdenita

Los resultados del análisis de las 10 muestras representativas tomadas del composito con respecto a la presencia de la molibdenita, se observó que la mayor mineralización se encuentra en la monzonita biotítica en la alteración potásica presente en forma de núcleos, al parecer la formación se dio en un solo momento.

En las siguientes páginas se muestran las descripciones de las muestras tomadas, la descripción se realizó respecto a su textura, minerales principales, accesorios, alteración, mineralización de las rocas y la forma como se presenta la Molibdenita en las diferentes muestras recolectadas.

Figura 3 *Muestra 101*

	Muestra:
	101
	Nombre:
	Monzonita biotítica
	Minerales:
	Fk: 20%; Plg 20%; Biot 15%; cp 1%; Mo 5%
Textura: Porfiritica	
Alteración: Potasica	
Mineralización: Mo > Cp	
Descripción: Monzonita Biotítica, de grano medio, textura porfiritica, plagioclasas, molibdenita masiva e irregular	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 4 Muestra 102

	Muestra:
	102
	Nombre:
	Pirofilita
	Minerales: Plf 60%; FeOx 5%; Cu 1%; Mo 2%
Textura: Masiva	
Alteración: Pirofilita - calcita	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Pirofilita color verde oscuro, calcopirita diseminada, molibdenita en forma masiva	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 5 Muestra 103

	Muestra:
	103
	Nombre:
	Cuarzo masivo
	Minerales: Qz 60%, FeO 8%, Mo 4%, Cu 1%
Textura: Porfiritica	
Alteración: Inclusiones de venillas de óxidos de fierro	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Cuarzo masivo, molibdenita visible en forma masiva	

Nota: muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 6 Muestra 104

	Muestra:
	104
	Nombre:
	Monzonita biotítica
	Minerales:
	Qz 22%, Hb 22%, Fk 22%, Mo 4%, Cu 1%
Textura: Porfiritica	
Alteración: formado en un solo acto	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Monzonita Biotítica, plagioclasas, molibdenita masiva e irregular	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 7 Muestra 105

	Muestra:
	105
	Nombre:
	Carbonatos
	Minerales:
	Cal 70%, Mo 5%, Cu 3%, Qz 5%
Textura: Calizas	
Alteración: Carbonato masivo	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Calcita y molibdenita visible	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 8 Muestra 106

	Muestra:
	106
	Nombre:
	Cuarzo
	Minerales:
	Qz 80%, Mo 8%, Bn 1%
Textura: Masiva	
Alteración: Inclusión de venillas de óxidos de hierro	
Mineralización: Mo > Bn	
Descripción: Pirofilita masiva, molibdenita se presenta diseminado	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 9 Muestra 107

	Muestra:
	107
	Nombre:
	Plagioclasa
	Minerales:
	Plg 40%, Qz 25%, Mo 3%, Cu 1%
Textura: Reemplazamiento	
Alteración: Plagioclasas	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Plagioclasas, molibdenita masiva, cobre nativo masivo	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 10 *Muestra 108*

	Muestra:
	108
	Nombre:
	Monzonita cuarcifera
	Minerales: Qz 60%, FeO 5%, Mo 8%
Textura: Porfiritica	
Alteración: Inclusión en venillas de Mo	
Mineralización: Mo	
Descripción: Monzonita cuarcifera, molibdenita masiva	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 11 *Muestra 109*

	Muestra:
	109
	Nombre:
	Pirofilita
	Minerales: Prf 65%, Mo 3%, Cu 2%
Textura: Masiva	
Alteración: Carbonatos	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Pirofilita, molibdenita masiva e irregular, cobre nativo	

Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

Figura 12 Muestra 10

	Muestra:
	110
	Nombre:
	Piroxenos
	Minerales:
	Qz 13%, Cal 30%, Mo 3%, Cu 1%
Textura: Masiva	
Alteración: Piroxenos, carbonatos masivos	
Mineralización: Mo > Cu	
Descripción: Piroxenos de color verde, molibdenita masiva, cobre masivo irregular	

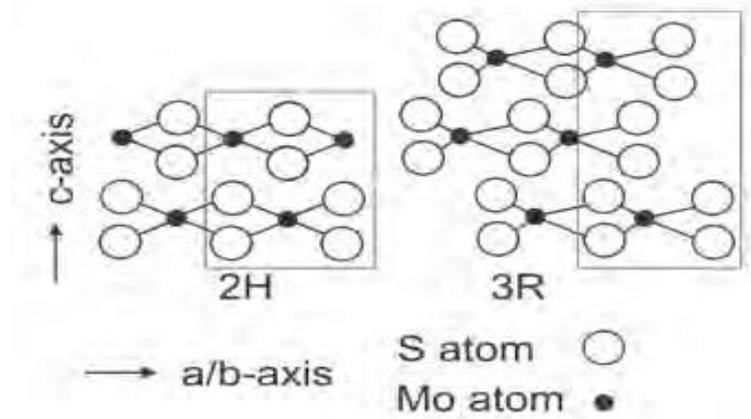
Nota: Muestra observada en el laboratorio mineralógico UNDAC

4.2.4. Caracterización microscópica de la molibdenita

Se realizó el análisis de microscopía óptica, para ver la estructura cristalina en secciones pulidas; según los exhaustivos estudios llevados a cabo por el renombrado investigador Newberry en el año 1979, se pueden identificar dos categorizaciones principales: la 2H, que hace referencia a la estructura cristalina hexagonal, y la 3R, que corresponde a la estructura cristalina romboédrica. El politipo 2H, conocido por su estructura cristalina hexagonal, se caracteriza por su notable facilidad de molienda, su rápida flotabilidad en los procesos metalúrgicos y su excepcional capacidad de recuperación de molibdeno. Este tipo de politipo se distingue por la disposición de iones de molibdeno y azufre, los cuales se sitúan en posiciones adyacentes, ya sea directamente encima o debajo de los iones de azufre en capas contiguas. El politipo 3R presenta una notable dificultad en el proceso de molienda, lo que resulta en una flotabilidad

considerablemente lenta. Esta situación conlleva a una tasa de recuperación bastante reducida. Cabe destacar que la presencia de iones de Molibdeno y Azufre se ve contrarrestada mediante una rotación de 60 grados en torno al eje C. (Bell y Herfert, 1957).

Figura 13 Estructura de cristalina de la molibdenita



Nota: tomado de las publicaciones de Newberry (1979)

Las muestras elegidas fueron preparadas en briquetas para observar las secciones pulidas por microscopía óptica, tal como se observa en las siguientes vistas.

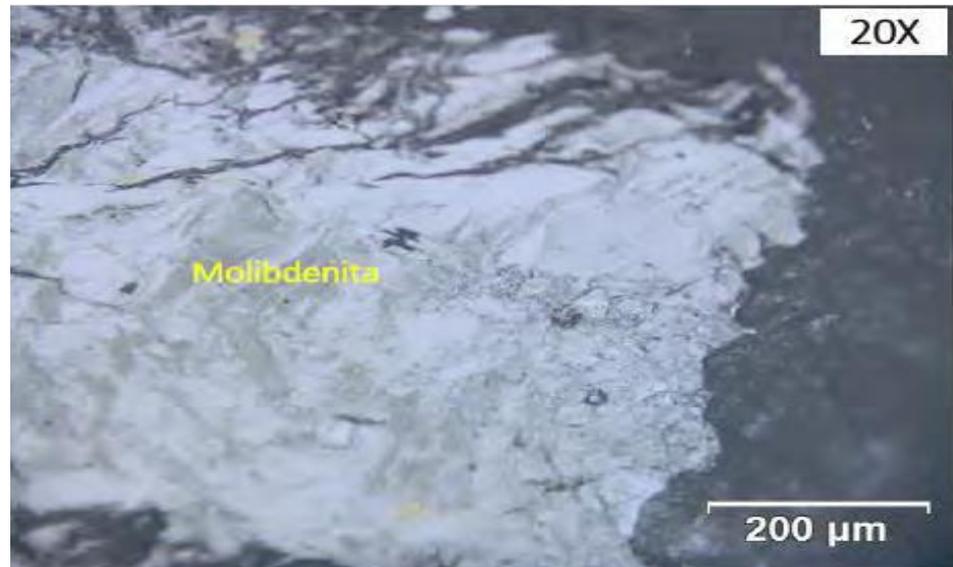
Figura 14 Muestra 111



Nota: Muestra observada a 10X, con el microscopio petrográfico.

- **Comentario:** Se observa molibdenita alargado y cobre en forma masiva a 10X, en una matriz de pirofilita.

Figura 15 *Muestra 112*



Nota: Muestra observada a 20X con el microscopio petrográfico.

- **Comentario:** se observa molibdenita masiva de borde irregular en una matriz de piroxenos.

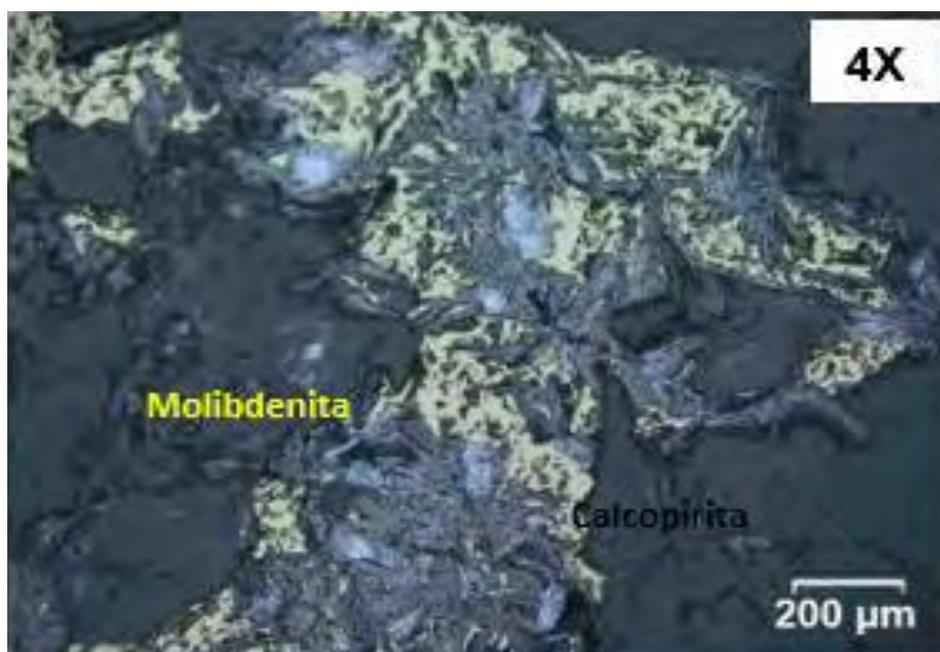
Figura 16 *Muestra 113*



Nota: Muestra observada a 4X con el microscopio petrográfico.

- **Comentario:** Se observa molibdenita cubriendo la matriz de piroxenos.

Figura 17 Muestra 114



Nota: Muestra observada a 4X con el microscopio petrográfico.

- **Comentario:** Se observa molibdenita en masas con fuerte presencia de cobre nativo y calcopirita.

En los detallados y exhaustivos estudios llevados a cabo por McClung (2016), en la renombrada mina Bingham Canyon ubicada en el estado de Utah, en los Estados Unidos de América, se adentraron en la investigación de los diversos politipos de molibdenita y sus significativas implicaciones en lo que respecta al complejo proceso de procesamiento y recuperación del valioso elemento químico molibdeno. Tras un minucioso análisis, lograron categorizar los dos principales tipos de molibdenitas como: la variante hexagonal (2H) y la variante romboédrica (3R). Se llegó a la conclusión de que la molibdenita es una estructura cristalina hexagonal de tipo 2H; se caracteriza por ser mayoritariamente laminar, presentando una cinética de flotación que se considera más "rápida" en comparación con otros minerales, lo que se traduce en altas tasas

de recuperación y en la obtención de concentrados de molibdeno de excelente calidad.

La molibdenita 3R romboédrica; su morfología anhedral, cinéticamente más lenta en la flotación y bajas recuperaciones.

4.2.5. Pruebas metalúrgicas

a) Análisis granulométrico para pruebas de molienda.

Se realizaron el análisis granulométrico con la serie de mallas Tyler para la muestra inicial y los productos de molienda a 5, 10 y 15 minutos; determinando el porcentaje acumulado pasante que se muestran en la tabla No 8 y las curvas de cinética de molienda en la Figura No 18.

Tabla 5 Análisis granulométrico de la muestra inicial

Malla Tyler	Abertura (µm)	Peso (Gr)	% Peso	Retenido acumulado (+)	Pasante acumulado (-)
50	300	482,00	48,20	48,20	51,80
70	212	302,15	30,22	78,42	21,59
100	150	134,75	13,48	91,89	8,11
140	106	40,30	4,03	95,92	4,08
200	74	36,38	3,64	99,56	0,44
270	53	4,16	0,42	99,97	0,03
325	45	0,26	0,03	100,00	0,00
-325	38	0,00	0,00		
Total		1000	100,00		

Nota: Resultados del tamizado de la muestra de cabeza.

Tabla 6 Análisis granulométrico del mineral a 5 min de molienda

Malla Tyler	Abertura (μm)	Peso (Gr)	% Peso	Retenido acumulado (+)	Pasante acumulado (-)
50	300	70,10	7,01	7,01	92,99
70	212	105,00	10,50	17,51	82,49
100	150	252,15	25,22	42,73	57,28
140	106	381,00	38,10	80,83	19,18
200	74	138,50	13,85	94,68	5,32
270	53	50,90	5,09	99,77	0,23
325	45	2,35	0,24	100,00	0,00
-325	38	0,00	0,00		
Total		1000	100,00		

Nota: Resultados del tamizado después de molienda por 5 minutos.

Tabla 7 Análisis granulométrico del mineral a 10 min de molienda

Malla Tyler	Abertura (μm)	Peso (Gr)	% Peso	Retenido acumulad o (+)	Pasante acumulad o (-)
50	300	64,20	6,42	6,42	93,58
70	212	70,10	7,01	13,43	86,57
100	150	98,10	9,81	23,24	76,76
140	106	138,50	13,85	37,09	62,91
200	74	351,60	35,16	72,25	27,75
270	53	270,10	27,01	99,26	0,74
325	45	5,10	0,51	99,77	0,23
-325	38	0,23	0,23	100,00	0,00
Total		1000	100,00		

Nota: Resultados del tamizado después de molienda por 10 minutos.

Tabla 8 Análisis granulométrico del mineral a 15 min de molienda

Malla Tyler	Abertura (µm)	Peso (Gr)	% Peso	Retenido acumulado (+)	Pasante acumulado (-)
50	300	36,50	3,65	3,65	96,35
70	212	55,30	5,53	9,18	90,82
100	150	86,50	8,65	17,83	82,17
140	106	105,20	10,52	28,35	71,65
200	74	385,40	38,55	66,90	33,10
270	53	262,20	26,22	93,12	6,88
325	45	44,65	4,47	97,59	2,41
-325	38	24,12	2,41	100,00	0,00
Total		999,87	100,00		

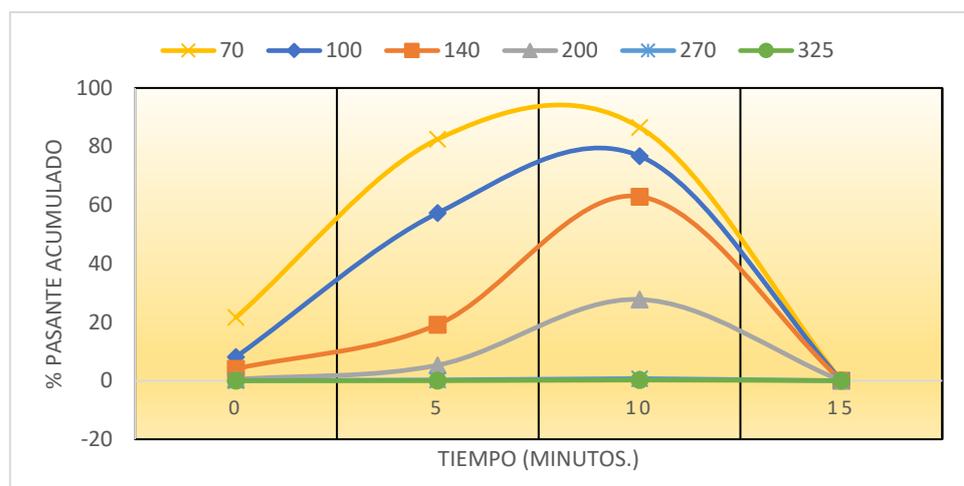
Nota: Resultados del tamizado después de molienda por 15 minutos.

Tabla 9 Porcentaje acumulado pasante para pruebas de molienda

Tiempo (min)	Mallas					
	70	100	140	200	270	325
0	21,59	8,11	4,08	0,44	0,03	0,00
5	82,49	57,28	19,18	5,32	0,23	0,00
10	86,57	76,76	62,91	27,75	0,74	0,23
15	90,82	82,17	71,65	33,10	6,88	2,41

Nota: Datos obtenidos de las pruebas de molienda.

Figura 18 Diagramas de cinética de molienda



Nota: Obtenido a partir del resumen de datos obtenidos en la molienda.

- **Comentario:** En los gráficos se puede observar que el 71% del mineral molido se encuentra a malla menor a 106 micrones, dicha granulometría se refleja en los resultados, luego de realizar las pruebas de flotación.

b) Pruebas de flotación preliminar

- **Prueba metalúrgica 1**

Mineral: 1 Kg.

Relación agua: mineral = 2:1

Molienda:

Tiempo: 15 minutos

Reactivos: Diesel D-2 1,5 cc

Z-11 5 cc

A3418 2 cc

CaO 2 Gr

Flotación Rougher:

Acondicionamiento: 8 minutos

Reactivos: Diesel D-2 1,5 cc

pH 7,60

Z-11 5 cc

MIBC	3 cc
Tiempo de flotación:	3 minutos
Flotación Scavenger:	
Reactivos: Diesel D-2	1,25 cc
Z-11	5 cc
pH	8,3 (CaO: 1 gr)
MIBC	2 cc
Tiempo de flotación:	3,1 minutos
Flotación Cleaner (cc. Rougher + cc Scavenger)	
Reactivos: Diesel D-2	1,12 cc
MIBC	4 cc
pH	7,9
Tiempo de flotación:	2,5 minutos

Tabla 10 Prueba metalúrgica 1

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,08	40,80	100,00	
Concentrado	76	8.20	46,30	35,19	86,25	
Relave	924	91,80	0,85	7,85	19,25	

Ratio de recuperación: 13,16

- **Prueba metalúrgica 2**

Mineral: 1 Kg.

Relación agua: mineral = 2:1

1. Molienda:

Tiempo: 15 minutos

Reactivos: Diesel D-2-2 cc

Z-11 5 cc

A3418 3 cc

CaO 2 Gr

2. Flotación Rougher:

Acondicionamiento: 8 minutos

Reactivos: Diesel D-2 2 cc

pH 8,00

Z-11 5 cc

MIBC 3 cc

Tiempo de flotación: 3 minutos

3. Flotación Scavenger:

Reactivos: Diesel D-2 2 cc

Z-11 5 cc

pH 8,5 (CaO: 1,5 gr)

MIBC 2 cc

Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner (cc. Rougher + cc Scavenger)

Reactivos: Diesel D-2 1,5 cc

MIBC 4 cc

pH 8,3

Tiempo de flotación: 2,5 minutos

Tabla 11 Prueba metalúrgica 2

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100,00	3,80	38,00	100,00	
Concentrado	76	7,60	45,50	34,58	91,00	
Relave	924	92,40	0,65	6,01	15,81	

Ratio de recuperación: 13,16

- **Prueba metalúrgica 3**

Mineral: 1 Kg.

Relación agua: mineral = 2:1

1. Molienda:

Tiempo: 15 minutos
Reactivos: Diesel D-2 2,5 cc
Z-11: 5 cc
A3418: 3 cc
CaO: 2 Gr

2. Flotación Rougher:

Acondicionamiento: 8 minutos
Reactivos: Diesel D-2 2,5 cc
pH 7,50
Z-11 5 cc
MIBC 3 cc
Tiempo de flotación: 3 minutos

3. Flotación Scavenger:

Reactivos: Diesel D-2 2,5 cc
Z-11: 5 cc
pH: 8,0 (CaO: 1,5 gr)
MIBC: 2 cc
Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner (cc. Rougher + cc Scavenger)

Reactivos: Diesel D-2 2,0 cc
MIBC: 4 cc
pH: 8,5
Tiempo de flotación: 2,5 minutos

Tabla 12 Prueba metalúrgica 3

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido	Recuperación
			% Mo	Mo	% Mo
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00
Concentrado	75	7,80	46,80	35,10	86,67
Relave	925	92,20	0,62	5,74	14,16

Ratio de recuperación: 13,33

- **Comentario:** Los resultados de las pruebas preliminares, determinan que la ley del concentrado de molibdeno supera 45% y la recuperación supera 86%

c) Pruebas de flotación con diseño experimental

Selección de variables para la flotación de molibdeno.

Las variables seleccionadas por su influencia en la recuperación del molibdeno son: Diesel D-2, A 3480 y pH, en dos estados, para desarrollar a través del diseño factorial 2^3 , del siguiente modo:

Tabla 13 Variables controladas

Variabes	Nivel mínimo (-)	Nivel máximo (+)
Diesel D-2 (cc)	1,5	3,0
A 3418 (cc)	2	4
pH	7,5	8,5

Nota: aplicación de datos al diseño experimental propuesto.

d) Evaluación del proceso

Las variables enunciadas en la tabla anterior, influyen directamente en la recuperación del Molibdeno, resultando importante el grado de dosificación en la flotación que se desarrolló de acuerdo a la siguiente matriz de diseño.

Tabla 14 *Matriz de diseño factorial*

Diseño	Niveles			% Mo en concentrado
	A	B	C	
	Diesel D	A 3418	pH	
	2			
1	1,5	2	7,5	38,30
a	3,0	2	7,5	41,20
b	1,5	4	7,5	42,20
ab	3,0	4	7,5	46,30
c	1,5	2	8,5	45,30
ac	3,0	2	8,5	45,50
bc	1,5	4	8,5	46,80
abc	3,0	4	8,5	44,30

Nota: Valores de insumos utilizados en las pruebas de flotación.

Cálculo de los efectos de las variables experimentales.

Con aplicación del software Minitab Statistical, se calculó los efectos;

los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 15 *Diseño factorial completo*

Diseño	Niveles			INTERACCIONES			
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
	Diesel D	A 3418	pH				
	2						
1	1,5	2	7,5	3	11,25	15	22,50
a	3,0	2	7,5	6	22,50	15	45,00
b	1,5	4	7,5	6	11,25	30	45,00
ab	3,0	4	7,5	12	22,50	30	90,00
c	1,5	2	8,5	3	12,75	17	25,50
ac	3,0	2	8,5	6	25,50	17	51,00
bc	1,5	4	8,5	6	12,75	34	51,00
abc	3,0	4	8,5	12	25,50	34	102,00

Nota: Operacionalización al diseño factorial propuesto.

Tabla 16 *Coefficientes codificados*

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		43,74	*	*	*	
Diesel D2	1,1750	0,5875	*	*	*	1,00
A 3418	2,325	1,162	*	*	*	1,00
pH	3,475	1,737	*	*	*	1,00
Diesel D2*A	-	-	*	*	*	1,00
3418	0,3750	0,1875				
Diesel D2*pH	-2,325	-1,162	*	*	*	1,00
A 3418*pH	-2.175	-1.088	*	*	*	1,00
Diesel D2*A	-	-	*	*	*	1,00
3418*pH	0,9750	0,4875				

Nota: Tratamiento estadístico con Minitab.

e) **Análisis de varianza.**

Tabla 17 *Análisis de varianza*

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
		Ajust.	Ajust.		
Modelo	7	60,1787	8,5970	*	*
Lineal	3	37,7237	12,5746	*	*
Diesel D2	1	2,7612	2,7612	*	*
A 3418	1	10,8113	10,8113	*	*
pH	1	24,1512	24,1512	*	*
Interacciones de 2 términos	3	20,5537	6,8512	*	*
Diesel D2*A 3418	1	0,2813	0,2813	*	*
Diesel D2*pH	1	10,8113	10,8113	*	*
A 3418*pH	1	9,4612	9,4612	*	*
Interacciones de 3 términos	1	1,9012	1,9012	*	*

Diesel D2*A	1	1,9012	1,9012	*	*
3418*pH					
Error	0	*	*		
Total	7	60,1787			

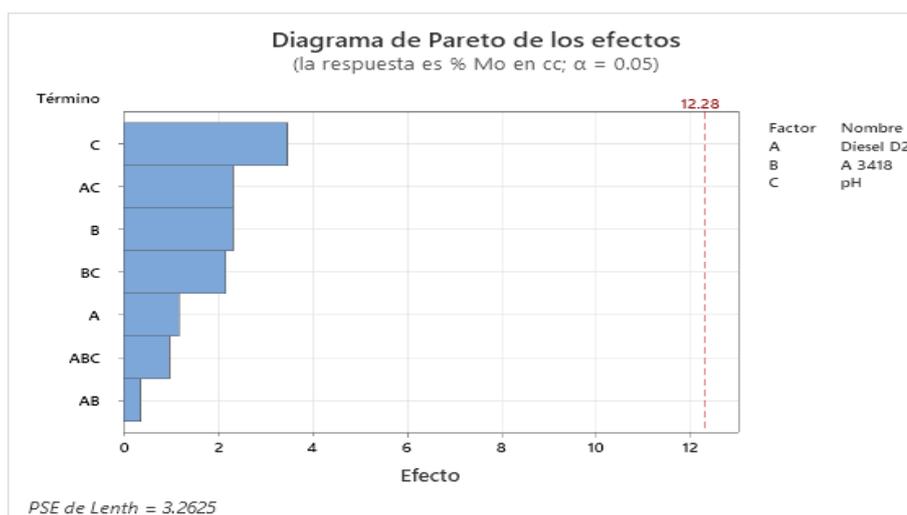
Nota: Tratamiento estadístico con Minitab.

f) Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \% Mo = & -28,80 - 4,867 \text{ Diesel D2} - 4,275 \text{ A3418} + 8,20 \text{ pH} \\ & + 10,15 \text{ Diesel D2} * \text{A3418} + 0,80 \text{ Diesel D2} * \text{pH} \\ & + 0,75 \text{ A3418} * \text{pH} - 1,30 \text{ Diesel D2} * \text{A3418} \\ & * \text{pH} \quad (4) \end{aligned}$$

g) Diagrama de Pareto

Figura 19 Diagrama de Pareto de los efectos

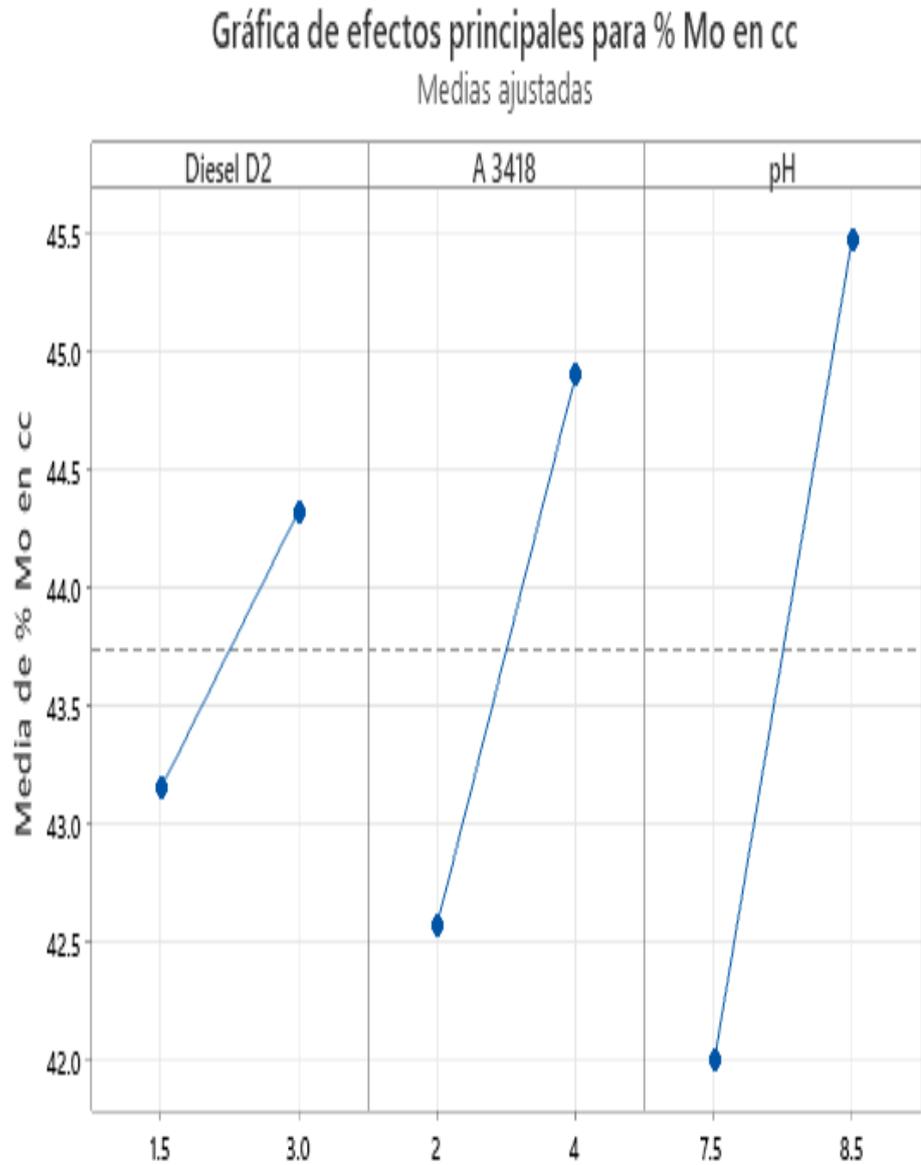


Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

- **Comentario:** El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto, en el cual se muestra la importancia de cada uno de las variables seleccionadas, observándose la importancia de las variables B y C con alta prioridad en la recuperación de Mo y las interacciones AC y BC también tienen influencia, pero en menor medida; pero no revierte importancia el Diesel D-2.

h) Efectos principales

Figura 20 Efectos principales para la concentración de molibdeno

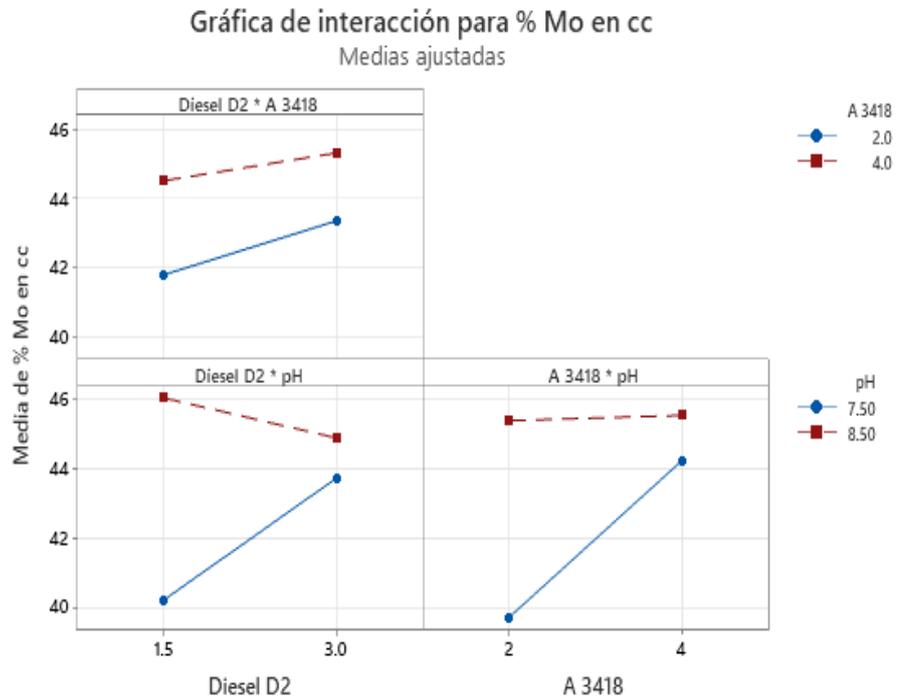


Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

- **Comentario:** Las tres variables influyen en forma ascendente en la recuperación del molibdeno, siendo el más influyente el pH, tal como se observa en la figura.

i) Efectos de interacción

Figura 21 Interacción de las variables en la concentración de Mo

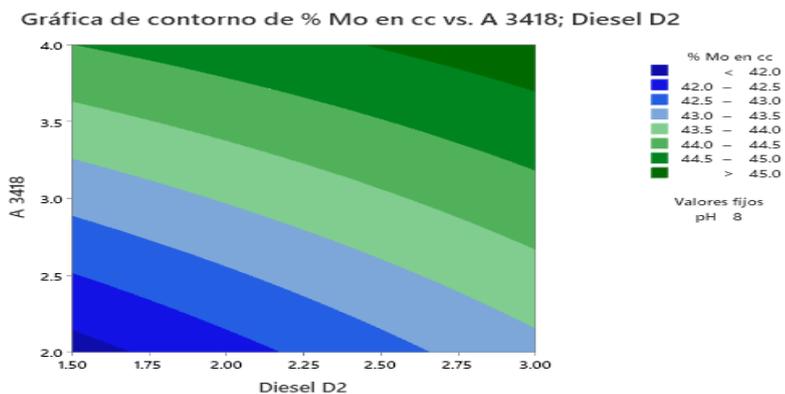


Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

- **Comentario:** En las figuras se observa que las interacciones entre las variables investigadas, también influyen en forma ascendente, con excepción del Diesel D-2 que, a menor concentración, se observa influencia negativa.

j) Influencia de los colectores en la recuperación del molibdeno

Figura 22 Concentración del molibdeno versus Diesel D-2 y A3418

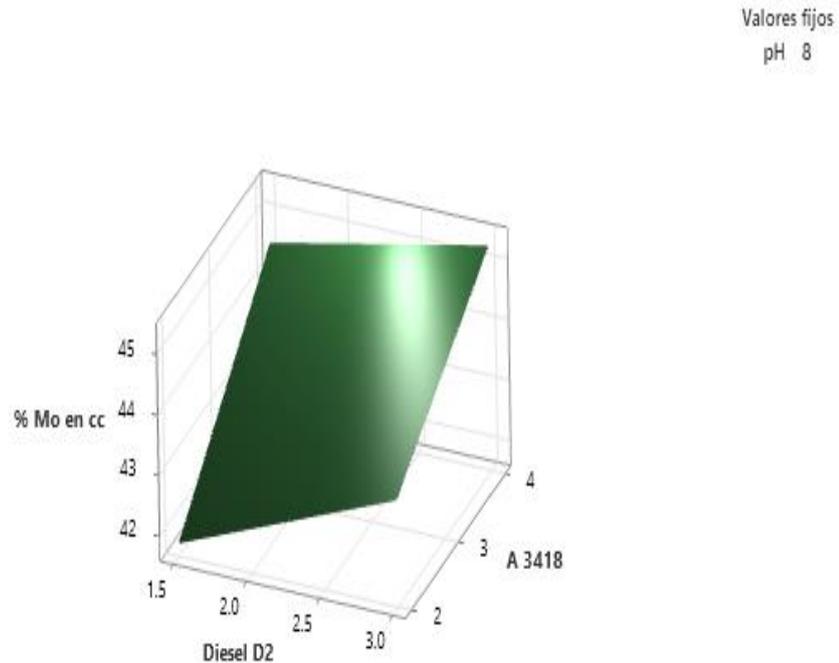


Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

k) Superficie de respuesta en la concentración del molibdeno

Figura 23 Superficie de respuesta de la concentración del molibdeno versus Diesel D-2 y A3418

Gráfica de superficie de % Mo en cc vs. A 3418; Diesel D2



Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Primera hipótesis específica

Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio, entonces, influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.

a) Formular la hipótesis de investigación

- H_0 : La determinación del modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio no influye en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023. (**Hipótesis nula**).

- H_a : La determinación del desarrollo del modelo de caracterización metalúrgica de la asociación molibdeno torio influye en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023 (**Hipótesis alterna**).

b) Conclusión

Tratándose de una declaración literal de la influencia de los sulfuros; para esta hipótesis específica, no se considera el tratamiento estadístico; pero por los problemas metalúrgicos que a diario se presenta se concluye que hay evidencia para rechazar la hipótesis nula y afirmar que la presencia de minerales accesorios como pirita, entre otros sulfuros si influye en la flotación de molibdeno.

4.3.2. Segunda hipótesis específica

Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia entonces influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.

a) Formular la hipótesis de investigación

- H_0 : La determinación del rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia no influye en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023 (**hipótesis nula**).
- H_a : La determinación del rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia influye en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío - Huánuco, 2023 (**hipótesis alterna**)

1. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

2. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor <0,05
3. Decisión:

Tabla 18 Prueba de la segunda hipótesis específica

	Establecimiento de los parámetros óptimos de operación
Z	- 2,235
Sig. Asintótica (bilateral)	0,035

Nota: Tratamiento estadístico con Minitab Statistical.

- **Conclusión:**

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que la determinación del rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia influye en la recuperación de molibdeno, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,235.

4.3.3. Hipótesis general

La hipótesis general señala que: si desarrollamos un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio, entonces; influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni Quío – Huánuco, 2023.

Basado en los resultados de las hipótesis específicas es posible validar que la caracterización mineralógica y la obtención del rango óptimo de las variables para la adecuada flotación: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia influye significativamente en la recuperación de molibdeno.

4.4. Discusión de resultados.

- Vergara (2012), concluye: existe una pérdida de molibdeno en los finos de la etapa SCv, debido al aumento de capacidad de las celdas Rougher; por lo que se sugiere realizar estudios de cinética de flotación en la etapa SCv para el Mo, a fin de determinar si un incremento del tiempo de residencia aumenta la recuperación.
- Yañez (2016), después de evaluar las variables que intervienen en la concentración de cobre – molibdeno en la planta concentradora Constancia; concluye: el pH, colector Diesel D – 2 y acondicionador NaSH influyen en la flotación de molibdeno, con recuperaciones que superan el 95%
- En la presente investigación, las recuperaciones a nivel experimental por flotación, no se presentó inconvenientes, debido a que la concentración es solo molibdeno; y los minerales accesorios que lo complementan son silicatos de fácil separación. La adición de los colectores Diesel D-2 y A 3418 a un pH básico adecuado 8,5, alcanza buenas recuperaciones que superan 80%.

CONCLUSIONES

1. Evaluando los resultados de la presente investigación metalúrgica, se concluye que la concentración de molibdeno por flotación, a partir de los minerales existentes en la falla Rondoni, es posible, debido a la fácil separación y la presencia de los minerales accesorios no es inconveniente por ser hidrofóbicos.
2. Existe un cuerpo mineralizado en la falla Rondoni, Ambo; que aflora en superficie con reservas probables de 300 000 toneladas métricas probables, en proceso de explotación, compuesto de plagioclasas, feldespato y óxidos de hierro, donde se encuentra depositado la molibdenita, tal como se observa en el reconocimiento macro y microscópico de las muestras obtenidas, descartándose la presencia de minerales de torio.
3. La variable de mayor influencia para la recuperación de molibdeno por flotación son el pH, seguido del colector A 3418 y complementado con el Diesel D – 2, adicionado desde la etapa de molienda y complementado en las siguientes etapas de acondicionamiento previo a la flotación Rougher y Scavenger, con recuperaciones que superan el 85% y 13:1 de ratio de reducción.

RECOMENDACIONES

- 1.** Desarrollar más pruebas metalúrgicas, aplicando los colectores Diesel D – 2 y A 3418, en forma independiente, como también en sinergia.
- 2.** Evaluar mineralógicamente las muestras que se van obteniendo conforme se profundiza la explotación minera, para considerar posibles modificaciones en las variables de flotación a futuro.
- 3.** Desarrollar mayores estudios para evaluar la granulometría óptima, de recuperación de minerales de molibdeno, para evitar la presencia de los silicatos de dureza y peso específico bajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Bucaramanga: Patria.
- Bell, R. E., & Herfert, R. E. (1957). Preparation and characterization of a new crystalline form of molybdenum disulphide. *American Chemistry Society*, 3351 - 3354.
- Carbajal Fernandez, A. &. (2016). *Sustitución parcial del hidrosulfuro de sodio como depresor de cobre en el proceso de flotación de molibdeno a escala de laboratorio*. Arequipa: UNSA.
- Conejeros, V. (2003). *Procesamiento de minerales*. Antofagasta: Apuntes de clases - Univ. Católica del Norte.
- Fuerstenau, M. a. (2009). *Principles of mineral processing*. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- McClung, C. R. (2016). *Molybdenite polytypism and its implications for processing and recovery: A geometallurgical based case study from Bingham Canyon Mine, Utah*. Utah: Bingham Canyon Mine.
- Navarro, F. (2018). *Flotación del mineral sulfurado de cobre molibdeno en pH alcalino usando agua residual de cerveza*. Santiago de Chile: UTFSM.
- Newberry, R. J., Einaudi, M. T., & Meinert, L. D. (1981). Skarn deposits. *Economic Geology, 75th Anniversary*, 317 - 391.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Lima: Universitaria.
- Paez, O. (2010). *Apuntes de la concentración de minerales I*. Atacama: Universidad de Atacama.
- Varios. (12 de febrero de 2022). www.imoa.com.
- Vergara, D. (2012). *Análisis del comportamiento de la molibdenita en mineral de rajo y subterráneo de Dand*. Valparaiso: PUCV.

ANEXOS

Anexo A: Instrumentos de recolección de datos

Tabla 19 *Prueba de flotación según diseño factorial 1*

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	75	7,80	38,30	28,73	70,93	
Relave	925	92,50	0,72	6,66	16,44	

Tabla 20 *Prueba de flotación según diseño factorial a*

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	60,30	6,03	41,20	24,84	61,34	
Relave	939,70	93,97	0,48	4,51	11,14	

Tabla 21 *Prueba de flotación según diseño factorial b*

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	68,10	6,81	42,20	28,74	70,96	
Relave	931,90	93,19	0,46	4,29	10,58	

Tabla 22 Prueba de flotación según diseño factorial ab

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	75	7,50	46,30	34,73	85,74	
Relave	925	92,50	0,42	3,89	9,59	

Tabla 23 Prueba de flotación según diseño factorial c

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	76	7,60	45,30	34,43	85,01	
Relave	924	92,40	0,42	3,88	9,58	

Tabla 24 Prueba de flotación según diseño factorial ac

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	73	7,30	45,50	33,22	82,01	
Relave	927	92,70	0,43	3,99	9,84	

Tabla 25 Prueba de flotación según diseño factorial bc

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	68	6,80	46,80	31,82	78,58	
Relave	932	93,20	0,56	5,22	12,89	

Tabla 26 Prueba de flotación según diseño factorial abc

Descripción	Peso (Gr)	% peso	Leyes	Contenido metálico		Recuperación
				% Mo	Mo	
Cabeza	1000	100	4,05	40,50	100,00	
Concentrado	75	7,50	44,30	33,23	82,04	
Relave	925	92,50	0,60	5,55	13,70	

ANEXO B: Matriz de consistencia

Tabla 27 Matriz de consistencia

EVALUACIÓN METALÚRGICA DE LA ASOCIACIÓN MOLIBDENO – TORIO Y LA RECUPERACIÓN POR FLOTACIÓN EN LA FALLA RONDONI – QUÍO – HUÁNUCO, 2023			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>General</p> <p>¿Cómo desarrollar la evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni – ¿Quío – Huánuco, 2023?</p>	<p>General</p> <p>Desarrollar un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023.</p>	<p>General</p> <p>Si desarrollamos un modelo de evaluación metalúrgica de la asociación molibdeno torio, entonces; influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Recuperación de molibdeno - torio</p>
<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni – ¿Quío – Huánuco, 2023? • ¿De qué manera las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia influyen en la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, ¿2023? 	<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar el modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio para la recuperación de por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023. • Evaluar las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia que influyen en la asociación molibdeno torio para la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023. 	<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la asociación molibdeno torio, entonces, influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023. • Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: granulometría, colectores, espumantes, tiempo de residencia entonces influirá en la recuperación por flotación en la falla Rondoni – Quío – Huánuco, 2023. 	<p>Independientes</p> <p>Evaluación metalúrgica de sulfuros</p>

Anexo C: trabajo desarrollado

Figura 24 *Pruebas de flotación*



Figura 25 *Pruebas de flotación 2*



Figura 26 *Molienda del mineral*

