

I. Título

Concentración de óxido de litio por proceso de flotación a partir de mineral proveniente del yacimiento Falchani Macusani - Puno

II. Resumen del proyecto

El yacimiento de litio se encuentra ubicado en el Distrito de Macusani, Provincia de Carabaya Departamento de Puno lugar denominado Falchani. Este yacimiento fue descubierto en el año 2017 por la Empresa Canadiense Macusani Yellow Cake. El litio está presente en forma de mineral en roca volcánica asociado con uranio. Por ser un mineral nuevo en el Perú no cuenta con estudios de tratamiento de minerales de litio. Hoy en día, existen muchas expectativas acerca del litio para lograr una solución más limpia y sostenible en materia de energía, debido al uso de baterías de litio para automóviles eléctricos y almacenamiento de energía. El litio se puede obtener a partir de minerales como espodumeno, petalita, lepidolita, amblygonita, Zinnwaldita, eucryptita y arcilla sedimentaria. En el presente trabajo de investigación se obtendrá el concentrado de óxido de litio por flotación del yacimiento Macusani - Puno. El mineral será molido hasta 70% menos malla 200. posteriormente se caracterizará por método ICP y difracción de rayos X (DRX). Se aplicará diseño Plaket-Burman con 4 variables independientes: dosificación del colector, pH de la pulpa, dosificación de espumante y el tiempo de flotación. El mineral de litio se concentrará por flotación para obtener un concentrado de 4% a 5% de óxido de litio a partir de mineral de baja ley (0.67% Li_2O). Los reactivos como el ácido oleico, el oleato de sodio, los ácidos grasos sulfonados y fosforados se utilizarán como colectores y espumantes. Se pretende lograr recuperaciones de mineral lepidolita de litio superiores al 90% utilizando una celda de flotación de laboratorio con una capacidad de 250 L. Las pruebas de flotación se realizarán en el laboratorio de concentración de minerales de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

III. Palabras claves

Concentrado, colectores, espumantes, flotación, pH, mineral de litio.

IV. Justificación del proyecto

El yacimiento de litio se encuentra ubicado en el Distrito de Macusani, Provincia de Carabaya Departamento de Puno lugar denominado Falchani. Este yacimiento fue descubierto en el año 2017 por la Empresa Canadiense Macusani Yellow Cake. El litio está presente en forma de mineral en roca volcánica asociado con uranio. Por ser un mineral nuevo en el Perú no cuenta con estudios de tratamiento de minerales de litio. El litio (Li) es el vigésimo quinto elemento más abundante en la corteza terrestre y es el tercer elemento de la tabla periódica. Es el más ligero de todos los elementos sólidos ($d = 0,53 \text{ g/cm}^3$ a 20°C), el radio iónico más pequeño de todos los metales alcalinos, tiene una densidad de energía muy alta por peso (100-265 Wh/Kg), y un alto potencial electroquímico (3.045 V). Debido a estas propiedades físicas únicas el litio es uno de los metales más requeridos en la industria moderna. Sus usos van desde la farmacia con fármacos para el tratamiento del trastorno bipolar a base de litio hasta la aeronáutica con aleaciones ligeras de aluminio/litio. El carbonato de litio es un importante compuesto de litio para la fabricación de cátodos LIB y también se puede utilizar para otras aplicaciones industriales, como vidrio, adhesivos y lubricantes. El uso más importante hoy en día son las baterías de iones de litio (LiB).

Según estudios de análisis por métodos de espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) el mineral presenta baja ley en litio (0.67% Li_2O) en comparación con otros minerales en roca (2 a 3% Li_2O) en el mundo. Con esta ley no es técnicamente factible extraer litio por lixiviación, por lo que se requiere concentrar por flotación a fin de elevar la ley de litio hasta 4 a 5% de Li_2O .

V. Antecedentes del proyecto

Chengyang et al. (2022) se estudiaron la influencia de diferentes tamaños de partícula en la separación por flotación de la caolinita y el cuarzo, calculando los parámetros característicos como K, R, Km, SI y SE, donde los resultados muestran que el oleato de sodio, la caolinita tiene una mejor flotabilidad en condiciones neutras y mientras el cuarzo tiene una mejor flotabilidad a pH 12; Ca^{+2} tiene poco efecto sobre la flotabilidad de la caolinita pero en cambio a la caolinita inhibe la flotabilidad del cuarzo en condiciones ácidas y alcalinas; la máxima eficiencia de separación del mineral mezclado con un tamaño de partícula fue de

0.125 – 0.075 mm fue del 71.88% la recuperación de caolinita en el concentrado y del 84.97% la recuperación del cuarzo.

Wei et al. (2021) estudiaron el mecanismo de co-adsorción selectiva de un nuevo colector mixto en la separación por flotación de lepidolita del cuarzo; donde los experimentos de micro flotación muestran que la separación selectiva de la lepidolita y el cuarzo no se puede lograr bajo la condición de un solo colector SOL en condiciones de pH neutro, pero la separación por flotación de dos minerales se pudo lograr utilizando el colector mixto a un pH de 7; la proporción óptima de SOL a DDA en el colector mixto fue de 4:1; los experimentos del ángulo de contacto muestran que el ángulo de contacto de la lepidolita era mucho mayor que el cuarzo bajo la condición del colector combinado; los experimentos del potencial zeta muestran que los colectores mixtos tenían una co-adsorción más fuerte en la superficie de la lepidolita que en el cuarzo.

Huang et al. (2021) investigaron la separación por flotación de espumas del mineral de lepidolita usando el colector surfactante Gemini; donde realizaron los experimentos óptimos en un pH 3, la dosificación del coagulante de HBDB Y DA es de 150/300 g/ton; los experimentos de flotación se realizaron en un reactor.

Xie et al. (2020) investigaron la flotación del espodumeno; donde revisaron diversas investigaciones con la flotación del espodumeno, estudiaron las características químicas de la superficie de la espodumena cambia de acuerdo a la reducción de su tamaño, la disolución de la superficie y su forma; los iones metálicos como Fe^{+3} , Ca^{+2} y Mg^{+2} fortalece el comportamiento de la flotación usan oleato de sodio (NaOL) u oleato de sodio/dodecilamina (NaOL/DDA) como colector.

Huang et al. (2020) realizaron el reciclaje de la lepidolita de los relaves mineros de tantalio – niobio por un proceso combinado de flotación magnética utilizando un nuevo colector Gemini Surfactante: de las represas de relaves de litio; donde sintetizó un nuevo tensioactivo Gemini basado en amina, butanodiil y bromuro de dimetildodecilamonio se introduce a bajas temperaturas, la recuperación de Li_2O del concentrado de lepidolita con 80 g/ton BDB fue de 10.96% y un 31.85% mayor que con 160 g/ton DA a 298 y 275 K, respectivamente, lo que indicó que BDB es un mejor colector para la lepidolita que DA; BDB es un colector novedoso y superior para la eliminación de estanques de relaves de lepidolita.

Sousa et al. (2019) realizaron la flotación de los minerales de litio para obtener una

concentración alta de Li_2O ; donde identificaron las inclusiones finas del cuarzo y albita encerradas en silicato de litio, lo que justifica la limitación para la tecnología del procesamiento; con un tamaño de partícula <0.075 mm, disminuye la eficiencia de flotación y arrastre de partículas muy finas, lo que descartaría este grado de finura de molienda; el método de trituración sería la técnica de electro fragmentación podría ser una solución potencial para este problema.

Tadesse et al. (2019) efectuaron una revisión bibliográfica de las reservas de pegmatita de litio, donde las pegmatitas son rocas ígneas que están compuesto de granos de cuarzo, feldespato, espodumeno, mica y entre otros, donde los minerales de pegmatitas de litio son: espodumeno, petalita, lepidolita, ambligonita, zinwaldita y eucryptita; Donde el principal método de extracción es la flotación. Analizaron los siguientes parámetros: la química superficial del mineral, el tipo de colector, pH de la pulpa, pre tratamientos químicos, y de la presencia de arcillas.

Vieceli et al. (2016) investigaron el estudio cinético de la flotación por espuma aplicada al mineral de lepidolita. Donde establecieron un diseño factorial de experimentos de flotación por lotes, un conjunto de pruebas cinéticas para determinar el colector alternativo más selectivo. En un rango de pH de la pulpa 2, dosificación del colector 479 g/ton y el tiempo de flotación en 12 min. Los colectores (Aeromine 3000C y Armeen 12D) proporcionaron la eficiencia de separación (SE) en el valor máximo 91.51%; utilizando el modelo de segundo orden para los criterios de separación.

Bu et al. (2016) realizaron el modelo cinético y optimización del proceso de flotación en una columna de flotación ciclónica de microburbujas usando metodología de diseño central compuesto; tomaron 30 lotes de diferente concentración de pulpa, dosificaron con los espumantes, la concentración de flujo de la pulpa y la profundidad del espumante. Observaron el tiempo máximo de flotación. Utilizaron el análisis estadístico el modelo Kelsall donde optimizaron con este modelo para el proceso de flotación, donde las variables de flotación se optimizaron $R^2=0.9971$.

He et al. (2013) aplicaron la combinación del colector en el proceso de la flotación de la lepidolita; donde se utilizó el colector LZ-00 para la flotación de la lepidolita y su dosificación del colector es de una relación de 360 g/ton en una celda circular cerrada con una concentración de lepidolita de 4.12% y mejoro a 70,37% de Li_2O .

VI. Hipótesis del trabajo

Es factible obtener concentrados de óxido de litio por flotación a partir de minerales de baja ley provenientes de la zona de Macusani – Puno.

VII. Objetivo general

Obtener concentrados de óxido de litio por flotación a partir de minerales de baja ley provenientes del yacimiento Macusani – Puno.

VIII. Objetivos específicos

- Caracterizar el mineral de litio
- Determinar los parámetros óptimos de flotación: pH, consumo de colector, consumo de espumante y tiempo de flotación.

IX. Metodología de investigación

Lugar de estudio

El presente estudio se realizará con materia prima proveniente del yacimiento Falchani, Macusani, Provincia de Carabaya, Región de Puno, a 4900 msnm, entre las coordenadas geográficas de 70° 40' 36" de Latitud Sur y 14° 03' 31" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Las coordenadas UTM referenciales son: Este: 319 000 m. Norte: 8 445 000 m. Zona: 19 Datum: PSAD 56

Población

El yacimiento de litio en Puno Perú cuenta con una reserva de 2.5 millones de toneladas, con una ley promedio de 3500 ppm de Li. Este descubrimiento configura un nuevo y complejo panorama geopolítico, económico, social y medioambiental.

Muestra

El mineral de litio se encuentra por debajo de la superficie de la tierra y son extraídos hacia la superficie con maquinarias de minería. Se tomaron muestras aleatoriamente de 20 puntos de minerales extraídos y acumulados, de cada punto de muestreo se recogieron 1 kg de mineral, haciendo un total de 20 kg, estos minerales fueron utilizados para análisis químico y proceso de extracción de litio.

Caracterización del mineral de litio

Se caracterizará el mineral de litio mediante Difracción de Rayos X (DRX) y espectroscopía

de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP).

Celda de flotación de laboratorio modelo CF12-L



La Celda de flotación de laboratorio permite realizar todos los procesos de concentración de minerales, con alta eficiencia y repetitividad, registrando la información del todo el proceso, otorgando altísima fiabilidad a los experimentos para su posterior escalamiento. Cuenta con un variador electrónico de velocidad que permite regular la velocidad de giro a voluntad, medidor de flujo de aire digital, celdas impelerles, y demás accesorios haciendo del equipo el más versátil de su gama.

El equipo de flotación consiste de un regulador de temperatura, un reactor enchaquetado,

burbujeo de aire, agitador, sensor de temperatura, tapa del reactor con perforaciones, motor del agitador, almacén de aire, almacén de bomba de aire y controlador de las revoluciones del motor.

Especificaciones técnicas del equipo de flotación

- Control de velocidad electrónico
- Eje de acero inoxidable con rodamientos antifricción.
- Stand pipe de acero inoxidable con válvula de control de aire.
- Mecanismo soportado por medio de sistema piñón cremallera.
- Resorte balanceado.
- Fijación en cualquier posición deseada.
- 4 celdas de acero inoxidable 250, 500, 100, 2000
- 1 tanque acrílico 1000
- Impeler abierto removible 2-7/8 de poliuretano
- Impeler cerrado removible 2-7/8 de poliuretano
- Impeler abierto removible 3-3/8 de poliuretano
- Placa vanning
- 2 collares de recirculación grande, pequeño
- Tacómetro permanente
- Sensor de pH integrado
- Magneto
- 01 kit de agitación, scrubbing
- PLC de control de todos los parámetros de operación
- Sistema de registro de información y gestión, datalogguer.
- Software de transferencia y adquisición de datos.
- Caudalímetro con lectura directa y registro
- Puerto USB
- Accesorio paleteador automático controlado desde el PLC que le permite uniformidad en la extracción de muestras y puede ser montado en cualquier celda suministrada.

Proceso de flotación de mineral de litio

El proceso de flotación contempla la presencia de tres fases: sólido (mineral), líquida (agua) y gaseosa (aire). Una vez ingresada la pulpa al proceso, se inyecta el aire para poder formar las burbujas, que es la base sobre la cual se adhieren las partículas sólidas. Para lograr una buena concentración se requiere que las minerales objetivo que constituyen la mena tengan un tamaño óptimo para su separación lo cual se logra en las etapas previas de trituración y molienda. Para la mayoría de los minerales, un adecuado grado de liberación se alcanza moliendo a tamaños cercanos a los 100 micrones (0,1 mm). Al aumentar el tamaño de la

partícula, crecen las posibilidades de mala adherencia a la burbuja; en tanto que partículas demasiado finas no tienen el suficiente impulso para producir un encuentro efectivo partícula-burbuja.

Diseño experimental

Se aplicará el diseño factorial Blaket-Burman con 4 variables de proceso. Los factores serán el pH de la pulpa (X_1), dosificación del colector (X_2), dosificación de espumante (X_3) y el tiempo de flotación (X_4).

Modelo matemático:

$$Y = a + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$$

Donde:

A = Coeficiente de la ecuación

a_1 = Efecto el i-ésimo nivel de pH de la solución

a_2 = Efecto el j-ésimo nivel de dosificación del colector

a_3 = Efecto el k-ésimo nivel de tiempo de flotación

a_4 = Efecto el k-ésimo nivel de dosificación de espumante

X. Referencias

Bu, Xiangning; Xie, Guangyuan; Peng, Yaoli; & Chen, Yuran. (2016). Modelo Cinético y optimización del proceso de flotación en columna ciclónica de microburbujas. Revista Internacional de procesamiento de minerales, 157, 175-183.

He Guichun, Feng Jinni, Mao Meixin & Wu Yipeng, (2013). Aplicación de colectores combinados en flotación de lepidolita. Investigación de Materiales Avanzado, Vols 734 – 737, pp 921 – 924.

Huang Zhiqiang, Zhang Shiyong, Cheng Chen, Wang Hongling, Liu Rukuan, Hu Yajing, He Guichun, Yu Xinyang & Fu Weng, (2020). Reciclaje de lepidolita a partir de relaves de mina de tantalio y niobio mediante un proceso combinado de flotación magnética utilizando un novedoso surfactante Gemini: desde presas de relaves hasta la materia prima “Bling” de litio. ACS Química e ingeniería sostenibles, volumen 8, 18206 – 18214.

Sousa Rui, Ramos Violeta, Guedes Alexandra, Botelho de Sousa Ana, Noronha Fernando, Machado Leite Mario (2019). Flotación de minerales de litio para la obtención de concentrados de Li_2O de alta ley. ¿existen limitaciones mineralógicas? Revista internacional de materiales e ingeniería metalúrgica (IJMMME), Volumen 5, 7 – 18.

USGS. (2022). Mineral Commodity Summaries: Lithium. U.S. Geological Survey, (703) 648 - 4908.

Vieceli, N., Nogueira, Durão, Fernando O., Guimarães, Carlos, Nogueira, Carlos A., Pereira, Manuel F. C., & Margarido, Fernanda. (2016). Modelo de recuperación de ley y optimización del proceso de flotación de espuma del mineral de lepidolita, Revista internacional de procesamiento de minerales, 175, 1-30.

W. Qian, F. Liqin, D. Lluayang, J. Fen y Q. Wenqing, (2021) Mecanismo de co-adsorción selectiva de un nuevo colector mixto en la separación por flotación de lepidolita del cuarzo, coloides superficiales A: Aspectos Fisicoquímicos y de Ingeniería, 612, 125973.

Xie Ruiqi, Zhu Yimin, Liu Jie, Li Yanjun, Wang. Xun & Shumin. Zhang (2020). Estado de investigación de la flotación de espodumeno: una revisión. Revisión de procesamiento de minerales y metalurgia extractiva, 1080,1776278.

Z. Huang, S. Shuai, H. Wang, R. Liu, S. Zhang, C. Cheng, Y. Hu, X. Yu, G. He, W. Fu, (2021) separación por flotación de espuma del mineral de lepidolita usando un nuevo surfactante Gemini como colector de flotación, tecnología de separación y purificación, S1383-5866(21)00832-7.

Zhou Chengyang, Liu Lingyun, Chen Jun, Min Fanfei & Lu Fangqin (2022). Estudio de la influencia del tamaño de partícula en la separación por flotación de caolinita y cuarzo, tecnología de separación y purificación, S1383-5866(21)00832-7.

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Los resultados de investigación permitirán diseñar una tecnología cercanamente real para

obtener concentrados de óxido de litio a partir de mineral de baja ley en litio y los parámetros óptimos de flotación. Además, contribuirá en la mejora de recuperación de litio y pasar a escala industrial.

XII. Impactos esperados

i. Impacto en ciencia y tecnología

Los resultados de investigación servirán como nueva tecnología para el tratamiento de minerales de litio en la Región de Puno.

ii. Impactos económicos

La minería genera regalías para el desarrollo económico del país

iii. Impactos sociales

La minería genera puestos de trabajo para los pobladores de la zona y profesionales en distintas especialidades.

iv. Impactos ambientales

Para minimizar los impactos ambientales se debe realizar el estudio de impacto ambiental y utilizar una tecnología amigable al medio ambiente.

XIII. Recursos necesarios

Infraestructura

La experimentación se realizará en el laboratorio de concentración de minerales de la EPIM de la UNA de Puno.

Equipos

- Equipo de celda de flotación
- Chancadora primaria
- Pulverizador de anillos
- pH metro
- Balanza analítica
- Tamiz
- Bomba al vacío
- Estufa eléctrica

Materiales y reactivos

- Mineral de litio

- Espumante
- Colectores
- Cal
- Agua destilada
- Papel filtro
- Fiolas
- Pipetas
- Equipos de protección personal

XIV. Localización del proyecto

El yacimiento de mineral de litio está ubicado en el distrito de Macusani de la provincia de Carabaya en el departamento de Puno a 4764 m.s.n.m. Los ensayos de flotación se desarrollarán en el laboratorio de concentración de minerales EPIM de la UNA de Puno y el análisis químico en Laboratorio acreditado de Certimin Lima Perú.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres 2023											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Revisión bibliográfica	X	X	X	X								
Adquisición y caracterización de mineral de litio			X	X	X							
Flotación de mineral						X	X	X	X			
Procesamiento de datos									X	X		
Procesamiento de datos y redacción de manuscrito									X	X	X	
Publicación de artículo científico												X

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Adquisición de mineral de litio	Kg	100	10	1000
Equipo de	Unidad	6000	1	6000

flotación				
Análisis químico de litio por ICP-OES	Unidad	400	20	8000
Análisis por Difracción de Rayos X y FRX	Unidad	1000	1	1000
Reactivos colectores	Kg	400	3	1200
Reactivos espumantes	Kg	300	3	900
Reactivos modificadores	Kg	300	3	900
Uso de laboratorio	Unidad	500	1	500
Internet y adquisición de artículos científicos	Unidad	100	10	1000
total				S/. 20500.00