

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“AVANCES EN SISTEMAS DE FLOTACIÓN EN ETAPA ROUGHER PARA LA RECUPERACIÓN DE MINERAL”: una revisión de la literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Burga Paisig, Víctor

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico:

A mis padres, que gracias a sus
sabias enseñanzas y ejemplo me
formaron con los valores y
principios morales necesarios
para triunfar en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a
Dios por brindarme vida y salud para
poder cumplir mis metas y seguir
superándome en el ámbito profesional;
luego a mi familia que son el pilar
fundamental en mi vida, y finalmente a
mis docentes, quienes me impulsaron y
brindaron las herramientas necesarias
para alcanzar mis objetivos propuestos
en lo académico.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	13
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	19
REFERENCIAS	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	11
Tabla 2	13
Tabla 3	13
Tabla 4	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de agrupación de los estudios elegidos, la extracción de datos y generación de resultados para la presente revisión sistemática.	15
---	----

RESUMEN

El presente trabajo investigación teórica se enfoca en los avances en sistemas de flotación de mineral en etapa rougher, tema que se ha vuelto de suma relevancia en minería ya que permite la recuperación de mineral y por ende incrementa la producción y rentabilidad. El presente estudio tiene como objetivo analizar y dar a conocer el estado de arte acerca de los sistemas de flotación de minerales en la etapa rougher; para ello, se ha realizado una revisión sistemática de 13 artículos científicos obtenidos de fuentes como Redalyc, Scielo y Google Académico; de los cuales ocho son del tipo revisión sistemática, tres artículos empíricos y dos tesis, con una antigüedad no mayor de 15 años; una limitante para esta investigación fue la falta de estudios empíricos debido al elevado costo que implica su realización. Luego de realizar la revisión sistemática de los artículos antes mencionados se obtuvo como resultados que en los últimos años se han dado avances a pasos agigantados en cuanto a la creación e innovación de sistemas de flotación de mineral en etapa rougher, esto debido al impacto positivo que genera en la rentabilidad del proceso ya que permite un alto porcentaje de recuperación de mineral.

PALABRAS CLAVES:

Procesos de flotación de mineral, etapa rougher, flotación de mineral.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los avances e innovaciones en el sector minero han venido tomando cada vez mayor relevancia debido al gran crecimiento del mismo y a la rentabilidad económica que genera. Entre estos avances, los nuevos sistemas o tipos de flotación de partículas gruesas (mayores a 150 μm y hasta 850 μm) es uno de los más relevantes.

(SUÁREZ, GARCÍA, & AMARIZ, 2005) que realizaron una revisión sistemática en el tema en mención nos dicen que, desde la invención de los sistemas de flotación y su aplicación de los mismos en plantas de producción de minerales, ha sido de vital importancia conocer los mecanismos y variables de su operación debido a que al mejorar la eficiencia de selección y floculación de mineral se incrementa notablemente la producción y ganancias en el sector minero.

Además de ello, en los últimos años se ha venido dando un desarrollo notable en los sistemas de flotación, con lo cual se ha incrementado la aplicación de las columnas de flotación en diversas industrias, esto debido a que mencionado sistema es mucho más atractivo en procesos de flotación que constan de varias etapas debido a su diferencia en diseño y operación con respecto a una celda convencional. Cabe resaltar que una columna de flotación es capaz de reemplazar varias celdas de flotación, lo cual genera un sistema más simple y de fácil control (Piñeres, Barraza, Solarte, Orozco, & Colon, 2012).

Perú es uno de los principales productores de minerales en el mundo, y es por ello que en la actualidad la producción de minerales, su estudio e investigaciones son de vital importancia, lo cual genera que el procesamiento de minerales y la complejidad de los mismos se vuelva muy relevante en la actualidad y respecto a ello tenemos: "La mayoría de minerales principalmente complejos o de difícil tratamiento metalúrgico, es el caso de la mayoría de minerales en el Perú" (Azañero Ortiz, y otros, 2009, p. 83).

Por otro lado, los avances en los sistemas de flotación son importantes en la actualidad debido a su alto nivel de aplicación en los procesos de producción de minerales, respecto a ello tenemos que “La mayor fuente de abastecimiento de cobre a nivel mundial proviene de los procesos de flotación, se estima que más del 82% de la producción primaria proviene de mecanismos de concentración por flotación” (Concha, Wasmund, & Michael, 2018, p. 39).

Respecto a la etapa del proceso de flotación denominada como rougher se sabe que en mencionada etapa el mineral en flotación es grueso, lo cual implica lograr concentrar material de esas características y así moler material más grueso, lo cual genera un importante ahorro de energía, impactando positivamente en la rentabilidad de la operación del proceso (Concha, Wasmund, & Michael, 2018).

Entonces la pregunta de investigación de la presente revisión de literatura científica es: ¿Cuáles son los últimos avances e innovaciones en sistemas de flotación de minerales en la etapa de rougher? Por lo cual el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar y dar a conocer el estado de arte acerca de los sistemas de flotación de minerales en la etapa rougher.

Para poder lograr lo antes mencionado se plantea realizar una revisión sistemática de artículos científicos y empíricos relacionados al tema en investigación que sean de actualidad y permitan conocer los últimos avances y estudios realizados respecto al tema en estudio y así asegurar brindar información actual y reflejar el estado de arte de los sistemas de flotación de minerales en la etapa de rougher.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación teórica es del tipo revisión sistemática de la literatura científica, a la cual (Moreno, Muñoz, Cuellar, Domancic, & Villanueva, 2018) definen como un resumen claro y estructurado de la información científica disponible orientada a responder una pregunta específica de investigación, además se caracterizan por tener y describir el proceso de elaboración comprensible de recolección, selección, análisis y resumen de la información científica disponible.

Al momento de iniciar la búsqueda de información se tuvieron criterios de inclusión como la antigüedad de los artículos, la cual fue de 15 años como máximo; además, la calidad y confiabilidad del artículo científico, la cual se aseguró usando fuentes de información confiables.

Otro criterio usado fue el idioma de publicación del artículo, tomando en cuenta solo artículos en español e inglés por ser idiomas de dominio y en los que más investigaciones se publican; finalmente se tuvo en cuenta la relación directa de los artículos con el tema de investigación de la presente revisión sistemática.

Las fuentes de información para la obtención de la literatura científica usada para la elaboración de la presente revisión sistemática fueron los motores de búsqueda siguientes: Redalyc, Scielo y Google Académico. El número total de artículos encontrados en los buscadores antes mencionados fue de 418 artículos, de los cuales 258 fueron encontrados en Redalyc, 112 en Scielo y 48 en Google Académico, con lo cual se llegó a un total de 13 artículos seleccionados, 9, 3 y 1 respectivamente; teniendo en cuenta los criterios de inclusión anteriormente mencionados.

Cabe resaltar que para el descarte de estudios se aplicó los filtros que los motores de búsqueda nos permiten aplicar, tales como el año de publicación (desde el 2004 a la actualidad), tipo de artículo, idioma (español e inglés), disciplina (ingeniería), y ya una vez descargados se procedió a dar una breve lectura del resumen y así poder asegurarnos que tengan relación con el tema de investigación en estudio.

La búsqueda de información se realizó usando las palabras clave siguientes: Procesos de flotación de mineral, etapa rougher y flotación de mineral. Una vez seleccionados los artículos, se procedió a aplicar las herramientas de una revisión sistemática para clasificar los estudios y extraer lo más importante de cada uno de ellos, lo cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación y resultados de los artículos seleccionados más relevantes.

TITULO DEL ARTICULO - AÑO DE PUBLICACIÓN	NOMBRE DE LA REVISTA	TIPO DE ESTUDIO	RESULTADOS
Estudios de flotación no convencional de partículas finas de sulfuros de cobre y molibdeno - 2008	Revista de la Facultad de Ingeniería.	Revisión Sistemática.	En cualquier sistema de flotación existe un tamaño y una distribución de tamaño de burbujas óptimas, donde la "captura" de partículas por burbujas es máxima. Por lo tanto, si se tiene una distribución granulométrica amplia de partículas de valor (F-UF + medianas + gruesas), teóricamente se debería disponer de una correspondiente distribución (amplia) de tamaño de burbujas (mejor con finas y medianas) [2, 5, 6].
Utilización de estudios de potencial zeta en el desarrollo de un proceso alternativo de flotación de mineral feldespático - 2007	Dyna	Revisión Sistemática.	Como parte de los análisis requeridos con el fin de desarrollar nuevas estrategias de flotación se encuentra que el estudio de las propiedades superficiales de los diferentes minerales en contacto con los reactivos en medio acuoso, generan teorías sostenibles sobre la humectabilidad de minerales.
Uso de biosólidos como reactivo espumante en procesos de flotación: caracterización física y química - 2011	Dyna	Revisión Sistemática.	La principal tecnología de alta escala para obtener concentrados de cobre a partir de minerales sulfurados, es la flotación espumosa. La flotación espumosa emplea diversos reactivos químicos, clasificados como reactivos colectores, depresantes, activadores, modificadores y espumantes, útiles para incrementar el rendimiento y la selectividad del proceso.

Control predictivo de un circuito de flotación rougher considerando estimación de leyes en celdas intermedias - 2011	Dyna	Revisión Sistemática.	Rougher flotation is the first stage in the concentration of low grade minerals and its goal is to maximize recovery, keeping the concentrate grade within acceptable ranges. Good control at this stage is important because it directly affects the performance of the concentrate operation, and small increases of even 0.5% recovery in rougher flotation result in significant economic benefit.
Flotación en columna como técnica de beneficio para minerales finos - 2005	Tecnura	Revisión Sistemática.	La flotación en columna es una técnica atractiva para minerales complejos que presentan problemas de selectividad; con una sola etapa de limpieza, ella permite elevar sustancialmente el grado del concentrado y una mayor recuperación.
Cinética de flotación de la materia orgánica en carbones del Cerrejón (Guajira) utilizando una columna de flotación - 2012	Ingeniería y Competitividad	Revisión Sistemática.	Actualmente, las columnas de flotación son ampliamente utilizadas en los procesos de limpieza de carbón, basándose principalmente en las diferencias de las propiedades superficiales de sus componentes.
Estudio de la cinética y el mecanismo de floculación en los minerales lateríticos - 2012	Tecnología Química	Revisión Sistemática.	Los problemas de sedimentación de los minerales lateríticos cubanos, ha sido ampliamente estudiado por diferentes investigadores con la finalidad de alcanzar suspensiones más densas, mejor separación sólido-líquido y eliminar las denominadas crisis de sedimentación que provocan dificultades tecnológicas e incremento de las pérdidas en la extracción del níquel y el cobalto.
Desulfuración de relave mediante la flotación de sulfuros de hierro - 2015	HOLOS	Revisión Sistemática.	En Chile la minería se desarrolla principalmente en la concentración de cobre, molibdeno, oro y plata, mediante el proceso de flotación.
Avances en flotación columnar - 2009	Ingeniería Metalúrgica	Revisión Sistemática.	Los canadienses Pierre Boutin, Remy Tremblay y Don Wheeler introdujeron el concepto de celda columna los primeros años de la década del 60 con el objeto de procesar minerales finos y aplicarlos en las etapas de limpieza de los circuitos de flotación; con cierta cautela, varias compañías mineras productoras de cobre y molibdeno lo adoptaron para la etapa de separación y limpieza con resultados muy alentadores, y posteriormente se probó en las etapas de relimpieza y rougher, en algunos casos con éxito, como por ejemplo, con plomo, zinc, oro y carbón.
Flotación de partículas gruesas aplicada a minerales sulfurados de cobre - 2018	Técnico Científica.	Revisión Sistemática.	En el país las últimas plantas fueron diseñadas para tener capacidades de procesamiento mayores a las 70 ktpd, y hasta 240 ktpd. Proyectos de estas magnitudes, también han traído a discusión si existen nuevos procesos, y/o tecnologías, etc. que permitan optimizar su rentabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Luego de realizar la búsqueda, selección y descarga de los artículos a utilizar para dar respuesta a la pregunta de investigación de la presente revisión sistemática, se han obtenido trece (13) artículos los cuales se clasifican según fuente de información de la cual fueron obtenidos, país de origen y año de publicación de cada uno, tal como se detalla a continuación:

Tabla 2

Artículos clasificados según fuente de información.

FUENTE DE INFORMACIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
REDALYC	9	69%
SCIELO	3	23%
GOOGLE ACADEMICO	1	8%

La fuente de información donde se encontró la mayor cantidad de artículos fue Redalyc con 9 artículos que representan el 69 % del total; en cambio, el Google Académico es la fuente de información que menos artículos proporciono, solo 1, que representa el 8 % del total.

Tabla 3

Artículos clasificados según su país de origen.

PAIS DE ORIGEN	CANTIDAD	PORCENTAJE
COLOMBIA	5	38%
MÉXICO	1	8%
PERÚ	4	31%
BRASIL	1	8%
CUBA	1	8%
BOLIVIA	1	8%

Los países de origen que mayor cantidad de artículos han brindado son Colombia y Perú con 5 y 4 artículos que representan el 38 y 31 % del total respectivamente. Los artículos restantes son originarios de los países de México, Brasil, Cuba y Bolivia que representan un 8 % cada uno del total de artículos.

Tabla 4

Artículos clasificados según su año de publicación.

AÑO DE PUBLICACIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
2018	1	8%
2016	1	8%
2015	3	23%
2012	4	31%
2011	2	15%
2009	1	8%
2005	1	8%

Los artículos seleccionados fueron publicados entre los años 2005 al 2018, siendo el 2012 el año en el que la mayor cantidad de artículos se han publicado, 4 en total, que representan el 31 % del total.

Luego se procedió a analizar y extraer lo más importante de cada uno de los trece artículos seleccionados anteriormente, siempre teniendo en cuenta que con cada aportación se busca dar respuesta a la pregunta de investigación de la presente revisión sistemática, para así mostrar el estado de arte del tema en estudio.

Para ello, se procedió de la siguiente manera; en primer lugar, se agruparon los archivos según su tipo de estudio, dividiéndolos en artículos netamente del tipo revisiones sistemáticas, artículos empíricos y tesis; una vez clasificados según el criterio antes mencionado se procedió a dar lectura a cada uno de ellos y extraer sus aportaciones más relevantes y cercanas a nuestro tema de estudio.

La generación de resultados se realizó siguiendo los procedimientos que enmarca una revisión sistemática, y de esta manera se analiza y describe el verdadero estado de arte de los sistemas de flotación de minerales en etapa rougher. Para una mayor comprensión de proceso anteriormente descrito se elaboró la siguiente figura:

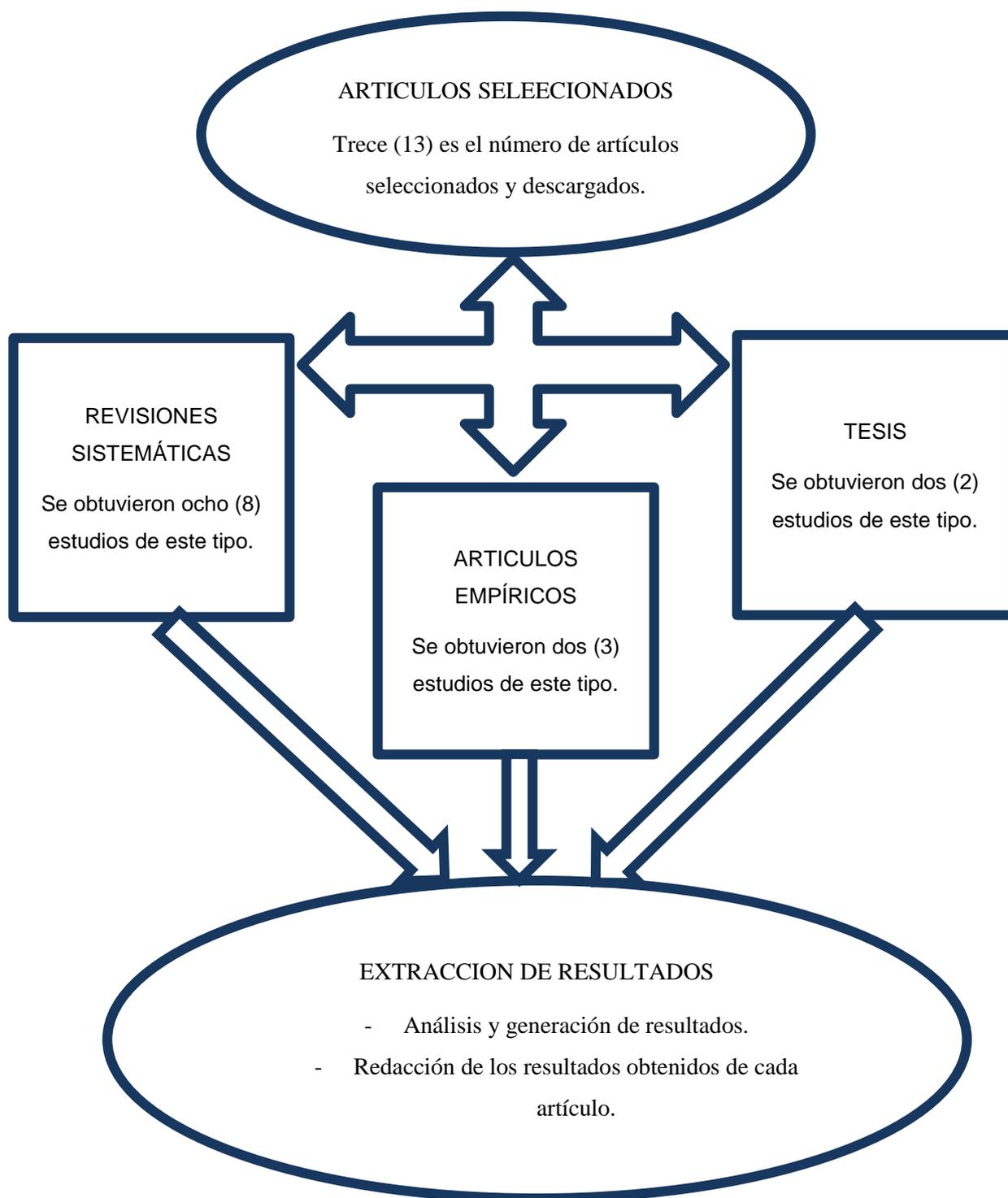


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de agrupación de los estudios elegidos, la extracción de datos y generación de resultados para la presente revisión sistemática.

Con el proceso descrito anteriormente finalizado, se procedió a plasmar los resultados de esta revisión sistemática y poder así responder la pregunta de investigación planteada anteriormente; (Concha, Wasmund, & Michael, 2018) nos dicen que en la última década se ha venido desarrollando la flotación de partículas gruesas (FPG – flotación en etapa rougher), esto debido a que la industria minera viene innovando constantemente frente a la necesidad de desarrollar proyectos económicamente rentables o elevar la rentabilidad de los ya existentes.

En la etapa rougher el material procesado aún está en partículas referencialmente gruesas, por ello la aplicación de un proceso de flotación en esta etapa brinda muchas ventajas y permite optimizar los procesos de obtención de minerales lo cual da como resultado final una mayor rentabilidad de los proyectos de producción minera; con respecto a ello tenemos:

La FPG presenta una serie de potenciales ventajas para optimizar y volver más rentables los proyectos y operaciones mineras. Si bien es una nueva tecnología para la flotación de minerales sulfurados de cobre, está ya se viene aplicando con éxito por más de 14 años en otras industrias (fosfatos, potasio, etc.), habiéndose validado sus diseños mecánicos, estructurales y de control (Concha, Wasmund, & Michael, 2018, p. 45).

Estos avances actualmente se están dando debido a que la FPG esta siendo analizada por las principales compañías mineras que producen cobre a nivel mundial, sin mencionar las universidades que generan investigación en este campo, sin embargo, es necesario mencionar que este proceso puede aplicarse a otro tipo de mineral o de diferente composición química ya que en unas primeras pruebas se ha obtenido resultados alentadores.

Además, se dice que la flotación de minerales en etapa rougher permite incrementos en la recuperación de mineral, lo cual por más pequeño que sea genera incrementos en la rentabilidad que son muy significativos; por ende, la innovación en la flotación en etapa rougher se vuelve tan importante como su control automático que ya se ha vuelto indispensable en esta área de producción (ROJAS & CIPRIANO, 2011).

En busca de generar una mayor rentabilidad en los procesos de producción minera se ha venido dando diversos modelos o sistemas de flotación de minerales, entre ellos encontramos la columna convencional de flotación, la cual ha venido sufriendo varias modificaciones; este sistema de flotación permite capturar un gran porcentaje de mineral en suspensión, sin embargo, su aplicación solo ha sido exitosa en mineral fino, para materiales gruesos aun presenta deficiencia en su efectividad (SUÁREZ, GARCÍA, & AMARIZ, 2005).

Por otro lado, en la actualidad se tienen diversos modelos o sistemas de flotación de minerales en etapa rougher, esto debido a que en los últimos años se han dado grandes avances e innovaciones en cada estudio que se ha dado en esta área, más aún debido a que el sector minero es uno de los que más rentabilidad a generado en las últimas décadas.

Con respecto a ello, (Azañero, y otros, 2009) nos dicen que el sistema de flotación columnar ha venido incrementando su aceptación en la industria minera debido a que presenta ventajas como bajo costo de instalación y operación, menor ocupación de espacio, menor consumo de reactivos, entre otros; y a pesar de no haber tenido los resultados esperados en flotación en la etapa rougher, en Perú varias compañías mineras lo están implementando y la tendencia es ir perfeccionando el sistema para la aplicación en la etapa rougher ya que para minerales de partículas finas ha dado grandes resultados.

Otro sistema de flotación en etapa rougher son las celdas intermedias, en la cual se han realizado varios trabajos para caracterizar la espuma de concentrado por medio de procesamiento de imágenes para extraer color, velocidad, entre otro, con lo cual se ha mostrado la factibilidad de estimar la ley de concentrado, lo cual representaría un avance en este sistema que permitiría tener controles fijos y lograr una mayor recuperación de partículas de mineral (ROJAS & CIPRIANO, 2011).

Las celdas convencionales presentan deficiencias y restricciones frente a algunos procesos reportados en los relaves, frente a ello se vienen desarrollando mejoras y modificaciones en mencionadas celdas, los cuales ya han dado resultados favorables, tal como se menciona a continuación:

Para superar estas limitaciones, recientemente se ha desarrollado un nuevo tipo de celda de flotación que trabaja bajo el principio de lecho fluidizado. Con este nuevo tipo ha sido posible obtener recuperaciones hasta 93% Cu y 89% Mo cuando se ha flotado un mineral en el rango de 600 μm x 150 μm (Concha, Wasmund, & Michael, 2018, p. 39).

El Perú, al ser uno de los mayores productores de minerales a nivel mundial, es que las investigaciones en el tema en estudio en la presente revisión sistemática están incrementándose notablemente en los últimos años, por otro lado, una de las limitaciones del estudio es la poca literatura científica ya que es un tema que ha venido tomando auge recién en la última década. La tendencia actual del tema en estudio es sin duda el perfeccionamiento de los sistemas de flotación de minerales, su automatización y un tema a estudiar es el control del proceso de estos sistemas como también mejorar la eficiencia de cada uno de los procesos de flotación de minerales.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Discusión

La presente revisión sistemática permite afirmar que, los avances dados en los sistemas de flotación en etapa rougher se vienen dando con gran celeridad en los últimos años, los estudios analizados permiten aseverar que debido al impacto y rentabilidad elevada del sector minero se ha generado el incremento los estudios en temas como el que se estudia en la presente revisión sistemática. Por otro lado, se reafirma la importancia de la recuperación de mineral en la etapa de flotación denominada rougher, ya que permite la recuperación de partículas gruesas, lo cual genera el incremento de mineral para la molienda y optimiza la producción de la planta.

No obstante, una limitante que se encuentra en este tema de estudio es la falta de estudios empíricos en el tema, esto debido a que demanda de un costo elevado y equipos con los que solo cuentan las grandes empresas mineras, lo cual dificulta la profundización y experimentación de mencionado tema.

Lo encontrado en la presente investigación teórica concuerda con las conclusiones de (ROJAS & CIPRIANO, 2011) quienes afirman que la recuperación de mineral en la etapa rougher es de suma importancia ya que permite el más alto porcentaje de material recuperado en el proceso de flotación, lo cual genera un incremento directo en la producción. También se coincide con los resultados expuestos por (Concha, Wasmund, & Michael, 2018) quienes afirman que en los últimos años se ha incrementado el estudio de recuperación de mineral en la etapa rougher, buscando generar proyectos mineros mucho más económicos, y optimizar los ya existentes para obtener de los mismos un incremento considerable en su producción y por ende impactar en su rentabilidad.

Considerando lo antes expuesto, se puede decir que la tendencia actual es la creación, mejora, automatización y control de los sistemas de flotación en etapa rougher como también la mejora en sus diferentes fases del proceso ya que esto conlleva a un incremento considerable tanto en la producción como en la rentabilidad de las empresas mineras.

Conclusiones

Después de analizar y discutir los resultados anteriores se concluye que:

Los avances más relevantes en los sistemas de flotación en etapa de rougher son la creación de nuevos sistemas, como la flotación columnar y la flotación en celdas. Por otro lado, las innovaciones que se vienen dando son principalmente en el perfeccionamiento de mencionados sistemas, por ejemplo, la mejora de las celdas convencionales; como también del tipo de reactivos a utilizar, con lo que se busca mejorar mencionado proceso de flotación y así incrementar la eficiencia del sistema para poder tener una mayor rentabilidad económica en las empresas del sector minero.

REFERENCIAS

- Azañero Ortiz, Á., Núñez Jara, P. A., León Delgado, E., Morales Valencia, M., Jara Izacupe, J., & Luis Rendón López, J. (2009). AVANCES EN FLOTACIÓN COLUMNAR. *Ingeniería Metalúrgica*, 82-90. Recuperado el 19 de abril de 2019
- Concha, J., Wasmund, E., & Michael, J. (2018). Flotación de partículas gruesas aplicada a minerales sulfurados de cobre. *Técnico Científica*, 39-46. Recuperado el 18 de abril de 2019
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista Clínica Piro*, 11(3), 184-186. doi: 10.4067/S0719-01072018000300184
- Piñeres, J., Barraza, J., Solarte, M., Orozco, M., & Colon, P. (2012). Cinética de flotación de la materia orgánica en carbones del Cerrejón (Guajira) utilizando una columna de flotación. *Ingeniería y Competitividad*, 14(2), 103-109. Recuperado el 12 de abril de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291325042006>
- REYES-BOZO, L., HERRERA-URBINA, R., GODOY-FAÚNDEZ, A., SÁEZNAVARRETE, C., HERRERA, M., & GINOCCHIO, R. (2011). USO DE BIOSÓLIDOS COMO REACTIVO ESPUMANTE EN PROCESOS DE FLOTACIÓN: CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA . *Dyna*, 78(167), 66-73. Recuperado el 17 de abril de 2019, de <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622358008>> ISSN 0012-7353
- ROJAS, D., & CIPRIANO, A. (2011). MODEL BASED PREDICTIVE CONTROL OF A ROUGHER FLOTATION CIRCUIT CONSIDERING GRADE ESTIMATION IN INTERMEDIATE CELLS. *Dyna*, 78(166), 29-37. Recuperado el 4 de mayo de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622365004>
- SUÁREZ CÁRDENAS, G. A., GARCÍA RUSSI, E., & AMARIZ BARBOSA, J. J. (2005). Flotación en columna como técnica de beneficio para minerales finos . *Tecnura*, 9(17), 4-15. Recuperado el 18 de abril de 2019, de :<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257021014008>> ISSN 0123-921X