

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERIA METALÚRGICA Y DE
MATERIALES



TESIS

**“COMPARACIÓN DE METODOS PARA LA MEJORA DEL
GRADO DE PLOMO EN EL PROCESAMIENTO DEL MINERAL
PLOMO – ZINC, ENTRE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS Y
EL DE FLOTACIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA
S. A.”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
ORIHUELA NOLASCO, Kevin Richard**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE.
INGENIERO METALURGISTA Y DE MATERIALES**

**PORTADA
HUANCAYO – PERÚ**

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES

Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 El Tambo Huancayo
Ciudad Universitaria - Carretera Central Km. 5

ACTA N° 038-2024-FIMM-UNCP

SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12:00 horas del 30 de diciembre del año dos mil veinticuatro, en la Sala de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, con la presencia de los señores Miembros del Jurado, conformado por los docentes:

Presidente : Dr. Cesar Paul ORTIZ JAHN
Secretario : Ms. Jean Pierre ESPEZA GAVILÁN
Jurado : Dr. Héctor Luis GILBONIO ZARATE
Jurado : Dr. Max Clive ALCANTARA TRUJILLO
Jurado : M.Sc. Raúl Wladimir CARRIÓN CORNEJO

El acto de sustentación de la tesis titulada: "COMPARACIÓN DE METODOS PARA LA MEJORA DEL GRADO DE PLOMO EN EL PROCESAMIENTO DEL MINERAL PLOMO -ZINC ENTRE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS Y EL DE FLOTACIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S. A", se inicia con la lectura de la Resolución N° 038-2024-DFIMM-UNCP, donde indica que el Bachiller: **Kevin Richard ORIHUELA NOLASCO**, se encuentra apto para sustentar su informe de tesis, para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALURGISTA Y DE MATERIALES**.

Hechas las observaciones del caso, una vez realizadas estas, el señor presidente del jurado dispuso que el bachiller expositor abandone la sala para la deliberación del jurado pasándose a la votación secreta, con el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

El presidente, ordenó al sustentante que se sirva pasar al estrado a fin de conocer el resultado, el mismo que fue anunciado por el presidente, quien sugirió continuar con los trámites respectivos para la obtención del título Profesional de Ingeniero Metalurgista y de Materiales.

Dado por concluido el acto de sustentación a las.....*12:00*..... horas del mismo día.

Dr. Cesar Paul ORTIZ JAHN
Presidente

Ms. Jean Pierre ESPEZA GAVILÁN
Secretario

Dr. Héctor Luis GILBONIO ZARATE
Jurado

Dr. Max Clive ALCANTARA TRUJILLO
Jurado

M.Sc. Raúl Wladimir CARRIÓN CORNEJO
Jurado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU
FACULTAD DE INGENIERIA METALURGICA Y DE MATERIALES



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Huancayo, 08 de noviembre del 2024

Oficio N° 056–2024-CPOJ -FIMM

Dr.

JAIME ALFONZO GONZALEZ VIVAS

Director de la Escuela Académico Profesional de la FIMM

Presente.-

**ASUNTO : REMITO INFORME DE ORIGINALIDAD DEL SOFTWARE (TURNITIN) DE TESIS
PARA TÍTULO PROFESIONAL**

INTERESADO : ORIHUELA NOLASCO KEVIN RICHARD

Me dirijo a usted, a fin de hacerle llegar un cordial saludo y al mismo tiempo informarle el procedimiento de TURNITIN de la Tesis Tituladas "**COMPARACIÓN DE METODOS PARA LA MEJORA DEL GRADO DE PLOMO EN EL PROCESAMIENTO DEL MINERAL PLOMO – ZINC, ENTRE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS Y EL DE FLOTACIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S. A**" presentado por el bachillere:

ORIHUELA NOLASCO KEVIN RICHARD

Con la finalidad de emitir el informe de originalidad y habiendo revisado la tesis en mención con el software (**TURNITIN**), se ha obtenido como resultado un **20%** de similitud, dando la conformidad respectiva y remitiendo los archivos digitales del software para la culminación del trámite respectivo.

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Dr. CESAR PAÚL ORTIZ JAHN
DOCENTE ASESOR- FIMM

c.c. Archivo

TESIS ORIHUELA-1.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.kefidtrituradora.co Fuente de Internet	5%
2	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	3%
4	vsip.info Fuente de Internet	1%
5	saber.ucv.ve Fuente de Internet	1%
6	kupdf.net Fuente de Internet	1%
7	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	1%
8	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
9	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	



<1 %

10

media.neliti.com

Fuente de Internet

<1 %

11

fdocuments.ec

Fuente de Internet

<1 %

12

www.miningplant3.com

Fuente de Internet

<1 %

13

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Pedagogica y
Tecnologica de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

15

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

www.classicistranieri.com

Fuente de Internet

<1 %

17

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

18

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

19

ieb.ub.edu

Fuente de Internet

<1 %

20

ateneo.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet



<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo



ASESOR

Dr. CESAR PAÚL ORTIZ JAHN

DEDICATORIA

Dedico a mis padres quienes me han apoyado a la culminación de mis estudios, económicamente y moralmente; asimismo dedico a mi hijo, quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y ser ejemplo para él.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
ASESOR	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	ix
RESUMEN	xiii
CAPITULO I	14
GENERALIDADES.....	14
1.1. Aspectos sobre la Compañía Minera Casapalca S.A.	14
1.2. Ubicación	14
1.3. Mineralogía	15
CAPITULO II	18
FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1. Planteamiento del problema	18
2.2. Formulación del problema.....	19
2.2.1 Problema general	19
2.2.2 Problemas específicos	19
2.3. Objetivos de la investigación	19
2.3.1 Objetivo general	19
2.3.2 Objetivos específicos.....	20
2.4. Justificación	20
2.5. Planteamiento de la hipótesis	21
2.5.1 Hipótesis general.....	21

2.5.2 Hipótesis específicas.....	21
2.6. Variables	21
2.6.1 Variables independientes	21
2.6.2 Variable dependiente.....	21
CAPITULO III	22
MARCO TEÓRICO.....	22
3.1. Fundamentación teórica.....	22
3.1.1 Diseño de procesos para el beneficio de minerales	22
3.1.2 Concentración gravimétrica	23
3.1.3 Operaciones de separación por gravedad.....	25
3.1.4 Separadores de mesa de movimiento diferencial.....	28
3.1.5 Mesas vibratorias	30
3.1.6 Estratificación y asentamiento impedido	32
3.1.7 Parámetros de operación	33
3.1.8 Concentradores de película fluida	34
3.1.9 Concentrador espiral	36
3.1.10 Teoría y operación del separador de gravedad específico (Air flotation)	39
3.1.11 Flotación de minerales	42
3.2. Análisis del proceso propuesto	47
3.2.1 Beneficio del mineral de plomo	49
3.2.2 Proceso de concentración por gravedad	49
3.2.3 Proceso de flotación de espuma	50
CAPITULO IV	52
METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.1. Métodos de investigación.....	52

4.1.1 Materiales.....	52
4.1.2 Equipos	53
4.1.3 Método	53
4.2. Procedimiento experimental.....	54
4.2.1 Métodos	54
4.2.2 Composición química de la muestra de plomo	54
4.2.3 Análisis fraccional del tamaño del tamiz de la muestra de plomo.....	55
4.2.4 Análisis de tamaño de grano	55
4.2.5 Métodos de beneficio	56
4.2.6 Método de concentración en espiral.....	56
4.2.7 Método de concentración por gravedad	56
4.2.8 Método de flotación de espuma	57
4.3. Presentación y discusión de resultados.....	57
4.4. Discusión de resultados	64
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especies Mineralógicas en Campaña Vetas.....	16
Tabla 2 Criterio de concentración para algunos minerales comunes separados por separación por gravedad de una ganga de densidad 2650 kg/m ³	24
Tabla 3 Guía de criterio de concentración para separación por gravedad.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la Unidad Minera Casapalca.....	15
Figura 2 Diagrama de flujo Planta Concentradora.....	17
Figura 3 Expansión y contracción de un lecho de partículas debido a la acción de jigging.....	27
Figura 4 Jigging a través de la parrilla.....	28
Figura 5 Segregación de partículas debido al movimiento de agitación horizontal	29
Figura 6 Arreglo de la mesa vibratoria.....	31
Figura 7 Efecto del tamaño de partícula, la densidad y la velocidad del agua en la segregación de partículas en una película de agua que fluye (• partículas pesadas, o partículas ligeras). A - partículas de diferente velocidad de sedimentación; B - partículas de diferente tamaño empujadas con diferente fuerza; C - capas segregadas finales en una película que fluye	36
Figura 8 Sección transversal de un lavador en espiral	38
Figura 9 Esta imagen muestra cómo debería aparecer la carga de la plataforma cuando está correctamente estratificada.....	41
Figura 10 La estratificación se establece en la zona de entrada con una separación aproximada realizada en la zona B. En la zona C se completa la separación.....	42
Figura 11 Proceso de flotación del mineral de plomo/zinc	46

INTRODUCCIÓN

Los minerales de óxido de plomo son cerusita, anglesita y plambojarusita y el método común para la recuperación de estos minerales es la flotación. El grado de oxidación en los minerales de plomo varía desde un pequeño deslustre hasta una oxidación completa. Hoy en día, el beneficio efectivo de los minerales de óxido-sulfuro es una gran preocupación para los ingenieros. La baja flotabilidad de estos minerales es el resultado de su alta solubilidad. Los iones de plomo disueltos de la estructura mineral reaccionan con el colector y se precipitan como xantato de plomo insoluble y aumentan el consumo de colector. Se descubrió que a través de la flotación de cerusita, el consumo de colector es mucho mayor que la cantidad requerida para la flotación de galena. Estos investigadores declararon que la principal razón para el alto consumo de colector es probablemente la reacción entre X^+ y $PbCO_3$, donde X^+ podría ser Pb^{2+} , Cu^{2+} y/o Zn^{2+} . Como resultado, los minerales de óxido de plomo se tratan con agentes de sulfidización antes de flotarlos. La adición de sales de sulfuro al sistema sulfidiza la superficie del mineral de óxido y lo vuelve hidrófobo, para que flote fácilmente. Como resultado, el consumo del colector disminuye.

Cuando los minerales de óxido de plomo existen en cantidades considerables, primero se flotan los sulfuros de plomo y zinc y luego los minerales de óxido tratados. La cantidad de agente de sulfidización para diferentes tipos de mineral es diferente y normalmente está entre 500 y 2500 g/t. Se necesita un control preciso en la adición de sulfuro, porque mientras que la escasez de iones de sulfuro causará una sulfuración ineficaz, el consumo excesivo de sulfuros deprimirá el sulfuro y los minerales sulfurados. Los colectores preferidos para la flotación de minerales de plomo son Aero 404, 407 o 412 en combinación con isopropil o amilo

xantato, como isopropil xantato de sodio (Z11) y amilo xantato de potasio (KAX). La adición de sulfuros y colectores en etapas es un método común en la flotación desbastadora. Además, la flotación de minerales de óxido-sulfuro por xantatos depende en gran medida del pH de la pulpa. La recuperación de plomo disminuye en un pH superior a 10. Los estudios primarios sobre minerales de flotación de semióxidos han declarado que la flotación de estos minerales es más compleja que la de los minerales de óxido. Necesita la mezcla de diferentes colectores y un alto consumo de productos químicos como el sulfuro de sodio. Aunque existe un conocimiento general sobre las características de flotación de estos minerales, cada mineral debe considerarse de forma única de acuerdo con sus características mineralógicas.

La flotación se reconoce como el enfoque convencional para procesar los minerales de sulfuro-óxido. Existen otros métodos para la optimización del proceso; Entre ellos se encuentran los métodos de separación física, como la concentración por gravedad que se utiliza para la producción de concentrado y preconcentrado. El uso de métodos de gravedad antes de la flotación es un método eficaz para aumentar el grado de alimentación de flotación, y también la eliminación de colas para disminuir la cantidad de alimentación que ingresa al proceso de molienda y flotación; esto conduce a un ahorro económico. La débil respuesta de los minerales de sulfuro-óxido a la flotación, debido a la alta solubilidad de estos minerales y como resultado del alto consumo del colector, ha otorgado un papel muy importante a los métodos de gravedad.

Si se logra la liberación de partículas de plomo en tamaños gruesos (más de 500 micrones), se podrían emplear los métodos de gravedad porque en esta

condición la gravedad específica de los minerales de plomo será mayor que la de la cola. Para partículas más finas, se debe utilizar la flotación.

En varias referencias se declara que los métodos de gravedad no se utilizan ampliamente. Incluso cuando se produce una cola flotante de baja calidad mediante separación por gravedad, es posible que mediante la liberación de partículas valiosas, estas partículas también se puedan recuperar. Generalmente, en cada planta, las preocupaciones económicas definen los métodos.

Por otro lado, los métodos de gravedad tienen ventajas considerables, incluyendo bajo costo de instalación por tonelada, bajo costo de energía como costos de conminución, alta capacidad, efectividad y falta de efectos ambientales dañinos en comparación con otros métodos como la flotación debido a que no se utilizan productos químicos orgánicos durante el proceso de separación.

Considerando el análisis previo, se plantea como objetivo principal de esta investigación, Mejorar el grado del plomo, en el procesamiento convencional de minerales conteniendo plomo - zinc la Compañía Minera Casapalca S.A. y la hipótesis planteada es: Se obtiene un mejor grado de plomo, en el procesamiento convencional de minerales conteniendo plomo - zinc la Compañía Minera Casapalca S.A. cuando se trata empleando métodos gravimétricos comparado con el de flotación por espumas.

La estructuración de la tesis que se ha considerado incluyen un primer capítulo donde se indican las generalidades, el segundo la formulación de la investigación, el tercero considera el marco teórico y en el cuarto la parte fundamental que incluye la investigación experimental, al final se exponen las conclusiones y recomendaciones.

Por tanto es mi finalidad la de cumplir con las expectativas técnicas y científicas de esta tesis y alcanzo a mis jurados este trabajo de investigación para que me permita obtener el título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales.

El autor

RESUMEN

Este trabajo de investigación trata sobre la mejora en calidad del plomo en el mineral de plomo-zinc de la Compañía Minera Casapalca, utilizando métodos de beneficio por gravedad y flotación de espuma. El análisis de la composición química revela que este mineral crudo contiene 38.76% de plomo y otros minerales relacionados, como 29% de sílice, 22.80% de azufre, 2.76% de zinc, 4.17% de CaO y otros en trazas; estos minerales relacionados son impurezas que impiden la apreciación del grado de plomo que se encuentra en este mineral. El tamiz fraccional y el resultado del tamaño de grano revelaron que el tamaño de liberación del mineral es de $-710 + 500 \mu\text{m}$. Con este tamaño de tamiz, el mineral de plomo-zinc se sometió a cuatro métodos de beneficio diferentes utilizando cinco kilogramos (5 kg) cada uno como carga en la mesa vibratoria Wilfley, el concentrador espiral Humphrey, la máquina de flotación de aire y un kilogramo (1 kg) para la flotación de espuma. Productos resultantes: se analizaron el concentrado y los relaves del procesamiento. El grado y el peso del mineral resultante se usaron para calcular el porcentaje de recuperación de cada proceso aplicado; que se utilizó para determinar el mejor método.

CAPITULO I

GENERALIDADES

El desarrollo de este trabajo de investigación experimental fue implementado en las instalaciones de la Compañía Minera Casapalca S.A. que está ubicada en la cuenca alta del Río Rimac.

1.1. Aspectos sobre la Compañía Minera Casapalca S.A.

La Compañía Minera Casapalca S.A. es una empresa dedicada a la exploración, explotación y concentración de minerales polimetálicos; desarrolla el proceso de extracción de mineral polimetálico que se presenta principalmente en forma de galena, calcopirita, tetraedrita, tenantita, marmatita y esfalerita.

1.2. Ubicación

El yacimiento minero de La Compañía Minera Casapalca S.A. se encuentra ubicado en el departamento de Lima, Distrito de Chicla - Huarochiri, en el kilómetro 115 de la carretera Central. La planta Concentradora Berna II en donde se realizó mis prácticas se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas U.T.M.

Coordenadas : 8'709,235 N 369,116 E

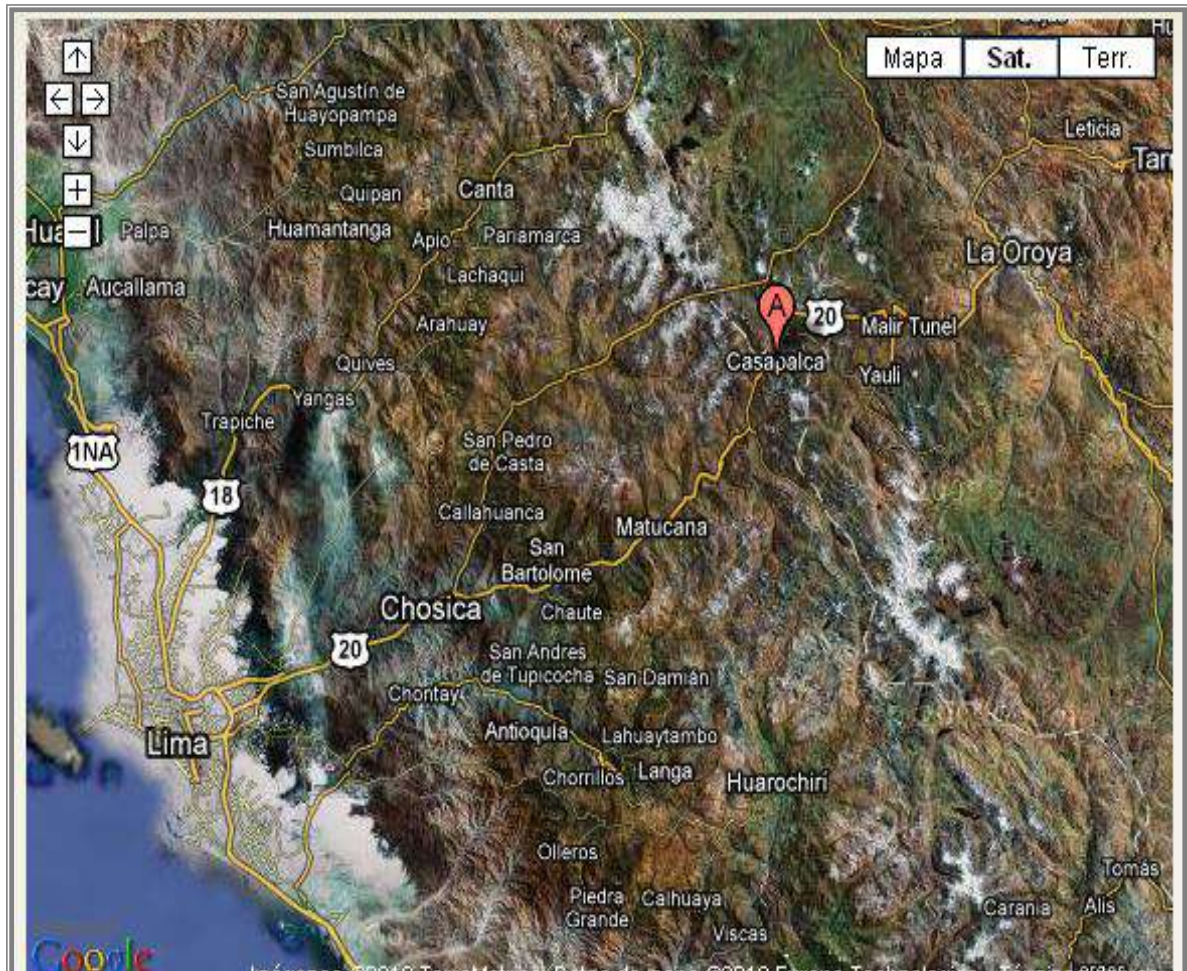
Altitud : 4850 m.s.n.m.

La altura varía de 4600 a 4800 msnm, el clima es frío, ocurriendo precipitación atmosférica en forma de nieve, granizo y lluvias. La temperatura

promedio es de 2° C hasta 10° C , mientras en épocas de heladas llega hasta los 4° C.

Figura 1

Mapa de ubicación de la Unidad Minera Casapalca



1.3. Mineralogía

La mineralización ocurre en estrechas vetas polimetálicas ricas en minerales de plata con contenidos de plomo y zinc. Por otro lado la mineralización también es encontrada en cuerpos medianamente mineralizados de forma irregular en mayoría de zinc con contenidos de cobre y plata.

Encontramos, minerales oxidados y otros tipos de minerales como:

Tabla 1*Especies Mineralógicas en Campaña Vetas*

Nombre	Abreviatura	Formula Quimica	Peso Especifico
ESPECIES MAYORES Gangas	GGs	variado	2,7
ESPECIES MENORES			
Esfalerita	ef	ZnS	4,2
Esfalerita 2	ef 2	ZnS-CuFeS ₂	4,2
Calcopirita	cp	CuFeS ₂	4,2
Cobres-Grises	CuGRs	CuSbAs,S,Ag	4,8
Pirita	py	FeS ₂	5
ESPECIES ESCASAS			
Galena	gn	PbS	7,2
Arsenopirita	apy	FeSAs	5

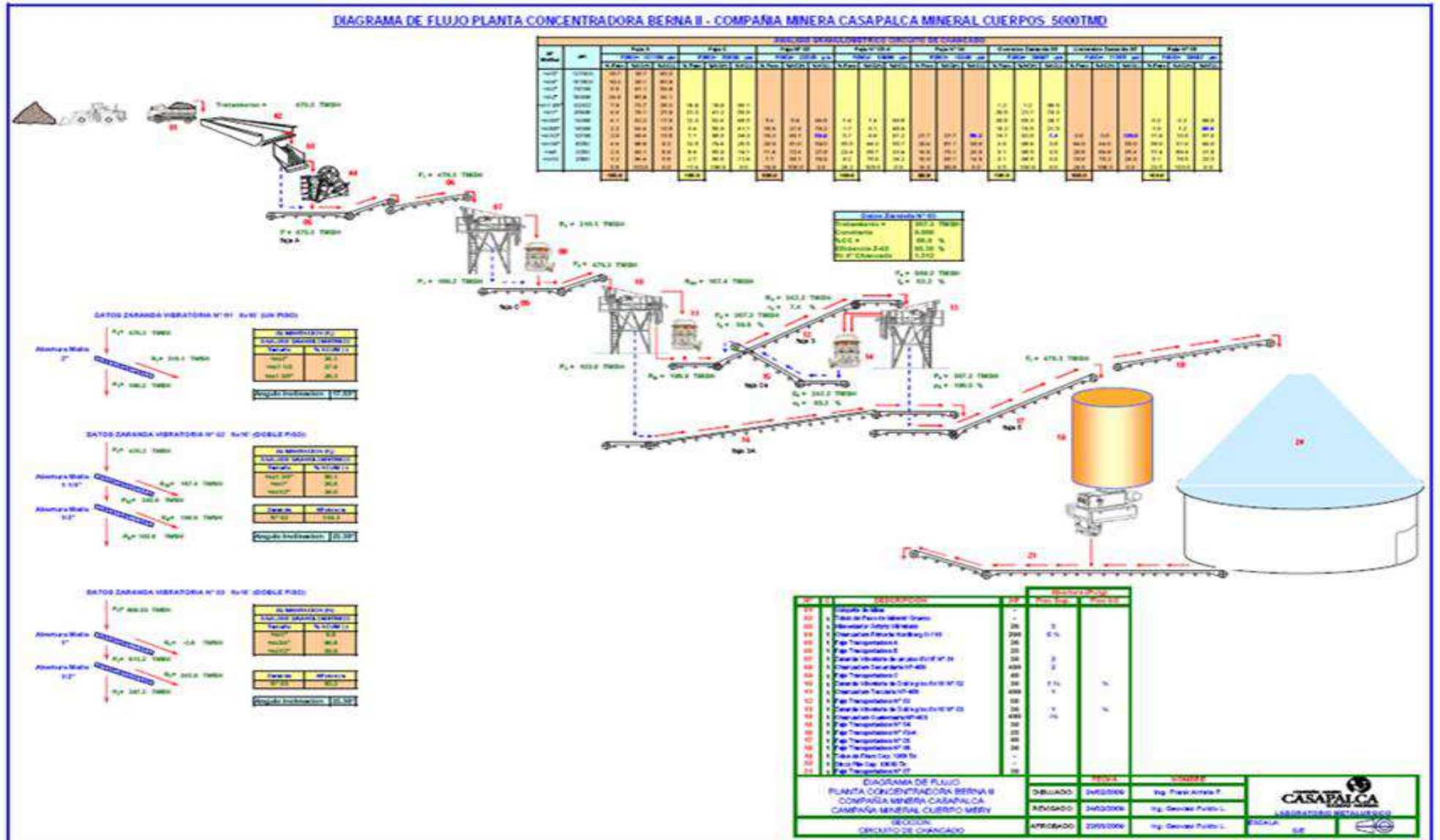
MINERALES	FORMULA	ABREVIATURA
Tennantita	(Cu,Ag,Fe,Zn) ₁₂ As ₄ S ₁₃	tn
Calcopirita	CuFeS ₂	cp
Esfalerita	ZnS	ef
Galena	PbS	gn
Pirita	FeS ₂	py
Gangas		GGs

Planta Concentradora

Los procesos y operaciones de concentración de minerales por flotación de la planta concentradora se resume en el siguiente diagrama de flujos:

Figura 2

Diagrama de flujo Planta Concentradora



CAPITULO II

FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta la formulación de la investigación, de acuerdo a la metodología científica.

2.1. Planteamiento del problema

La minería peruana posee características geográficas y mineralógicas muy peculiares, que ocasiona retos muy complejos a los ingenieros de proceso, especialmente a los metalurgistas. Fundamentalmente cuando se trata de lograr grados de las especies metálicas que sean competitivas y así como recuperaciones altas, a partir de sus menas, cuando son beneficiados o concentrados.

La mayor parte de los depósitos peruanos de minerales complejos de Cobre, Plomo y Zinc se hallan en forma de venas o vetas en la roca encajonante, a menudo con cantidades muy importantes de minerales piríticos. La mayor parte de las menas se extraen métodos subterráneos especialmente diseñados para cada depósito. Sin embargo, en ciertos casos también se usan métodos a tajo abierto cuando la formación mineral permite este tipo de extracción, por ser generalmente más económico.

Los minerales de cobre, plomo y zinc, en su mayor parte se encuentra acompañado de minerales que contienen valores de oro y plata, a veces en forma de metal nativo, pero más menudo íntimamente asociado con alguno de los principales minerales sulfurados.

Dependiendo de la naturaleza de los minerales incluidos en una mena, como es el caso de nuestro mineral, que en este caso esperamos obtener un grado bastante aceptable de la galena a partir de una mena de plomo zinc, en muchos casos se hace dificultoso obtener separaciones con grados y recuperaciones aceptables mediante los métodos considerados convencionales, es importante buscar tecnologías que permitan dicho objetivo.

Esto hace que planteemos la siguiente pregunta:

2.2. Formulación del problema

2.2.1 Problema general

¿Cómo se puede mejorar el grado del plomo, en el procesamiento convencional de minerales conteniendo plomo - zinc la Compañía Minera Casapalca S.A.?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Con que técnica se puede definir el método o procedimiento de beneficio a emplear, para lograr mejorar el grado de plomo en el concentrado final?
- ¿Qué métodos alternativos a la flotación por espumas pueden ser propuestas para beneficiar adecuadamente el mineral de plomo - zinc?

2.3. Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo general

Mejorar el grado del plomo, en el procesamiento convencional de minerales conteniendo plomo - zinc la Compañía Minera Casapalca S.A.

2.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la técnica que pueda definir el método o procedimiento de beneficio a emplear, para lograr mejorar el grado de plomo en el concentrado final.
- Determinar qué métodos alternativos a la flotación por espumas pueden ser propuestas para beneficiar adecuadamente el mineral de plomo – zinc.

2.4. Justificación

El estudio que se presenta es justificado por los siguientes criterios:

La complejidad de los minerales polimetálicos es una de las características de la minería peruana, esto hace que sea necesario implementar tecnologías no tan convencionales como es el caso de la aplicación de métodos como el gravimétrico para coadyuvar tecnologías probadas como la flotación por espumas; esto justifica que los metalurgistas desarrollemos y estudiemos la aplicación de tecnologías consideradas como obsoletas.

Las circunstancias en que la minería a nivel mundial se encuentra en una franca competencia, por alcanzar estándares de calidad y económicos, justifica la implementación de este tipo de estudios de investigación, encaminados a lograr mejores beneficios de las empresas, así como de instituciones académicas y de investigación.

El desarrollo y ejecución de este tipo de trabajos de investigación permite contribuir con el cumplimiento de los objetivos de la Universidad al proponer alternativas tecnológicas que resuelven problemas tecnológicos de las empresas minero metalúrgicas de nuestra región y nuestro país.

2.5. Planteamiento de la hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Se obtiene un mejor grado de plomo, en el procesamiento convencional de minerales conteniendo plomo - zinc la Compañía Minera Casapalca S.A. cuando se trata empleando métodos gravimétricos comparado con el de flotación por espumas.

2.5.2 Hipótesis específicas

- El análisis granulométrico y el análisis químico por plomo en las fracciones por tamaños puede permitir la definición el método o procedimiento de beneficio a emplear, para lograr mejorar el grado de plomo en el concentrado final.
- El método gravimétrico es el adecuado para obtener un grado mejor de plomo, para el efecto es útil el uso de mesas vibratorias, espirales Humprey o el Air Float.

2.6. Variables

2.6.1 Variables independientes

- Distribución granulométrica
- Densidad de pulpa
- Tipo de equipo gravimétrico
- Tipo de colector
- Dosis de colector

2.6.2 Variable dependiente

- Grado de plomo
- Recuperación de plomo

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos después de desarrollar el análisis de la problemática planteada en el capítulo de la metodología de la investigación, lo que servirá para demostrar las hipótesis respectivas.

3.1. Fundamentación teórica

3.1.1 Diseño de procesos para el beneficio de minerales

En la naturaleza, los minerales de interés existen física y químicamente combinados con la roca huésped. La eliminación de la ganga no deseada para aumentar la concentración de mineral de una manera económicamente viable es la base de las operaciones de procesamiento de minerales. Consideramos por eso la estrategia de beneficio como una combinación de operaciones unitarias. Por lo tanto, cada proceso unitario y su funcionamiento se tratan por separado. Luego se indica la integración de estas unidades que conducen al desarrollo de diagramas de flujo viables que cumplan con el objetivo final.

El mayor desafío para un procesador de minerales es producir concentrados de alta ley consistentemente a la máxima recuperación del cuerpo mineral. Para

cuantificar la recuperación, se requiere una idea razonable de la concentración inicial de mineral en una carga. Por lo tanto, es esencial un muestreo adecuado que represente el cuerpo mineral.

3.1.2 Concentración gravimétrica

La separación por diferencia de densidad es un proceso tan antiguo como la historia registrada. La separación del oro por la diferencia de densidad se remonta al menos a 3.000 a.C. cómo se describe en los escritos del antiguo Egipto. El principio empleado en la separación por gravedad se remonta más atrás en el tiempo a la formación y erosión de las rocas y la liberación de los minerales que contienen y el transporte de los granos minerales por las fuertes lluvias. Es la fuerza impulsora para la formación de los depósitos aluviales de metales preciosos y piedras preciosas que se han trabajado desde más allá de la historia registrada, como todavía lo son hoy. Las excavaciones arqueológicas han descubierto actividades de concentración de minerales como la planta concentradora de plomo y plata en Attica, Grecia, que data de 300-400 a.C. Por lo tanto, la separación por gravedad tiene una larga historia como proceso de concentración de minerales.

No todas las combinaciones minerales son susceptibles a este tipo de técnica de concentración. Para determinar la idoneidad de los procesos de separación por gravedad para un tipo particular de mineral, se usa comúnmente un criterio de concentración. Un criterio de concentración (CC) se puede definir como:

$$\text{Criterio de concentración} = \frac{SG \text{ del mineral pesado} - SG \text{ del fluido}}{SG \text{ del mineral pesado} - SG \text{ del fluido}}$$

Donde SG = gravedad específica (o densidad), y el fluido es típicamente agua o aire.

En la tabla siguiente se dan algunas relaciones de criterios de concentración para minerales que se tratan por separación por gravedad.

Tabla 2

Criterio de concentración para algunos minerales comunes separados por separación por gravedad de una ganga de densidad 2650 kg/m³

Mineral	Fluido	CC
Oro	Agua	10.3
Oro	Aire	6.8
Casiterita	Agua	3.5
Carbón	Agua	3.4
Hematita	Agua	2.5

En la tabla siguiente se proporciona una guía para la separabilidad por gravedad basada en este criterio de concentración.

Tabla 3

Guía de criterio de concentración para separación por gravedad

Criterio de concentración	Idoneidad para la separación por gravedad
CC > 2.5	fácil hasta 75 μ m
1,75 < CC < 2,5	posible hasta 150 μ m
1.5 < CC < 1.75	posible hasta 1,7 mm
1.25 < CC < 1.5	posible hasta 6,35 mm
CC < 1.25	imposible en cualquier tamaño

La primera tabla muestra que la separación será más fácil en un fluido de mayor densidad.

Los números de relación de concentración en la segunda tabla, son solo una guía, ya que la relación está influenciada por otros factores, como la forma de las partículas. La forma de partícula se puede tener en cuenta al incluir un factor de forma definido como la relación de factores de asentamiento de forma para los minerales pesados y ligeros. El factor de ajuste de la forma es la relación de la velocidad terminal de dos partículas de la misma densidad, mismo tamaño pero diferente forma. Es decir:

$$\text{Factor de forma de asentamiento} = \frac{v_{T(\text{partícula})}}{v_{T(\text{esfera})}}$$

Donde v_T = velocidad terminal

La separación por gravedad se basa en la diferencia en las tasas de sedimentación o velocidades terminales de partículas de diferente densidad y tamaño. Sin embargo, con distancias cortas de viaje en algunos procesos de separación, las partículas pueden no tener la oportunidad de alcanzar su velocidad terminal. El tiempo que tardan las partículas en alcanzar su velocidad terminal y cuáles son las distancias de desplazamiento entre las partículas cuando alcanzan su velocidad terminal podría ser un factor determinante en la concentración de partículas por separación por gravedad.

3.1.3 Operaciones de separación por gravedad

Las operaciones de concentración por gravedad se caracterizan por procesos que permiten que las partículas se mantengan ligeramente separadas para que puedan moverse entre sí y, por lo tanto, separarse en capas de minerales densos y ligeros. Los mecanismos por los cuales se logra esta separación interparticular se

pueden usar como un medio conveniente para clasificar los concentradores de gravedad.

Jigging: utiliza una expansión y contracción esencialmente vertical de un lecho de partículas por un pulso de fluido.

Concentradores por agitación: emplee un movimiento horizontal hacia la corriente de sólidos y fluidos para fluidizar de manera efectiva las partículas y causar la segregación de partículas ligeras y pesadas.

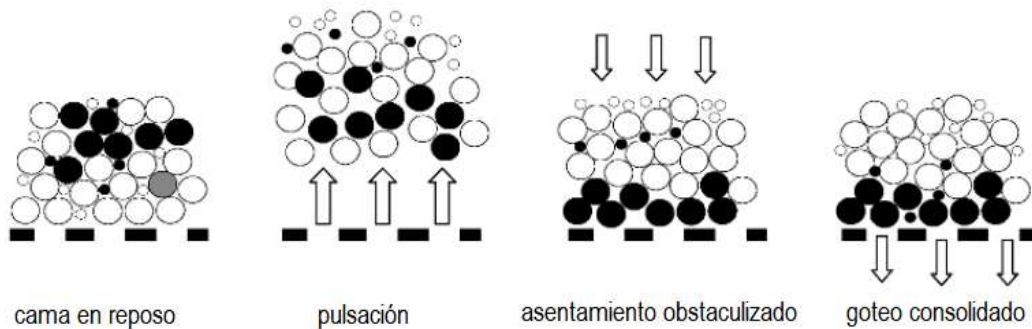
Concentradores de película que fluye. inicia la separación de partículas por una capa de lodo que fluye por una superficie inclinada bajo la influencia de la gravedad. Algunos de los concentradores más antiguos conocidos, como las esclusas y los canales, son concentradores de película fluida.

Jigs. La estratificación en un lecho de partículas resulta de la pulsación repetida de una corriente de fluido a través del lecho. Las partículas en el lecho se expanden de modo que cuando cesa la pulsación, se permite que las partículas se consoliden bajo la influencia de la gravedad. La siguiente figura ilustra la expansión y contracción del lecho con las partículas más grandes y pesadas que caen en condiciones de sedimentación obstaculizadas.

La expansión y contracción del lecho se repite en una operación cíclica hasta que las partículas pesadas y ligeras se hayan estratificado de acuerdo con su gravedad específica. La frecuencia de las pulsaciones generalmente varía de 50 a 300 ciclos por minuto.

Figura 3

Expansión y contracción de un lecho de partículas debido a la acción de jigging



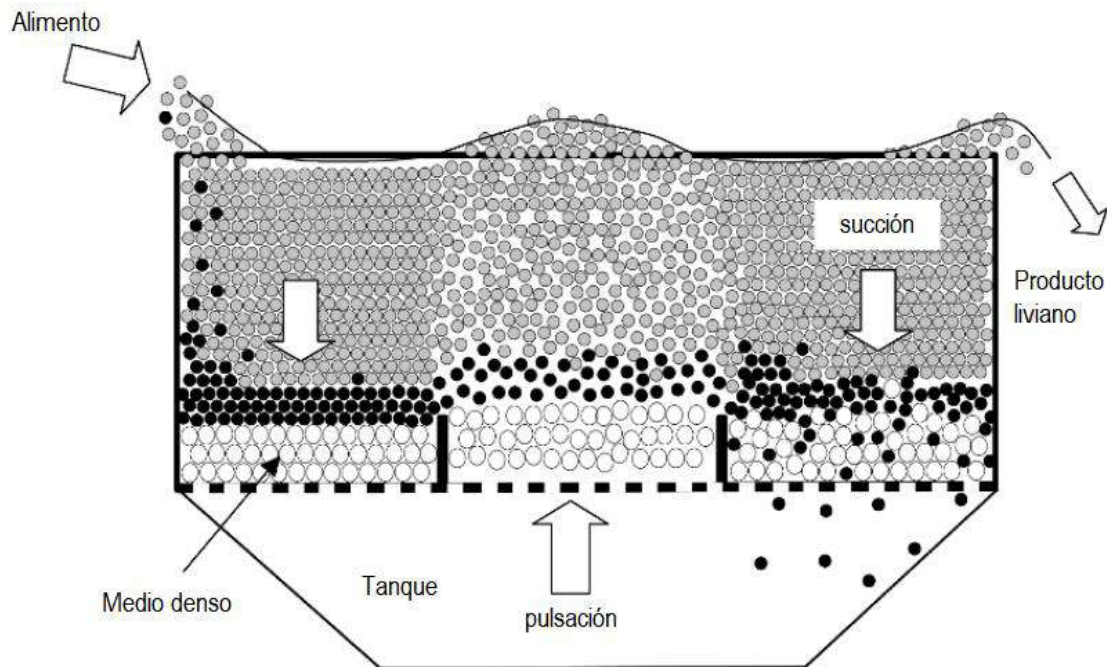
Los jigs se usan comúnmente para limpiar carbón, pero también se usan en separaciones de minerales pesados, incluido el oro aluvial. Cuando se trata el carbón, la fracción ligera es el concentrado y en la industria mineral, la fracción pesada es el concentrado. Por esta razón, los productos de separación por gravedad se denominarán ligeros o pesados en lugar de concentrados o colas.

El jig es comúnmente un tanque abierto lleno de agua, con una parrilla horizontal cerca de la parte superior. Algunos jigs iniciales se diseñaron donde la superficie de la parrilla, en forma de canasta, se movía hacia arriba y hacia abajo en un barril o tanque de agua, produciendo así el flujo vertical de fluido a través del lecho de partículas. Esta operación manual es reportada en el trabajo del siglo 16 por Agricola. Los buscadores modernos aún pueden usar este dispositivo manual simple en bidones o corrientes de agua. Algunos jigs de parrillas móviles todavía están diseñadas hoy en día, aunque la mayoría de los jigs modernos emplean una parrilla estacionaria y hacen pasar el agua a través de ella. Las diferencias entre los diversos tipos de plantillas disponibles se relacionan con los métodos utilizados para generar la pulsación y la manera en que la

fracción pesada se elimina del jig. La parrilla está allí para soportar el lecho de partículas y el área debajo de la parrilla se llama tanque (hutch). El tanque generalmente se divide en dos secciones principales; uno que contiene la pantalla de soporte con el lecho de mineral y otra sección que genera el pulso fluido.

Figura 4

Jigging a través de la parrilla



3.1.4 Separadores de mesa de movimiento diferencial

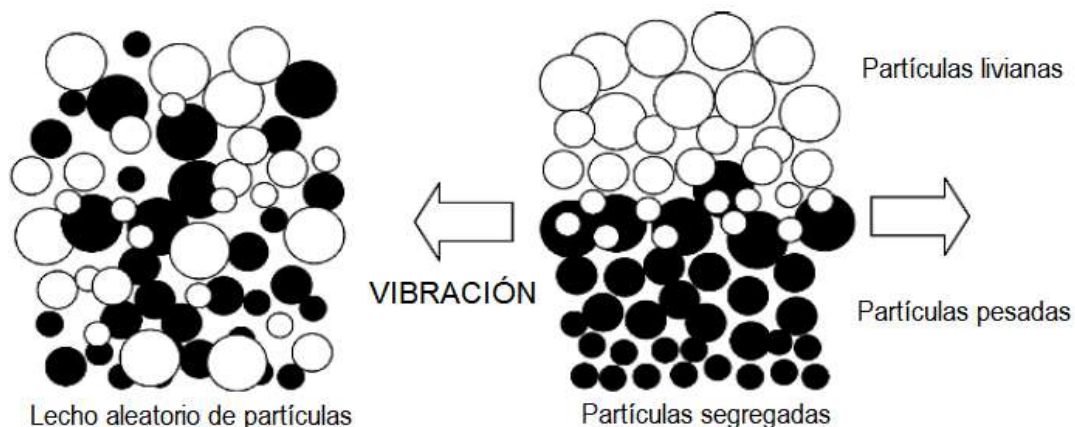
Las mesas de concentración en húmedo se desarrollaron a partir de concentradores de banda continua que utilizaron una película de agua que fluye para efectuar una separación. El mineral sube por una pendiente inclinada en un cinturón sin fin donde los minerales más livianos para ser eliminados de los minerales pesados por una película de agua que fluye por el cinturón, similar a las tablas de Stroke. El Vanner, una correa vibratoria continua se desarrolló en la década de 1860 y las mesas

de choque siguieron antes de que Wilfrey desarrollara la moderna mesa de sacudida diferencial en 1896.

Un lecho de partículas que experimenta un movimiento de agitación horizontal sufrirá una segregación en función del tamaño y la densidad, por ejemplo, una bandeja de oro y partículas de una cinta transportadora. Si las partículas son de la misma densidad, las partículas se segregarán de acuerdo con el tamaño con las partículas finas hundiéndose y las partículas gruesas subiendo hacia la parte superior. Si existen partículas de diferente densidad en la mezcla, entonces las partículas de mayor densidad se hundirán a un nivel inferior que las partículas de densidad similar, pero de menor peso. Para lograr esta estratificación, el movimiento de agitación debe ser lo suficientemente fuerte como para expandir el lecho hasta la extensión que permita que las partículas penetren. Sin embargo, el movimiento de agitación aún debe mantener un contacto de partícula a partícula. El hecho de que pequeñas partículas de minerales ligeros y grandes partículas de minerales pesados se segregan a la misma posición en el lecho sugiere que la densidad no es la única fuerza de separación.

Figura 5

Segregación de partículas debido al movimiento de agitación horizontal



3.1.5 Mesas vibratorias

En el concentrador de la mesa vibratoria, se utiliza un movimiento diferencial y una plataforma ondulada con agua que fluye cruzada para crear una separación de partículas. El movimiento de agitación es asimétrico, lento en la dirección de avance y rápido en la dirección inversa. Este movimiento diferencial imparte una acción de transporte a la mesa moviendo aquellas partículas que están en contacto con la plataforma de la mesa, a través de la fricción, en la dirección del movimiento.

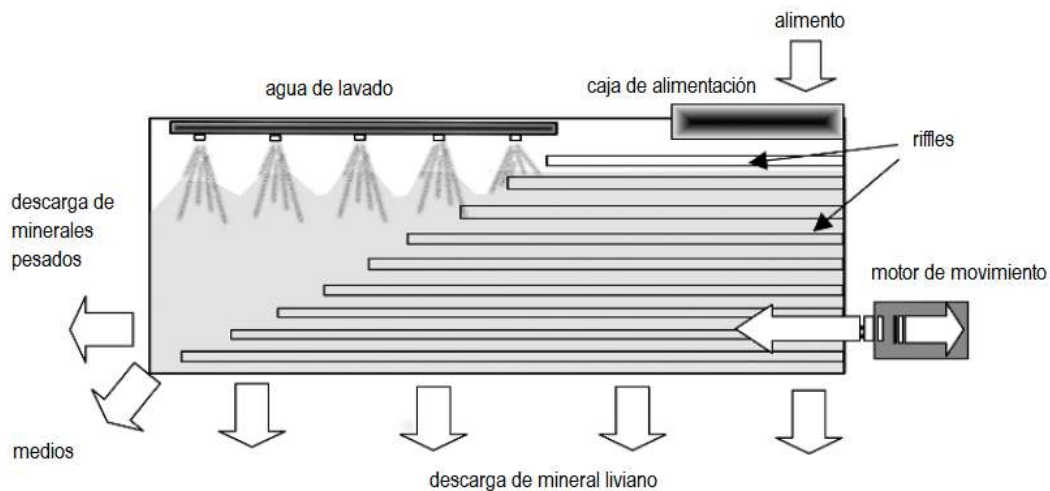
La mesa Wilfley fue diseñada para la concentración de minerales y desde los primeros días de su desarrollo se ha utilizado ampliamente para este propósito. Cuando la mesa está equipada con plataformas especialmente diseñadas para el lavado de carbón, se conocía como una mesa Massco. Desde la introducción de la mesa Wilfley, se han desarrollado muchas marcas diferentes de tablas para su uso con minerales y carbón.

La mesa consta de una superficie plana o plataforma ligeramente inclinada con una serie de crestas o rizos paralelos a lo largo de la dirección del movimiento. Los rifles son cónicos hacia el extremo opuesto al accionamiento alternativo. La alimentación se introduce en la esquina de la mesa con aproximadamente un 25% de sólidos (en masa) y con el movimiento de agitación, las partículas se extienden sobre la mesa.

Se introduce agua de lavado o vendaje a lo largo del borde superior de la plataforma para ayudar en la segregación y el transporte de partículas en la mesa. El efecto neto es que las partículas se mueven diagonalmente a través de la plataforma desde el extremo de alimentación.

Figura 6

Arreglo de la mesa vibratoria



A medida que el material de alimentación se extiende sobre la mesa, las partículas se estratifican en capas detrás de los rífleres. Los rífleres ayudan a transmitir el movimiento de agitación a las partículas y evitan que la partícula se lave directamente de la mesa. Las capas sucesivas de partículas se eliminan de la parte superior de los rífleres por el agua que fluye de forma cruzada a medida que quedan expuestas por la altura del rifle de acortamiento a medida que el lecho se aleja del extremo de alimentación de la mesa. Cuando las partículas restantes alcanzan el final de los rápidos, solo queda una capa delgada en la superficie de la mesa. Si la mesa tiene un extremo liso sin rizar, la película de agua que fluye limpia aún más las partículas pesadas antes de descargarlas del extremo de la mesa.

La acción de separación en una mesa de agitación combina la acción selectiva de la película de agua de flujo cruzado (película de flujo) y la estratificación y el asentamiento obstaculizado detrás de los rífleres.

3.1.6 Estratificación y asentamiento impedido

La estratificación debido a la acción casi horizontal de la plataforma de la mesa y el flujo de agua no es el único mecanismo que funciona en la mesa. Hay alguna sugerencia de que la solución obstaculizada también puede ayudar en la separación de alguna manera menor. La estratificación debida al movimiento de sacudida de la plataforma y el flujo de agua se conoce como estratificación de mesa. Bajo este proceso, las partículas pequeñas se segregarán hacia el fondo de la cama, detrás de los rápidos, mientras que las partículas grandes se acumulan hacia la parte superior. Para una mezcla de densidades minerales en la alimentación, habrá una capa media de partículas donde las partículas grandes pesadas y pequeñas se superpondrán como se indica en la anterior. A medida que el agua que fluye de forma cruzada fluye sobre los rápidos, puede provocar que las corrientes de Foucault penetren en el lecho móvil antes de elevarse para fluir sobre el siguiente rápido. Esta corriente ascendente de agua puede elevar las partículas más finas a posiciones más altas en el lecho mediante una acción de tipo de asentamiento obstaculizado y esto puede ayudar en la segregación de minerales pesados y ligeros. Es probable que este efecto de asentamiento obstaculizado a lo largo de cualquier rifle individual sea pequeño, pero el efecto acumulativo a lo largo de toda la serie de riffles en la cubierta podría ser suficiente para efectuar la separación de las partículas finas de luz de las partículas grandes y pesadas en la cama.

El asentamiento impedido en una mesa es más efectivo si las partículas en la alimentación tienen un tamaño cercano. La clasificación de la alimentación de la mesa mejora el rendimiento de la mesa y aumenta la capacidad.

3.1.7 Parámetros de operación

Los factores que afectan el funcionamiento del concentrador de agitación son el tamaño y la densidad de las partículas, la forma de las partículas, el diseño del riffle, la forma de la plataforma, el flujo de agua y alimentación, la carrera y la velocidad de la mesa y la pendiente de la plataforma. El funcionamiento correcto de la mesa tiene la fracción media descargada en la esquina diagonalmente opuesta de la mesa a la alimentación. Para cualquier variación de alimentación, las variables de operación se ajustan para mantener este punto de separación.

La forma de las partículas no es un factor importante en el proceso general de tabulación, sin embargo, las partículas planas no ruedan fácilmente a través de la plataforma y tenderían a ser transportadas al extremo de descarga de minerales pesados de la mesa.

De considerable importancia es el tamaño de partícula. Tanto en la estratificación de la mesa como en el asentamiento obstaculizado, la separación de partículas se vuelve más difícil a medida que aumenta el rango de tamaños en la alimentación. Si una alimentación de tabla contiene un rango de tamaños demasiado amplio, algunas fracciones de tamaño se separarán de manera ineficiente. Para una operación eficiente de la mesa, un tamaño de alimentación normal para el tratamiento de carbón varía de 0.3 a 9.5 mm. El límite de tamaño inferior para una separación efectiva en una mesa es de aproximadamente 50 urnas, incluso si la diferencia de densidad es alta.

Para una operación óptima de la mesa, el flujo de alimentación de sólidos y agua sobre la mesa debe ser uniforme y constante. Aproximadamente el 90% del agua informa a la fracción ligera. El agua del apósito representa aproximadamente el 25%

del agua total en la mesa. La capacidad de la mesa varía según el tamaño de las partículas de alimentación. Las mesas pueden manejar hasta 2 t/h de arena de 1.5 mm y 1 t/h de arena fina. Las capacidades pueden ser tan bajas como 0.5 t/h para una alimentación de limos.

La frecuencia de carrera para el funcionamiento normal es entre 250-300 carreras por minuto. La longitud de carrera requerida para la separación de carbón puede variar de 10-25 mm. Un golpe más largo mueve el rechazo (pesado) al extremo de descarga pesada de la mesa más rápidamente, pero requiere más agua. La amplitud y la frecuencia de carrera son interdependientes. Es decir, un aumento en la longitud de carrera requiere una disminución en la frecuencia de carrera para mantener la misma velocidad de transporte de la fracción pesada al punto de descarga. Una alimentación fina generalmente requerirá una velocidad más alta y una carrera más corta que una alimentación gruesa. Para separaciones difíciles, donde la diferencia de densidad entre las dos fracciones es pequeña y el tamaño de alimentación es pequeño, se debe usar una longitud de carrera corta.

Las primeras mesas estaban generalmente cubiertas de linóleo con rifles de madera. Las mesas modernas usan rifles de goma cementados en una cubierta cubierta de goma o toda la cubierta está moldeada en fibra de vidrio.

3.1.8 Concentradores de película fluida

La sedimentación y separación de partículas en una película de fluido que fluye forma la tercera clasificación de los procesos de separación por gravedad. Cuando una película de agua fluye por una superficie lisa en condiciones de flujo laminar, el gradiente de velocidad a través del espesor de la película es aproximadamente parabólico. Es decir, la velocidad disminuye en las posiciones cercanas a la superficie

de la pendiente debido a la fricción con la superficie y también disminuye en las posiciones cercanas a la interfaz aire/agua, también debido a la fricción con el aire. Para condiciones de flujo turbulento, el perfil de velocidad a través de la película delgada es más plano, pero aún disminuye hacia la superficie de la plataforma debido a la fricción o al arrastre.

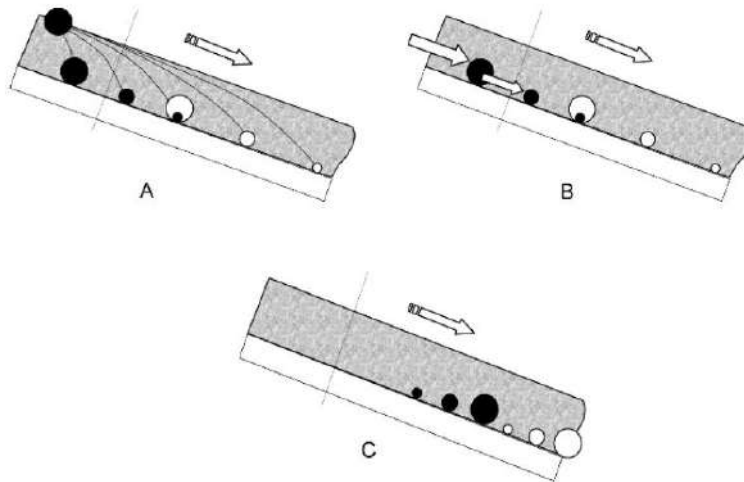
Las partículas de diferente densidad y tamaño que se dejan caer en la película que fluye alcanzarán la superficie de la pendiente en diferentes puntos debido a la diferencia en la velocidad de sedimentación. Las partículas que tardan más en sedimentarse, como las partículas finas de luz, serán transportadas más abajo por la pendiente que las partículas que se depositan más rápidamente. Para las partículas que se estabilizan equitativamente, como las partículas ligeras grandes y las partículas pequeñas y pesadas, estas se pondrán en contacto con la superficie de la pendiente en la misma posición.

Una vez que las partículas comienzan a rodar por la pendiente, se verán influenciadas por su tamaño, ya que las partículas más pequeñas estarán más cerca de la superficie y experimentarán una velocidad del agua más lenta que las partículas grandes que se extienden más hacia la película de agua donde la velocidad del agua es mayor. Por lo tanto, las partículas grandes serán empujadas por el pendiente más rápido que las partículas más pequeñas y eventualmente se formará una nueva disposición como se muestra.

Si la forma de la partícula es plana, tendrá menos tendencia a rodar y complicará la separación.

Figura 7

Efecto del tamaño de partícula, la densidad y la velocidad del agua en la segregación de partículas en una película de agua que fluye (partículas pesadas, o partículas ligeras). A - partículas de diferente velocidad de sedimentación; B - partículas de diferente tamaño empujadas con diferente fuerza; C - capas segregadas finales en una película que fluye*



3.1.9 Concentrador espiral

El concentrador en espiral apareció por primera vez como una unidad de producción en 1943 en forma de espiral Humphrey, para la separación de arenas que contienen cromo en Oregón. En la década de 1950, las espirales eran la unidad de separación primaria por gravedad húmeda estándar en la industria australiana de arenas minerales.

En el concentrador en espiral, la longitud de la superficie de drenaje requerida para provocar la segregación de la luz de los minerales pesados se comprime en un espacio de piso más pequeño al tomar un canal curvo y formar una espiral alrededor de un eje vertical. La pulpa se alimenta al canal en la parte superior de la espiral y se deja fluir por gravedad. El flujo en espiral de pulpa hacia abajo de la unidad introduce

una fuerza centrífuga leve en las partículas y el fluido. Esto crea un flujo de pulpa desde el centro de la espiral hacia el borde. Las partículas más pesadas y gruesas permanecen cerca del centro en la parte más plana de la sección transversal, mientras que el material más liviano y fino se lava hacia afuera y hacia los lados del lavador. Esta separación puede ser asistida por la introducción de agua adicional que fluye desde el centro de la espiral, ya sea continuamente o en varios lugares a lo largo de la espiral. Esta agua de lavado puede distribuirse a través de tubos o por desviación de un canal de agua que corre por el centro de la espiral. Algunos diseños actuales han superado la necesidad de esta agua de lavado. Una vez que la corriente de partículas se ha separado en varias fracciones, la fracción pesada puede separarse por medio de divisores en las posiciones apropiadas en la espiral. Se puede recuperar un concentrado, una fracción media y una cola.

En la práctica, las espirales se disponen en pilas o módulos de desbastadores, agotadores y limpiadores, donde el concentrado inicial se retira para actualizar la fracción a su grado final. La longitud del espiral es generalmente de cinco o más vueltas para trabajos de desbaste y tres vueltas en algunas unidades de limpieza. Para la concentración de carbón, 6 vueltas proporcionan una pendiente más suave con un tiempo de residencia más largo para la separación más difícil.

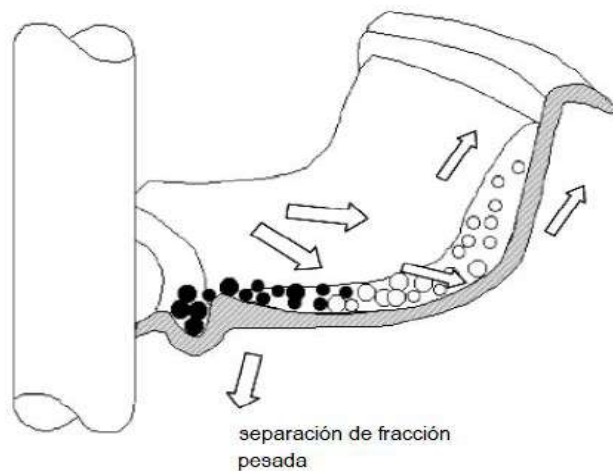
El rendimiento de las espirales depende de varios parámetros operativos. Por lo general, los espirales pueden lograr una relación de actualización de 3: 1 (fracción pesada: grado de alimentación) y, por lo tanto, se requieren tratamientos múltiples. La presencia de lamas afecta negativamente el rendimiento en espiral. Más del 5% de lamas de 45 μm afectará la eficiencia de separación. Con la inclinación pronunciada de una espiral, se pueden enrollar dos o tres espirales alrededor de la misma columna

común y este tipo de espirales se han utilizado en Australia durante más de 20 años. Las espirales de arranque múltiple conservan el espacio en el piso y los requisitos de lavado. Estas espirales de triple inicio están integradas en un módulo de doce espirales y para estos módulos, el diseño del distribuidor es fundamental para garantizar que cada espiral tenga una alimentación uniforme. Las cuchillas del divisor en estas espirales son todas ajustables para dirigir la fracción pesada a tuberías o una lavandería de recolección. La gama actual de espirales disponibles consta de varios perfiles diferentes que tienen características de separación individuales. Las dimensiones de algunas de las espirales disponibles van desde 270 - 406 mm de paso, 590 - 700 mm de diámetro y 2.1 - 2.4 m de altura.

Las ventajas que ofrecen las espirales modernas son la construcción simple que requiere poco mantenimiento, bajo costo de capital y bajo costo operativo: no se requieren reactivos, no se producen pérdidas de medios densos, se requiere poco personal operativo.

Figura 8

Sección transversal de un lavador en espiral



3.1.10 Teoría y operación del separador de gravedad específico (Air flotation)

Todos los procesadores de minerales desean tener una máquina compacta que haga todos los trabajos de limpieza y separación en una casa de semillas. Hasta el momento, nadie ha encontrado las respuestas para construir una máquina de este tipo, por lo que se utilizan parrillas, filtros de aire y muchas máquinas especiales. Una de estas llamadas máquinas especiales es un separador de gravedad específica. En el pasado, la máquina de gravedad tenía fama de ser una máquina difícil de operar y mantener ajustada. En realidad, es una máquina muy simple de operar si se entiende el principio detrás de su operación. Las dos partes principales del proceso de separación por gravedad son el aire y el movimiento de la mesa. Si entendemos cómo funcionan estas dos cosas juntas, entonces tenemos la base para un buen funcionamiento.

El principio básico de funcionamiento del separador de gravedad es que aprovecha la diferencia de tamaño, forma y gravedad específica de las partículas.

La separación real tiene lugar en dos pasos. El primero está en dirección vertical por estratificación de las partículas y el segundo está en dirección horizontal por el movimiento de la mesa y la gravedad. Ambas acciones tienen lugar al mismo tiempo en toda la plataforma del separador para proporcionar una clasificación continua del material hasta que abandone la mesa. El primer paso, la separación vertical del material, es la clave que permite realizar la separación. Si el material no se estratifica primero, el segundo paso no puede tener lugar.

La estratificación del material se logra soplando aire a través de la plataforma porosa y, de hecho, alejando el material liviano de los materiales pesados (ver la figura). Un buen ejemplo de esto sería como tomar una mano llena de corcho molido

y roca y ponerlos en un vaso de agua. El corcho flotaría sobre el agua y las rocas se hundirían hasta el fondo. Esto es exactamente lo que sucede en la cubierta de un separador de gravedad. Con la carga de la plataforma estratificada, el segundo paso está listo para tener lugar.

El segundo paso, la separación en la dirección horizontal, se logra por gravedad y por el movimiento de la plataforma. La plataforma de la máquina está inclinada en dos direcciones; desde la zona de alimentación hasta la descarga del extremo pesado y desde la zona de alimentación hasta el borde de descarga. Esta inclinación de la plataforma permite que el material ligero que flota en el aire fluya cuesta abajo por gravedad, mientras que el movimiento de la mesa transporta los materiales pesados, en contacto con la plataforma, cuesta arriba.

Se puede ver fácilmente que la estratificación del material por fluidización con aire es la clave para una separación efectiva. Además, para obtener la separación más eficiente, el material debe estratificarse tan pronto como se alimente en la plataforma. La razón de esto es utilizar la cantidad máxima de la superficie de la plataforma para hacer la separación después de que el material se haya estratificado.

Todos los puntos en la plataforma del separador no necesitan la misma cantidad de aire, ya que la profundidad de la cama y el peso del material varían según la plataforma. Se necesita la mayor cantidad de aire en la zona de alimentación porque la carga de la plataforma es la más profunda allí. Se necesita la menor cantidad de aire en la descarga del extremo ligero porque solo el material más liviano está en esta zona y el lecho de material no es demasiado profundo. Otro punto que requiere mucho aire, pero no tanto como la zona de alimentación, es a lo largo de la descarga del extremo pesado. En general, la distribución de aire a través de la plataforma del

separador debe ser la más alta en la zona de alimentación, un poco menos a lo largo del pesado riel de la banca y disminuyendo gradualmente. dos zonas, prácticamente sin flujo de aire en absoluto en la descarga del extremo ligero.

Hay cuatro ajustes simples en el separador de gravedad que controlan los factores que afectan la separación; cantidad de aire, velocidad de la mesa, elevación final y lateral.

Figura 9

Esta imagen muestra cómo debería aparecer la carga de la plataforma cuando está correctamente estratificada

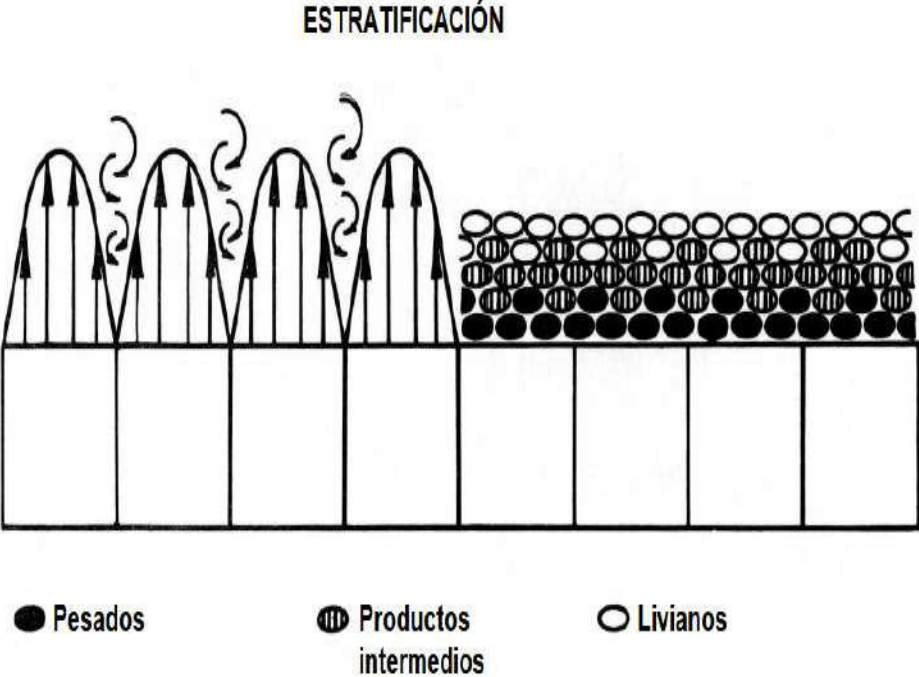
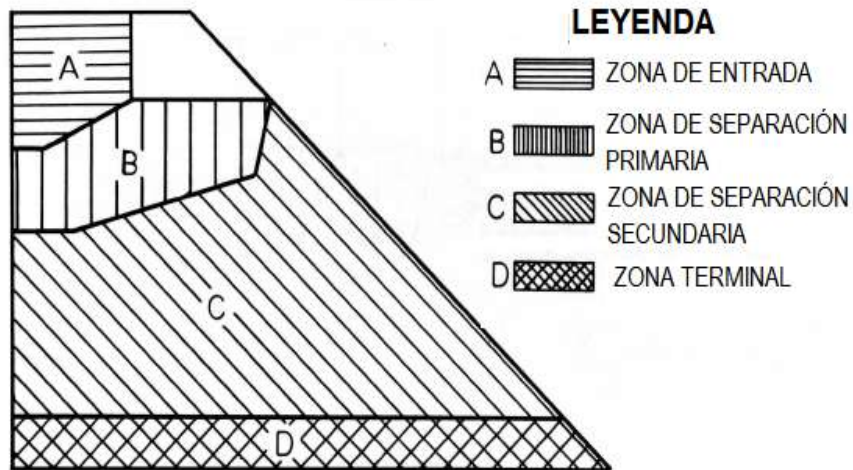


Figura 10

La estratificación se establece en la zona de entrada con una separación aproximada realizada en la zona B. En la zona C se completa la separación

ZONAS DE SEPARACIÓN DE PRODUCTOS



3.1.11 Flotación de minerales

La flotación es una de las operaciones de procesamiento de minerales más complejas, ya que se ve afectada por una gran cantidad de variables. Muchos de estos están fuera del control del ingeniero de minerales, y algunos ni siquiera pueden medirse cuantitativamente con los instrumentos disponibles. Las relaciones entre las variables medidas y controladas están estrechamente relacionadas. A veces, cambiar simultáneamente varias configuraciones de componentes reforzará un atributo particular. Además, varias configuraciones de componentes pueden cancelarse o contrarrestarse entre sí si los cambios no se eligen sabiamente. Pero en la práctica, el método comúnmente utilizado para la recuperación de minerales de plomo y zinc

oxidados de los minerales en la actualidad es la flotación (Caproni et al., 1979; Uçurum et al., 1987; Dashti et al., 2004; Pereira y Peres, 2004; Kashani y Rashchi, 2008; Silvestre et al., 2009). Los relaves de la etapa de flotación de zinc pueden contener cantidades significativas de plomo, así como minerales interferentes y de ganga (impurezas indeseables) como piritas y silicatos. El grado de oxidación en los minerales de plomo puede variar desde un ligero deslustre de la galena hasta la oxidación completa. En el caso de la galena empañada, algún promotor especial es efectivo, a veces con la adición previa de sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio. Cuando los minerales de óxido de plomo están presentes en cantidades apreciables, es una práctica habitual hacer flotar los sulfuros de plomo primero. Luego, si está presente, el sulfuro de zinc flota, seguido de la flotación de minerales de plomo. Se utiliza sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio como agente sulfurante (Önal et al., 2004). Los promotores AERO 404, 407 o 412 en combinación con isopropilo o xilato de amilo son los recolectores preferidos para los minerales de plomo (Mining Chemicals Handbook, 2002).

La flotación por espumas se considera el método más utilizado para el beneficio del mineral. En beneficio del mineral, la flotación es un proceso en el cual los minerales valiosos se separan del material inútil u otros minerales valiosos al inducirlos a reunirse en y sobre la superficie de una capa de espuma. Los minerales sulfurados y no sulfurados, así como los metales nativos, se recuperan por flotación por espuma. Este proceso se basa en la capacidad de ciertos químicos para modificar las propiedades superficiales de los minerales. Se utilizan otros productos químicos para generar la espuma y otros más para ajustar el pH. Ciertos productos químicos incluso son

capaces de deprimir la flotación de minerales que se recuperarán más adelante o no se recuperarán.

El proceso de flotación de la espuma implica la trituración y la molienda del mineral a un tamaño fino. Esta molienda fina separa las partículas minerales individuales de la roca residual y otras partículas minerales. La molienda se realiza normalmente en agua con la suspensión resultante llamada pulpa. La pulpa se procesa en las celdas de flotación, que agitan la mezcla e introducen aire como pequeñas burbujas.

La capacidad de flotación de un mineral depende de sus propiedades superficiales. La modificación química de estas propiedades permite que las partículas minerales se adhieran a una burbuja de aire en la celda de flotación. La burbuja de aire y la partícula mineral se elevan a través de la pulpa hasta la superficie de la espuma o espuma que está presente en la celda de flotación. Aunque las burbujas de aire a menudo se rompen en este punto, el mineral permanece en la superficie de la espuma. El mineral se separa físicamente del material de pulpa restante y se elimina para su posterior procesamiento.

3.1.11.1 Espumantes

Los espumantes son líquidos que producen la espuma o espuma de la que depende el proceso de flotación. La espuma se asemeja a la espuma de jabón y proporciona la separación física entre los minerales flotantes y la pulpa que contiene los desechos. La espuma debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar el peso del mineral flotante y, sin embargo, no ser tenaz y no fluir. Debe tener la tendencia a descomponerse cuando se retira de la celda de flotación. El vaporizador no debe mejorar la flotación de material no deseado. Se requieren muchas otras características

para que un agente espumante sea un buen vaporizador de flotación. Los espumadores típicos incluyen:

- aceite de pino
- ciertos alcoholes
- glicoles de polipropileno de bajo peso molecular

3.1.11.2 Colectores

Un colector es una sustancia química que se adhiere a la superficie mineral y produce una superficie hidrofóbica (temerosa del agua). Si bien ciertos minerales son naturalmente hidrófobos y no requieren un recolector, la recuperación a menudo mejora cuando se usa un recolector. Esta película repelente al agua facilita la unión de la partícula mineral a la burbuja de aire. Se utilizan muchos productos químicos diferentes como colectores, como:

- aceites
- xantatos
- ditiofosfatos
- sulfonatos de petróleo
- aminas grasas

3.1.10.3 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula al que se muele el mineral depende de la naturaleza del mineral. La molienda debe ser lo suficientemente fina como para liberar el grano mineral de la roca asociada, pero producir un tamaño de partícula demasiado pequeño es costoso y perjudicial para la recuperación.

La flotación de espuma generalmente se limita a fracciones de tamaño entre aproximadamente 65 y 100 mallas. Las partículas mayores de 65 mallas Tyler (210 micras) son difíciles de levantar para la burbuja de aire, mientras que las partículas menores de 400 mallas (37 micras) a menudo no se adhieren a la burbuja de aire.

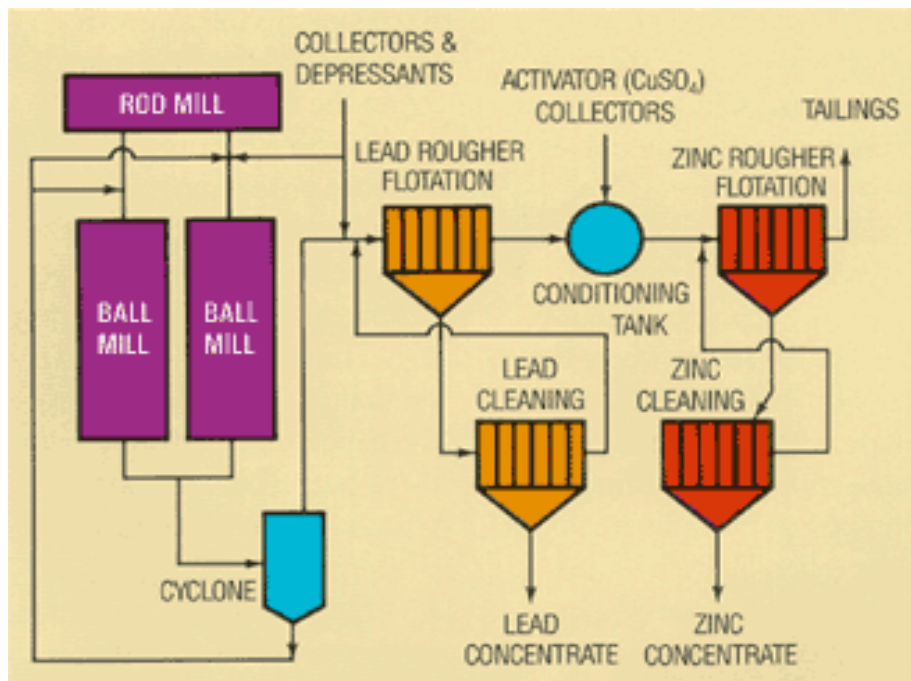
3.1.11.4 Tasa de dosificación de reactivo

Muchos factores influyen en la cantidad de reactivo requerida para una aplicación particular. Las variaciones en el tamaño particular, la masa de partículas, la cantidad de mineral y el carácter de la roca huésped son algunos de los muchos factores que influyen en el uso de reactivos.

La calidad del agua, el tamaño y tipo de equipo de flotación, la temperatura y la variación del cuerpo mineral son solo algunas de las variables que afectan el proceso de flotación.

Figura 11

Proceso de flotación del mineral de plomo/zinc



El plomo y el zinc a menudo ocurren en el mismo mineral. El cobre también está presente en algunos minerales. La flotación de espuma se emplea nuevamente para producir concentrados comercializables de ambos. El proceso es idéntico en principio a la flotación de otros minerales. La figura anterior es una versión simplificada de un circuito de flotación Pb/Zn. La principal diferencia en la flotación de plomo/zinc es que el zinc generalmente se deprime mientras que el plomo (y el cobre) flotan. La cola del circuito de flotación de plomo es la alimentación al circuito de zinc. La capacidad de flotar selectivamente los minerales separados depende del mineral, los productos químicos y otros factores.

3.2. Análisis del proceso propuesto

El desarrollo de la explotación de minerales sólidos juega un papel fundamental en el crecimiento económico de cualquier nación. Por lo tanto, el Estado Peruano, en su oportunidad, ha tomado una decisión seria hacia la diversificación económica; y como tal, ahora se dirige más interés hacia el sector de la extracción minera metalúrgica. Sin embargo, se están realizando investigaciones y estudios para explorar y procesar los depósitos minerales sólidos del país. El Perú ha sido bendecida con abundantes minerales sólidos, entre ellos el mineral de plomo que se puede encontrar en algunos lugares del país, por ejemplo, en las regiones andinas de Lima y Junín por mencionar solo algunos. El plomo es un metal pesado relativamente blando, maleable, gris azulado y es probablemente el metal descubierto más temprano que no se produce naturalmente en estado puro. El plomo generalmente se encuentra en el mineral con zinc, plata y (más abundantemente) cobre, y se extrae junto con estos metales dando prioridad a nuestro metal primario de interés (plomo). Otras impurezas que se encuentran en los lingotes de plomo son el antimonio, el arsénico, etc. El plomo

se usa en diversas aplicaciones, como baterías de plomo-ácido, proyectiles para armas de fuego, blindaje radiactivo y elementos colorantes en esmaltes de cerámica, entre otros.

El principal mineral de plomo es la galena (PbS) que contiene 86.6% de plomo. Otras variedades comunes son cerusita (PbCO_3) y anglesita (PbSO_4). Entre otros métodos, el plomo puede extraerse de su mineral utilizando métodos de flotación por gravedad y espuma. Ambos métodos se emplean en metalurgia extractiva y en varias otras industrias de procesamiento. En la metalurgia extractiva, en particular, las dos son operaciones unitarias importantes utilizadas para la recuperación y mejora de minerales de sulfuro. Por lo tanto, debido al hecho antes mencionado, entre otras necesidades, esta investigación tuvo como objetivo determinar el mejor método para ser utilizado en el beneficio del mineral de plomo de la zona alta de la Cuenca del Río Rimac, específicamente en Casapalca, utilizando métodos de flotación por gravedad y espuma como los dos métodos comparativos bajo estudio.

La mayoría de las plantas concentradoras de minerales de plomo-zinc utilizan plantas de flotación para el beneficio. La flotación de espuma es el método más utilizado para el beneficio del mineral. En el beneficio del mineral, la flotación es un proceso en el cual los minerales valiosos se separan de los materiales de las gangas u otros minerales valiosos al inducirlos a reunirse en y sobre la superficie de una capa de espuma. Los minerales sulfurados y no sulfurados, así como los metales nativos, se recuperan por flotación por espuma. El proceso de flotación se basa en la capacidad de ciertos reactivos químicos para modificar las propiedades de superficie de los minerales. Otros productos químicos se utilizan para generar la espuma, mientras que otros se utilizan para ajustar el pH. Ciertos productos químicos incluso son capaces de

deprimir la flotación de minerales que se recuperarán más adelante o no se recuperarán. El proceso de flotación de la espuma implica la trituración y la molienda del mineral a un tamaño fino. Esta molienda fina separa las partículas minerales individuales de la roca residual y otras partículas minerales.

3.2.1 Beneficio del mineral de plomo

El beneficio es el proceso por el cual la concentración del constituyente valioso en un mineral se incrementa mientras las impurezas se reducen a un nivel prácticamente aceptable. Como se aplica a los minerales metálicos, implica la mejora del valioso metal. Los minerales que pueden separarse por métodos gravimétricos deben tener una diferencia medible en densidad. Antes del advenimiento del proceso de flotación a principios de 1900, la concentración por gravedad era el método principal por el cual se concentraba el plomo y el mineral de plomo-zinc.

3.2.2 Proceso de concentración por gravedad

La concentración por gravedad es el proceso para la separación de minerales de diferentes gravedades específicas al incluir un movimiento valioso en respuesta a la fuerza gravitacional y una o más fuerzas naturales o aplicadas con la ayuda de una película que fluye. Es ampliamente utilizado a veces junto con otros procesos en flotación de partículas, separación magnética y tratamiento químico. El método se adopta para minerales de grano fino con un rango de tamaño entre 1.5 y 0.1 mm. por lo general, el mineral se muele a tal grado que los componentes que contienen metal se liberan mecánicamente de la ganga. La unidad más importante que a menudo se usa a escala industrial es la separación en espiral, es decir, la espiral de Humphrey, debido a su simplicidad y respeto al medio ambiente.

Se caracterizaron y beneficiaron al mineral de plomo/zinc de la Cia Minera Casapalca, utilizando el método de flotación de espuma en tamaños de liberación -90 +63 μm y -180 + 125 μm . descubrió que la flotación de espuma es el método más adecuado para beneficiar el depósito de mineral Pb/Zn de Casapalca con un tamaño de liberación de -90 + 63 μm . de manera similar, También se trabajaron en la separación por gravedad de mineral de plomo-oro en la zona, utilizando tres (3) métodos de separación por gravedad. Sin embargo, opinó que el mineral de plomo y oro de Casapalca respondió bien a los beneficios mediante separaciones Jigging, Multigravedad y Mesa Vibratoria.

3.2.3 Proceso de flotación de espuma

Este es el método más utilizado para el beneficio del mineral. En beneficio del mineral, la flotación es un proceso en el cual los minerales valiosos se separan del material inútil u otros minerales valiosos al inducirlos a reunirse en y sobre la superficie de una capa de espuma. Los minerales sulfurados y no sulfurados, así como los metales nativos, se recuperan por flotación de espuma. El proceso de flotación se basa en la capacidad de ciertos químicos para modificar las propiedades superficiales de los minerales.

Algunos productos químicos se utilizan para generar la espuma, mientras que otros se utilizan para ajustar el pH. Ciertos productos químicos también son capaces de deprimir la flotación de minerales que se recuperarán más adelante o no se recuperarán. El proceso de flotación de espuma implica la trituración y la molienda del mineral a un tamaño de partículas finas. Esta molienda fina separa las partículas minerales individuales de la roca residual y otras partículas minerales. La molienda se realiza normalmente en agua con la suspensión resultante (pulpa). La pulpa se

procesa en las celdas de flotación, que agitan la mezcla e introducen aire como pequeñas burbujas.

La capacidad de los minerales para flotar depende de sus propiedades superficiales. La modificación química de estas propiedades permite que las partículas minerales se adhieran a una burbuja de aire en la celda de flotación. La burbuja de aire y el tamaño de las partículas minerales se elevan a través de la pulpa hasta la superficie de la espuma de espuma que está presente en la celda de flotación. Aunque las burbujas de aire a menudo se rompen en esta región, el mineral permanece en la superficie de la espuma. El mineral se separa físicamente del material de pulpa restante y se elimina para su posterior procesamiento de acuerdo con Rubinstein (1995).

La respuesta de algunos minerales al proceso de flotación a menudo se ve afectada por el pH. Los circuitos de flotación se separan con mayor frecuencia en un rango de pH de 7.5 a 11.5. El rango exacto en cualquier planta dada está optimizado para el mineral en el sitio. La cal se usa a menudo para elevar el pH de la pulpa y también para reducir la flotación de la pirita de hierro. El tamaño de partícula al que se muele un mineral depende de la naturaleza del mineral. La molienda debe ser lo suficientemente fina como para liberar el grano mineral de la roca asociada; pero producir un tamaño de partícula demasiado pequeño es costoso y perjudicial para la recuperación. Sin embargo, la flotación de espuma generalmente se limita a fracciones de tamaño entre aproximadamente 65 y 100 mallas. Las partículas mayores de 65 mallas Tyler (210 micras) son difíciles de levantar para la burbuja de aire, mientras que las partículas menores de 400 mallas (37 micras) a menudo no se adhieren a la burbuja de aire.

CAPITULO IV

METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el beneficio de minerales se presenta el dilema de obtener mejores grados y mejores recuperaciones de las especies valiosas a partir de una mena, en muchos de los casos, los procesos de separación, como es el caso del mineral complejo plomo – zinc, que regularmente se realiza mediante procesos convencionales de flotación por espumas, no se consiguen obtener grados de concentrados adecuados, por esta razón se ha planteado dicha problemática, y hemos indagado en la bibliografía, posibles soluciones, para el efecto hemos continuado con el planteamiento de la investigación, usando la metodología científica, para obtener nuestros objetivos, justificaciones e hipótesis, de las mismas deducimos las variables para ser operativizadas y luego llevar a cabo nuestro proceso de experimentación, obtener los resultados que son procesados para luego presentarlos y discutirlos.

4.1. Métodos de investigación

4.1.1 Materiales

Para el estudio se ha procurado obtener muestras seleccionadas a mano de tal forma que se obtenga un composito muestral que consista fundamentalmente de

galena y esfalerita, con sus constituyentes de ganga, estos son proporcionados del Departamento de Geología y Exploraciones de la Unidad Minera.

Los reactivos a emplear son:

- Xantato isopropílico de sodio
- H_2SO_4
- NaOH
- Aceite de pino
- NaCN
- Agua corriente

4.1.2 Equipos

Equipo de preparación de muestras: Chancadora, Zaranda Orbital, Molino de barras, cuarteadores.

Equipo de concentración gravimétrica: Mesa Vibratoria, Espiral Humprey y Concentrador Air Float.

Equipo para pruebas de flotación: Máquina de flotación de laboratorio Denver con celda de 1000 mL, equipo de filtrado, secador de muestras y balanza para pesado de los productos.

4.1.3 Método

Antes de desarrollar las pruebas gravimétricas y de flotación se realiza la molienda de acuerdo a las necesidades de los experimentos, con la finalidad de conformar la pulpa respectiva, en el molino de laboratorio.

En el caso de las pruebas de flotación se realizan en condiciones estándares de proceso agregándole los reactivos respectivos de acuerdo al diseño experimental.

Los resultados finalmente son procesados, presentados y discutidos.

4.2. Procedimiento experimental

Una muestra de 50 kg de mineral de plomo - zinc se obtendrá de muestrear un lote de mineral en el depósito de minerales de la Planta Concentradora de la Compañía Minera Casapalca.

4.2.1 Métodos

Las muestras recogidas estaban en forma de rocas con un tamaño que oscilan entre 20 cm y 50 cm de diámetro. Se reducirán el tamaño mediante trituración usando una trituradora de mandíbula Denver para reducir el tamaño de la muestra a aproximadamente 5 cm, con una trituración adicional en la trituradora de cono de Denver y finalmente se reducirá el tamaño en la trituradora de rodillo Deco para tamizar un tamaño de análisis de tamaño inferior a 2 mm en el mineral laboratorio metalúrgico de la planta concentradora. Y se reducirá aún más el tamaño a un tamaño de flotación de espuma de $-90 + 63 \mu\text{m}$ usando la fresadora de bolas de laboratorio Bico Sprecher Schuh6, utilizando un método de muestreo aleatorio.

4.2.2 Composición química de la muestra de plomo

Esto se realizó mediante análisis químico de la muestra de zinc - plomo de la Compañía Minera Casapalca molido; que se llevó a cabo mezclando la muestra minuciosamente hasta la etapa homogeneizada, seguido de muestreo utilizando muestras de rifles.

La muestra resultante se cargó luego en una taza de análisis, se presionó hasta una etapa bien compactada; que luego se introdujo para el análisis utilizando el analizador de espectrómetro de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía panipanal minipal (ED-XRFS) del laboratorio de minerales de la empresa.

4.2.3 Análisis fraccional del tamaño del tamiz de la muestra de plomo

Se recogieron 2 kg de muestra de mineral de plomo-zinc del lote de 50 kg destinado a todo el trabajo de investigación utilizando el método de muestreo de cono y trituración; Se cargaron 100 g de este en una matriz de tamices colocados en un agitador de tamiz de prueba Endecott automatizado con un juego completo de tamices, modelo EFL2mk11 (5471) que varía de + 1400 μm a -63 μm utilizando la fórmula raíz dos ($\sqrt{2}$). Esta máquina se hizo funcionar durante 30 minutos, después de lo cual se descargó, pesó y registró el contenido de cada tamiz utilizando la balanza de pesaje digital Camry 25k5055 para determinar el tamaño de liberación del mineral de plomo-zinc en estudio.

4.2.4 Análisis de tamaño de grano

El análisis del tamaño de grano se determinó en la división de Mineralogía de NMDC, Jos; mediante el uso del microscopio óptico Leco. La muestra se cortó, se moldeó montando la muestra de plomo-zinc usando polvo de baquelita en una prensa de montaje a una temperatura de ajuste de 3500 °C.

La molienda y el pulido de la muestra preparada se realizó usando papel de granulado en un microscopio calibrado. Esto muestra el tamaño de grano de la muestra de mineral de plomo-zinc en diferentes formas, colores, medidos en un intervalo de clase de 0.002.

Finalmente, el intervalo de clase y la frecuencia se usaron para calcular la desviación estándar que proporcionó el tamaño de grano requerido del mineral de plomo zinc e invariablemente su tamaño de liberación.

4.2.5 Métodos de beneficio

4.2.5.1 Método de concentración en mesas vibratorias Wilfley

Se cargaron 5.0 kg de mineral de plomo-zinc triturado hasta el tamaño de liberación requerido de $-710 + 500 \mu\text{m}$ en la mesa agitadora wilfley modelo 130 A del laboratorio de la Planta Piloto de Beneficio Mineral de Compañía Minera Casapalca, Jos después de formar una mezcla mezclada con agua en una proporción de 1: 5 con la plataforma inclinada a 180° a una velocidad de alimentación de 50 litros por hora, la velocidad de la plataforma establecida en 250 revoluciones por minuto (RPM). Los productos resultantes se pesaron, tomaron muestras y se analizaron para determinar su composición química.

4.2.6 Método de concentración en espiral

Se usaron 5.0 kg de la muestra de plomo preparada en su tamaño de liberación de $-710 + 500 \mu\text{m}$. Esto se mezcló con 25 litros de agua para formar una suspensión de proporción 1: 5 con densidad de pulpa a 3.2, es decir, 25%. Esto se introdujo en la cámara de carga del concentrador espiral Humphrey Modelo B124TA a una velocidad de alimentación de 50 litros por hora y su válvula se ajustó a 2 cm de ancho. Los productos resultantes (concentrado y colas) se recogieron en un cubo de 30 litros, se dejó durante la noche (12 horas) para que sedimentara, después de lo cual se decantó, se mezcló, se pesó y se recogió la muestra para el análisis de la composición química utilizando la máquina de análisis ED-XRFS.

4.2.7 Método de concentración por gravedad

Se pesaron 5.0 kg del mineral con un tamaño de tamiz de $-710 + 500 \mu\text{m}$ y se alimentó a través de la tolva de carga a la plataforma de la máquina flotante Kip Kelly Air modelo My-1151, tamaño 300 a una velocidad de alimentación de 50 kg por hora

con una entrada apertura de aire a 2 cm en una inclinación de cubierta inclinada en un ángulo de 180° respectivamente. El medio resultante en los cubos 3 y 4 se recicló, mientras que la muestra de concentrado y colas se pesaron y se tomaron para análisis de composición química usando el analizador ED-XRFS.

4.2.8 Método de flotación de espuma

Se alimentó 1.0 kg de muestra de mineral de plomo-zinc preparada de tamaño de tamiz -710 + 63 μm en la celda de flotación de espuma Denver, con 1000 ml de agua introducida, se agitó durante 5 minutos, se probó el pH y se ajustó a 8 usando hidróxido de sodio (NaOH) seguido de la adición de cianuro de sodio como depresor, 2 gotas de isopropil xantato de sodio ($\text{Na}^+ [\text{CS}_2\text{-O-C}_3\text{H}_7]$). Luego se introdujo aire, se formó espuma, se extrajeron las burbujas de espuma en el recipiente receptor. Se permitió que estos productos se sedimentaran durante 24 horas, después de lo cual se decantó, se secó, se pesó y se muestreó para la composición química usando ED-XRFS.

4.3. Presentación y discusión de resultados

Los resultados del trabajo de investigación realizado se muestran en las tablas 4-10.

Tabla 4*Análisis químico del mineral bruto de plomo-zinc*

Composición en%	CaO	MgO	Al₂O₃	SiO₂	TiO₂	CuO	Fe_T	Pb	S	P	Zn	Cd	Ag
Mineral de plomo y zinc crudo	4.17	0.01	1.62	29.40	0.16	0.03	0.15	38.78	22.8	0.04	2.76	0.10	0.03

Tabla 5*Resultado del análisis de tamaño de pantalla del mineral de plomo-zinc*

Tamaño de tamiz (mm)	Peso (gm)	Peso (%)	Peso acumulado % retenido	Peso acumulado. % de aprobación	%Pb
+1.0	24.2	24.25	24.25	75.75	32.43
-1.0 + 0.71	13.2	13.23	34.48	65.52	31.64
-0.71 + 0.500	12.7	12.73	50.21	49.79	42.54
-0.500 + 0.355	12.3	12.33	62.54	37.46	35.76
-0.355 + 0.25	11.5	11.52	74.06	25.94	29.93
-0.25 + 0.180	9.3	9.32	83.38	16.62	34.23
-0.180 + 0.125	7.5	7.52	90.90	9.10	34.46
-0.125 + 0.09	5.8	5.81	96.71	3.29	33.91
-0.09 + 0.063	2.8	2.81	99.52	0.50	41.98
-0.063	0.5	0.50	100.0	0.00	38.43
	99.8	100.0			

Tabla 6

Resultado de cristales de granos medidos de mineral de zinc y plomo

Intervalo e clases	Punto medio X	Frecuencia F	Fx
0.001-0.200	0.100	443	44.3
0.201-0.400	0.300	277	83.1
0.401-0.600	0.500	275	137.5
0.601-0.800	0.700	252	176.4
0.801-1.000	0.900	178	160.2
1.01-1.200	1.100	75	82.5
Total		$\Sigma F=1500$	$\Sigma Fx = 684.0$

En la Tabla 2, se midió el cristal de grano de mineral de zinc y plomo usando una desviación estándar de 0.456 mm, que es científicamente 0.456 mm (456 μm).

$$X = \frac{\Sigma Fx}{\Sigma F} = \frac{684.0}{1500.0} 684.0 = 0.456\text{mm} = 0.456\text{mm} (500\mu\text{m})$$

Figura 12

Registro - Gráfico de registro del% de peso acumulado retenido frente al% de peso acumulado que pasa del mineral de zinc de plomo Sabon Layi

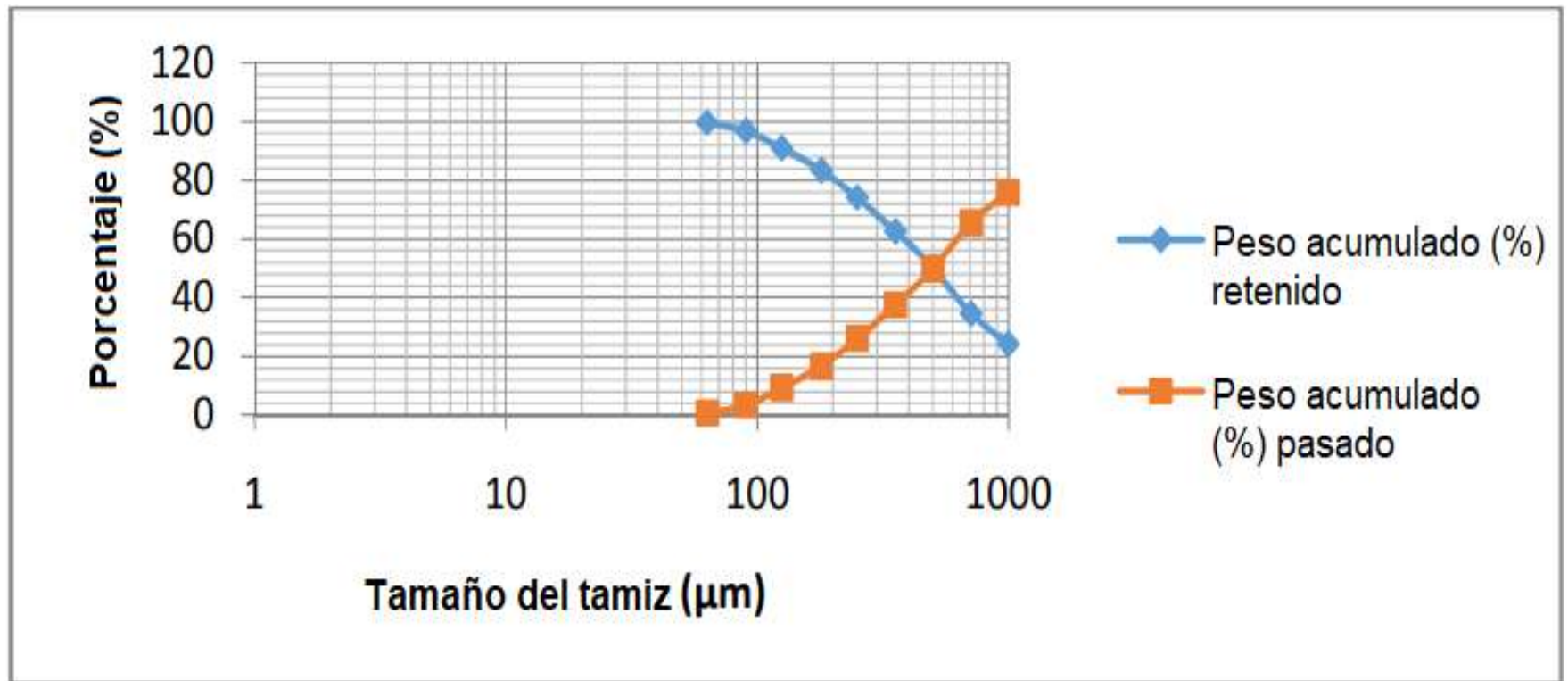


Tabla 7

Composición química del mineral de plomo - zinc procesado utilizando los métodos de Wilfley, Espiral, Flotación por aire y Flotación por espuma.

Composición en%		CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CuO	Fe _T	Pb	S	P	Zn	Cd	Ag
Wilfley		1.62	0.06	0.71	0.26	1.01	0.09	0.08	66.24	16.24	0.02	2.34	0.13	0.09
	Relaves	3.26	0.01	2.63	60.92	1.21	2.11	1.67	16.82	7.24	0.26	1.94	0.06	0.03
Espiral		1.98	0.05	0.82	12.34	1.58	0.09	1.34	57.71	19.12	0.04	4.41	0.07	0.05
	Relaves	4.03	0.01	2.76	64.71	1.86	1.96	10.93	16.24	6.23	0.04	3.02	0.08	0.03
Aire flotante		1.51	0.01	0.53	1.07	0.01	0.01	0.07	72.11	23.92	0.02	0.01	0.26	0.15
	Relaves	2.63	0.03	1.02	68.35	1.32	1.06	1.72	12.23	3.62	0.32	7.63	0.01	0.01
Espuma		1.32	0.06	0.071	12.61	2.04	1.94	3.73	61.89	10.61	0.03	1.23	0.32	0.14
Flotación	Relaves	3.02	0.13	1.02	60.04	1.26	1.12	1.71	19.72	4.63	0.03	6.34	0.01	0.00

Tabla 8*Recuperación de plomo en el mineral de zinc plomo*

		Peso. Gráfico (kg)	Wt. % de Productos	% Pb	Recuperación
Wilfley		5.0	1.96	66.24	66.96
	Relaves		3.04	16.82	26.37
Espiral		5.0	2.11	57.71	62.80
	Relaves		2.89	16.24	24.21
Aire flotante		5.0	1.58	72.11	58.76
	Relaves		3.42	12.23	21.57
Espuma Flotación		5.0	0.36	60.89	56.84
	Relaves		0.64	19.72	32.55

4.4. Discusión de resultados

El resultado del análisis químico (XRF) del mineral de plomo-zinc crudo de la Compañía Minera Casapalca se presenta en la Tabla 1, muestra que el mineral de plomo-zinc crudo contiene 38.78% de Pb, y también está asociado con ganga que requiere que el beneficio sea aislado del mineral de interés (plomo). Entre estos minerales de ganga se encuentran SiO₂ (29.40%), Zn (2.76%), Azufre (22.8%) y otros minerales de ganga como Fe, P, CaO, etc.

Según el resultado, es evidente que el mineral cumple con el requisito estándar típico de 1 - 5% de Pb y 1 - 10% de Zn para la exploración de un campo de minas para este mineral en particular.

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis del tamaño del tamiz, se observa que a -0.71 + 0.500 mm, el% de peso acumulado retenido y el% de peso acumulado que pasa son 50.21 y 49.79 respectivamente, por lo que se obtiene un ensayo de 42.54% Pb. Con un tamaño de tamiz de -0.09 + 0.063 mm, se puede observar en la tabla que el% de peso acumulado retenido fue de 99.52% mientras que el% de peso acumulado que pasó fue de 0.50%, pero analizó 41.98% de Pb, lo que sugiere que en estos dos tamaños de partículas, se podría decir que el beneficio es más efectivo en comparación con otros tamaños de tamiz de partículas, por lo tanto, a -0.71 + 0.500 mm, el método de beneficio por gravedad sería efectivo ya que los tamaños de partículas en el tamaño de liberación son gruesos, mientras que a - 0.09 + 0.063 mm, el método de flotación de espuma podría emplearse ya que los tamaños de partícula son más finos.

La Figura 1 muestra la gráfica del % de peso acumulado retenido frente al% de peso acumulado que pasa por el mineral, se puede observar que a partir del gráfico, había una intersección de las dos curvas en tamaños de tamiz de 500 µm

que podría considerarse el tamaño de tamiz óptimo para beneficio Este tamaño óptimo de tamiz se confirma aún más por los resultados en la tabla 2, con $-0.71 + 0.500$ mm con un% de peso acumulado retenido y un% de peso acumulado que pasa de 50.21 y 49.79 respectivamente, que caen dentro del mismo rango, y también el resultado en la tabla 3 que muestra el tamaño de cristal de grano que se considera óptimo como 0,456 mm (aproximadamente 500 μ m). Sin embargo, la energía requerida para reducir el tamaño del mineral al tamiz $-0.09 + 0.063$ mm sería enorme y poco rentable según lo informado por Wills (2006); Dado que con un tamaño de partícula $-0.71 + 0.500$ mm, se puede obtener un ensayo de 42.54% Pb en comparación con 41.98% para el $-0.09 + 0.063$ mm.

La Tabla 4 muestra la composición química del mineral de plomo-zinc procesado utilizando las técnicas de flotación por gravedad y espuma, mientras que la Tabla 5 presenta los ensayos y la recuperación de plomo después del beneficio. Se puede observar en la tabla 4, que los ensayos de concentrado y relaves para plomo (Pb) son 66.24% y 16.82% para la tabla de agitación Wilfley respectivamente, mientras que sus recuperaciones son 66.96 y 26.37 como se muestra en la tabla 5 respectivamente. Por otro lado, los ensayos de concentrado y relaves para Pb en el método de flotación de aire son 72.11% y 12.23%, mientras que sus recuperaciones son 58.76 y 21.57 como se muestra en las tablas 4 y 5 respectivamente, lo que demuestra que el método de flotación de aire produce un mayor grado de 72.11% Pb pero con una baja recuperación (58.76) en comparación con el método de Wilfley que produce un ensayo de 66.24% Pb que está ligeramente por encima del grado de alimentación aceptable requerido como carga en el alto horno y una recuperación de 66.96% que es mejor que cualquiera de los otros procesos. El método espiral tiene un ensayo de concentrado y relaves de

57.71% y 16.24% y una recuperación de 62.80 y 24.21 respectivamente, mientras que el método de flotación de espuma tiene concentrado y relaves que evalúan 61.89% y 19.72%, y recuperaciones de 56.84 y 32.55 respectivamente. Se puede decir que el método en espiral y los métodos de flotación por espuma no son adecuados para este mineral en particular, ya que no cumplen con el ensayo aceptable como alimentación para carga en el alto horno a pesar de que tienen altas recuperaciones.

Por lo tanto, tanto Wilfley como el flotador de aire cumplieron con la condición requerida para la producción de concentrado para la producción de plomo (Pb) requerida como carga en el alto horno.

CONCLUSIONES

Del trabajo de investigación, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) El flotador de aire y la mesa Wilfley produjeron el concentrado requerido como estándar para la alimentación en la producción de metal de plomo utilizando el mineral de plomo-zinc de la Compañía Minera Casapalca.
- 2) Sin embargo, debido al alto ensayo de plomo en el flotador de aire (72.11%) y a una recuperación de 58.76 en comparación con el método de concentración en mesas vibratorias Wilfley con el ensayo de 66.24 y la recuperación de 66.96, por lo tanto, es aconsejable utilizar el método de flotación de aire para esta producción.
- 3) Teniendo en cuenta la implicación económica de la molienda en la medida en que el 66.24% de ensayo y 66.96 de recuperación cumplieron con el estándar requerido de 65% de Pb requerido como carga, se prefiere el método de la mesa de agitación de Wilfley con alta recuperación al método de flotación por aire.

RECOMENDACIONES

1. Aquí se recomienda que, cuando se requiera un ensayo alto de 72.11% de Pb con una baja recuperación de 58.76%, se debe considerar el método de flotación de aire de los relaves.
2. Mientras que cuando se requiere un ensayo relativamente más bajo de 66.24% Pb con una alta recuperación de 66.96% que están todos dentro de los requisitos estándar ya que se requiere carga, es aconsejable el método de concentración en mesas vibratorias Wilfley.
3. Se debe seguir investigando nuevos procesos combinados de concentración de minerales, de tal forma que se obtengan mejores resultados, tanto en las recuperaciones y leyes de los concentrados de los metales valiosos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benigno Ramos Q. (1985). PROCESAMIENTO DE MINERALES. Ed. UNI, Lima.
- Blazy, Pierre. (1980). EL BENEFICIO DE LOS MINERALES. Ed. Rocas y Minerales, Madrid.
- Burt, R. O., (1992). Gravity Concentration Of Ultrafines-A Literature Review Of Centrifugal Concentrating Devices. Mda Report.
- Cerrón M., Mario. (1983). PRINCIPALES CÁLCULOS METALÚRGICOS EN PLANTAS CONCENTRADORAS DE MINERALES. (Copias mimeografiadas). UNCP.
- Currie, John M. (1984). OPERACIONES UNITARIAS EN PROCESAMIENTO DE MINERALES. Trad. por Chia Aquije, J. y Chia Aquije, L., Lima - Perú.
- Cyanamid.(1988). Manual De Productos Químicos Para La Minería. Edición Comercial, México.
- Dana, Hulburt. (1965). MANUAL DE MINERALOGIA. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, España.
- Kelly E. and Spottiswood D. (1990). INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE MINERALES. Editorial Limusa S.A., Mexico D.F.
- Manzaneda C., José. (1990). PROCESAMIENTO DE MINERALES. UNI, Lima - Perú.
- Microsoft Word – Mining. Eng. Handbook. (2009) Froth Flotation – Fundamental Principles.
http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf
- Quiroz N., I. (1987). INGENIERIA METALURGICA - OPERACIONES UNITARIAS EN PROCESAMIENTO DE MINERALES. Texto UNI, Lima - Perú.

- Rosenqvist, T. (1987). "Fundamentos de metalurgia extractiva", Centro Regional de Ayuda Técnica (AID), México.
- Wills, B. A. (1992). Mineral Processing Technology. 5th. Edition, Pergamon Press, Oxford.
- Taggart, Arthur F. (1945). HAND BOOK OF MINERAL DRESSING. John Wiley & Sons, Inc, London.
- Villachica, C. (1999). TOTAL FLOTATION AND BACKFILL: CLEAN TECHNOLOGY FOR POLYMETALIC ORES", International Mining and Environmental Congress "Clean Technology: Third Millennium Challenge. Lima, Perú.

ANEXOS



