

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
“OBTENCIÓN DE MINERALES
SULFURADOS DE ZINC A PARTIR
DE RELAVES MINERALES
SULFURADOS”

AUTOR:

ING° OSCAR MANUEL CHAMPA HENRIQUEZ

(PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de octubre 2017 al 30 de setiembre
2018)

(Resolución de aprobación N° 958-2017-R)

Callao, 2018

ÍNDICE

	Pág.
I. ÍNDICE	1
TABLAS DE CONTENIDO	3
II. RESUMEN	6
ABSTRACT	7
III. INTRODUCCIÓN	8
3.1. Exposición del Problema de la Investigación	8
3.1.1. Problema General	8
3.1.2. Problemas Específicos	8
3.1.3. Objetivo General	8
3.1.4. Objetivos Específicos	9
3.2. Importancia y Justificación de la Investigación	9
3.2.1. Importancia	9
3.2.2. Justificación	9
IV. MARCO TEORICO	10
4.1. Antecedentes	10
4.2. Flotación de minerales	12
4.2.1. Caracterización del Mineral de Mina	13
4.2.3. Reactivos de Flotación para Minerales	16
4.3. Evaluación de las condiciones de almacenamiento de los relaves	18
4.4. Proceso de flotación de relaves	20
4.4.1. Análisis de la materia prima	20
4.4.2. Etapas del proceso de flotación de relaves	22
V. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1. Materiales y equipos	23
5.1.1. Materiales	23
5.1.2. Equipos y accesorios	23
5.1.3. Ubicación y localización geográfica del asiento	



Minera de Cercapuquio S.A.	25
5.2. La población y muestra de la investigación	26
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos	
de recolección de datos	26
5.3.1. Diseño Experimental	33
5.3.2. Procedimiento experimental	39
5.4. Técnicas de análisis o los métodos estadísticos	
Aplicados	49
5.5. Investigación básica – Metodología	50
VI. RESULTADOS	51
VII. DISCUSIÓN	57
VIII. REFERENCIALES	59
IX. APÉNDICES	61
X. ANEXOS	64



TABLAS DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 4.1	Análisis general de Mineral de Mina	12
Cuadro N° 4.2.	Análisis Químicos de los Relaves frescos	14
Cuadro N° 4.3	Análisis químico de los relaves antiguos, 1937-1943	15
Cuadro N° 4.4	Análisis químico en una muestra común de los relaves antiguos, periodo 1937-1956	15
Cuadro N° 5.1	Tonelaje de Relaves, de Plomo y generales, almacenados de 1937 a 1956 y los correspondientes contenidos metálicos de zinc y plomo	46
Cuadro N° 5.2.	Reservas determinadas por el método estadístico	47
Cuadro N° 5.3	Resultados del análisis y granulométrico de una muestra general del común de los relaves antiguos	50
Cuadro N° 5.4	Resultados del análisis químico y granulometría de una muestra general común de una Sección de los relaves antiguos	51
Cuadro N° 5.5	Tonelaje de relaves de Plomo y generales, almacenados de 1937 a 1956 y los correspondientes contenidos metálicos de zinc y plomo	53
Cuadro N° 5.6	Reservas determinadas por el método estadístico	54
Cuadro N° 5.7	Resultados de la cubicación de reservas de relaves posterior a 1956	55
Cuadro N° 6.1	Promedio de 10 turnos de trabajo en la concentradora tomadas aleatoriamente	57
Cuadro N° 6.2	Promedio de los 5 mejores resultados de las pruebas experimentales realizadas	58
Cuadro N° 9.1	Pruebas experimentales de la flotación de relaves	62



INDICE DE FIGURAS

Figura N° 4.1	Estructura de un Depósito de Relaves	19
Figura N° 5.1	Máquina de flotación y accesorios	24
Figura N° 5.2	Relavera de la Unidad Minera	30
Figura N° 5.3	Lotes de Muestra por Bulk Sampling	30
Figura N° 5.4	Muestreo Puntual – Chip Sampling	31
Figura N° 5.5	Muestra enviada a Lima	35
Figura N° 5.6	Tamizado de muestra	40
Figura N° 5.7	Preparación del equipo para el Acondicionamiento	45
Figura N° 5.8	Flotación Rougher	47
Figura N° 5.9	Preparación para el “plateo”	48



INDICE DE TABLAS

Tabla N° 5.1	Análisis Granulométrico del relave	40
Tabla N° 5.2	Análisis químico de agua utilizada	41
Tabla N° 5.3	Densidad de Pulpa	42
Tabla N° 6.1	Resultados del análisis químico y Granulométrico de una muestra General del Común de los Relaves Antiguos	53
Tabla N° 6.2	Resultados del análisis químico y Granulométrico de una muestra General del Común de una sección de los Relaves Antiguos	53
Tabla N° 6.3	Variables consideradas para las pruebas experimentales de cinética de flotación	54
Tabla N° 6.4	Consumo promedio de reactivos en el tratamiento de los Relaves Antiguos	54
Tabla N° 6.5	Promedio de 10 turnos de trabajo en la Concentradora de Cercapuquio tomadas Aleatoriamente	55
Tabla N° 6.6	Pruebas Experimentales de Flotación de Relaves	55
Tabla N° 6.7	Promedio de los 5 mejores resultados de las pruebas experimentales realizadas.	56



II. RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo fue la de producir concentrados de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados almacenados a través de los años de tratamiento en una planta concentradora.

Las pruebas metalúrgicas experimentales se guiaron de acuerdo al diseño establecido teniendo como variables la densidad de pulpa de tratamiento, la granulometría del relave y los reactivos químicos de flotación.

Los concentrados obtenidos fueron aceptables y similares a materias primas constituidas por mezclas de relaves y minerales frescos.

Así por ejemplo, con una ley de cabezas (relave) de 5% de zinc se obtuvo un concentrado de 38.1% de ley de zinc en peso, con radio o razón de concentración (R) igual a 11.1, con eficiencia (E) igual a 64.58%

Las condiciones que se dieron para la obtención de los resultados en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC, fueron excelentes, tanto para la manipulación de los relaves en el equipo de flotación Denver D-12, como en la preparación de la pulpa y de los reactivos químicos.

Palabras Claves: Flotación de relaves, reactivos de flotación, tamizado.



ABSTRACT

The main objective of this work was to produce sulphide zinc mineral concentrates from sulfur-containing mineral tailings stored through the years of treatment in a concentrator plant.

The experimental metallurgical tests were guided according to the established design having as variables the density of the treatment pulp, the particle size of the tailings and the chemical flotation reagents.

The concentrates obtained were acceptable and similar to raw materials constituted by mixtures of tailings and fresh minerals.

For example, with a head law (tail) of 5% zinc was obtained a concentrate of 38.1% zinc grade by weight, with radius or concentration ratio (R) equal to 11.1, with equal efficiency (E) to 64.58%

The conditions that were given for obtaining the results in the laboratory of operations and unit processes of the Faculty of Chemical Engineering of the UNAC, were excellent, both for the handling of the tailings in the flotation equipment Denver D-12, in the preparation of the pulp and the chemical reagents.

Key Words: Floating tailings, flotation reagents, sieving.



III. INTRODUCCIÓN

3.1. Exposición del Problema de la Investigación

A nivel nacional y mundial existen miles de toneladas de relaves minerales, que muchos, en algunos casos, contaminan el medio ambiente. Estos relaves contienen materiales de valor que no han sido extraídos adecuadamente en el proceso de concentración.

Se cuenta con muchos profesionales del área de Metalurgia avocados a la tarea de encontrar técnicas que permitan la recuperación de estos productos, es por ello, que el presente trabajo trata de conseguir un método que permita obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados.

El enunciado del problema de la investigación y los problemas específicos fueron:

3.1.1. Problema General

¿Cómo debe ser el proceso para la obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves?

3.1.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es la información existente sobre minerales sulfurados obtenidos a partir de relaves?
2. ¿Cuáles son las condiciones de almacenamiento de los relaves de minerales sulfurados de zinc?
3. ¿Cuál es la tecnología adecuada para la obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves?

Los objetivos planteados en este trabajo fueron:

3.1.3. Objetivo General

Obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados.



3.1.4. Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar la información existente sobre minerales sulfurados de los depósitos de relaves para evaluar las alternativas de pruebas de identificación.
- Evaluar y cuantificar las condiciones de almacenamiento de minerales sulfurados de zinc, de los relaves minerales sulfurados.
- Conseguir la información necesaria que permita seleccionar la tecnología adecuada para obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados.

3.2. Importancia y Justificación de la Investigación

3.2.1. Importancia

El aprovechamiento de los volúmenes de estos relaves depositados en grandes áreas de terreno andina, utilizando los recursos físicos, técnicos y humanos del que se dispone y sin necesidad de nuevas inversiones en equipo industrial, adquiere importancia porque se desarrolla tecnología que serviría de base para tratamientos similares en las diferentes unidades minero-metalúrgicas del país. (Champa O. 1999).

3.2.2. Justificación

No hay que olvidar que los minerales son recursos naturales agotables y que el tratamiento de sus relaves beneficiaría a propietarios y trabajadores porque no perderían sus fuentes de ingreso económico, y además se utilizarían las mismas maquinarias e infraestructura de la planta concentradora que trata minerales frescos, es decir, que este tratamiento garantizaría la continuidad del funcionamiento de las plantas de concentración de las empresas mineras. (Champa, O. 1999).



IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes del estudio.

Ha transcurrido más de cien años del empleo de la flotación como proceso industrial para la concentración de minerales sulfurados. Se vive en una civilización que no podría existir y cumplir sus objetivos sin la disponibilidad de materias primas minerales, la mayor parte de las cuales se beneficia por flotación. (Sutulov, A. 1963)

En nuestro país, la mayor parte del producto nacional está relacionado con minerales que se concentran por flotación. (Champa, O. 2013).

La idea de utilizar los relaves en reemplazo del mineral crudo, se generó por el agotamiento de los yacimientos de este mineral, y por el contenido de productos útiles encerrados en estos residuos. Estas razones han parecido suficientes para tratar los relaves por flotación y recuperar estos productos útiles. (Champa, O. 2013).

La mayoría de empresas minero-metalúrgicas tienen oficinas de investigaciones metalúrgicas y realizan pruebas de flotación mezclando relaves con minerales crudos, utilizando en lo posible, los mismos reactivos químicos de flotación. El comportamiento de estas mezclas varía al incrementarse la cantidad de relaves; es por ello que el tratamiento de relaves al 100% en el proceso de flotación va a requerir una variación en la secuencia de operaciones hasta la obtención de concentrados. (Champa, O. 2013).

Pese a su aparente simplicidad el proceso de flotación se puede considerar como un proceso moderno, cuyos fundamentos teóricos y tecnológicos fueron desarrollados solo en el siglo XX. Sin embargo, como todos los grandes descubrimientos este proceso tiene antecedentes históricos que se pueden remontar hasta varios siglos atrás. En este sentido, el padre de la historias Herodoto (484-425 A.C.), en una de sus



obras informa que éstos, más de 2500 años, atrás usaban plumas grasosas de ganso y otras aves para hacerlas pasar a través de las arenas auríferas, y en una corriente de agua recuperar las partículas de oro adheridas a la grasa de las plumas (Gaudin,A, 1957). El mismo autor informa también que en el siglo XV los persas usaban un método de concentración de piedras ultramarinas y azuritas, que estaba basado sobre la mojabilidad selectiva de ciertos minerales con aceites y agua. Este método se practicó hasta el siglo XIX.

Sin embargo los antecedentes señalados indican que en aquellas épocas no tenían una idea clara sobre el fenómeno de flotación y sí en cierto modo lo usaban más bien como un arte o fenómenos curioso, aislado, cuya generalización estaba todavía lejana. Además estos conocimientos tenían poca difusión y de este modo el proceso de flotación o los procesos que en sus elementos se parecen a él se pueden considerar inexistentes hasta la segunda mitad del siglo XIX (Sutulov, A. 1963).

En las oficinas de investigaciones metalúrgicas de la planta concentradora de minas de Cercapuquio se realizaron pruebas de flotación de relaves minerales sulfurados, mezclados con minerales frescos, obteniéndose resultados positivos que fueron referenciales para el trabajo de investigación con relaves minerales sulfurados de zinc, como mineral de cabeza.

En la actualidad hay trabajos de tratamiento de relaves mineros de diferentes clases de minerales de carácter polimetálico (cobre, plomo, zinc) pero no de minerales sulfurados de zinc como nos menciona Dominic Mihovilovic y otros en el Manual General de Minería y Metalurgia (2006).

En este contexto nos hace referencia sobre los residuos mineros en general y en particular sobre los relaves de minerales de cobre y sus estudios de recuperación; pero hay poca información sobre la recuperación de zinc.

Indudablemente, cada tipo de mineral va a constituir un problema muy particular en su tratamiento debido a sus propias características.



4.2. Flotación de minerales

Los procesos de flotación se utilizan para concentrar minerales y otras especies químicas.

La flotación de espuma, es un método físico-químico de concentración de minerales finamente molidos, que aprovechan la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral útil y la ganga (Marsden, J. 1960).

El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral a fin de crear condiciones favorables para la anexión de ciertas partículas minerales a las burbujas de aire. Estas burbujas de aire llevan consigo los minerales seleccionados a la superficie de la pulpa y forma una espuma estabilizada que es recogida mientras los otros minerales permanecen sumergidas en la pulpa y constituyen las colas o relaves (Marsden, J. 1960).

Actualmente la flotación es el método más utilizado en la concentración de minerales; se le usa para procesar casi todos los minerales sulfurados.

La flotación puede aplicarse a minerales de baja ley y a minerales que requieren molienda fina para lograr la liberación del producto útil. Como se trata de un proceso relativamente selectivo. Como se trata de un proceso relativamente selectivo, una aplicación importante está en la concentración de minerales valiosos contenidos en minerales polimetálicos, como por ejemplo, en sulfuros que contienen, cobre, plomo y zinc.

Para optimizar el proceso de flotación se llevan a cabo pruebas en laboratorio experimentales. Las pruebas se efectúan en celdas de flotación semi-batch de 5.5 litros de capacidad.

El procedimiento de preparación de muestras de un mineral de alimentación, requiere de una etapa de reducción de tamaño hasta lograr la granulometría adecuada de acuerdo al plan experimental de flotación.



4.2.1. Caracterización del Mineral de mina.

Como se seleccionaron los relaves de minerales sulfurados generados por la explotación del yacimiento minero por la compañía Minas de Cercapuquio S.A., se consideró pertinente dar a conocer las características principales de los contenidos metálicos del mineral (véase el cuadro N° 4.1, en la página 13).

Cuadro N° 4.1.

Análisis General de Mineral de mina

Pb	---	5,52%	Na ₂ O	---	0,80%
		(Sulfuro)			
Pb	---	0,85% (Oxido)	MgO	---	0,60%
Ag	---	1,29 Oz/Tn	CaO	---	3,00%
Zn	---	6,14%	CO ₂	---	4,90%
		(Sulfuro)			
Zn	---	0,40% (Oxido)	H ₂ O	---	9,30%
Cd	---	0,25%	Insol	---	3,00%
Fe	---	5,70%	As	---	Trazas
Mn	---	6,20%	Bi	---	Id.
S	---	15,80%	N	---	Id.
S	---	0,20%	P	---	Id.
		(Elemento)			
Cl	---	0,20%	SO ₃	---	Id.
O	---	4,40%	Cu	---	0,00
Al ₂ O ₃	---	3,40%			

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico- Informes mensuales de minas Cercapuquio S.A.

Presentado el análisis general, corresponde referirse, aunque brevemente a las riquezas básicas y sus preciados contenidos metálicos que constituyen el mineral de explotación: plomo, zinc, plata y cadmio. (Champa, O. 1999).

- **Plomo:** Se presenta como galena PbS (sulfuro de plomo) pudiendo hacerse una diferenciación por el tamaño de los cristales y por vetas; tiene estructura criptocristalina.

En partes de la veta, la galena se presenta con una cristalización parecida a la conocida como "acerillo" pero se diferencia del mismo por tener menor contenido de plata. En otra en cambio la cristalización es mas fina, correspondiendo a la variedad de plata bastante próximo al de ésta.

- **Zinc:** Se presenta como "BRUNCKITA" ZnS (sulfuro de zinc semi amorfo), que es un mineral muy raro. Se le ha encontrado sólo en este yacimiento; tiene lustre mate, estructura coloidal y color blanco grisáceo; no tiene clivaje y contiene cadmio. Es muy frecuente que esta Brunckita tenga sus partículas íntimamente con granos de calcita hasta en las más finas divisiones.

Observadas una muestra al microscopio, se puede apreciar que la brunckita cristales de blenda, aunque en muy baja concentración; puede considerarse un variedad de la esfalerita.

- **Plata:** Se encuentra en pequeñas cantidades asociadas a la galena, constituyendo una mezcla sólida de sulfuro de plata y sulfuro de plomo. No todas las vetas presentan el mismo contenido de plata.
- **Cadmio:** Se presenta bajo la forma de sulfuro de cadmio (CdS), conocido con el nombre de GREENOKITA, de color amarillo limón, lustre mate, estructura terrosa, encontrándose compenetrado en las zonas de oxidación, donde destaca su color anaranjado característico. Este mineral se encuentra íntimamente asociado con la Brunckita, con leyes entre 0,18 y 0,25% de Cd.



4.2.2. Etapas de la flotación

El proceso de flotación abarca las siguientes etapas. (Astucuri, V. 1982).

- Molienda del mineral a un tamaño lo suficientemente fino para separar los minerales valiosos uno de otro, así como los minerales de ganga adherentes.
- Preparación de las condiciones favorables para la adherencia de los minerales deseados a las burbujas de aire.
- Crear una corriente ascendente de burbujas de aire en la pulpa del mineral.
- Formar una espuma cargada de mineral en la superficie de la pulpa.
- Extraer la espuma cargada de mineral.

Aunque la molienda del mineral no forma parte de la flotación, tiene una importante influencia sobre el proceso. Para lograr resultados óptimos en la flotación, en la etapa de molienda los minerales valiosos deben ser liberados completamente de la roca desechable (ganga) y ser separados unos de otros. Sin embargo en la práctica a menudo esto no es económicamente factible y aún cuando se logra una separación completa pueden presentarse otros factores negativos para el proceso, por ejemplo los molinos de bolas o barras generalmente usados para la molienda pueden formar considerables lamas de ganga que complicarán las subsiguientes etapas de flotación. (Astucuri, V. 1982).

La creación de una corriente ascendente de burbujas de aire se logra con una máquina de flotación, la que produce burbujas bien sea mediante la agitación mecánica de la pulpa de mineral y/o la introducción directa de aire bajo presión. (Astucuri, V. 1982).

Para obtener la adherencia de las partículas minerales deseadas a las burbujas de aire y de ahí, la formación de una espuma cargada de mineral



en la superficie de la pulpa, se debe formar una película superficial hidrofóbica sobre las partículas a flotar y una película hidrofílica o humectante en todas las demás. Esto se logra por medio de colectores y modificadores; la selección de la combinación apropiada para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo del beneficio. (Astucuri, V. 1982).

4.2.3. Reactivos de Flotación para Minerales

Los reactivos se emplean en la flotación con la finalidad de:

- Comunicar a determinadas especies minerales de una pulpa, propiedades que les permitan adherirse a las burbujas de gas.
- Dotar a las películas de estas burbujas de estabilidad.

Los agentes de flotación pueden clasificarse como: Colectores, Espumantes y Modificadores. (Astucuri, V. 1982).

- **Colectores** (promotores) Reciben éstos nombres aquellos reactivos, que siendo absorbidos sobre la superficie de la partícula sólida en forma de películas muy finas determinan un aumento del ángulo de contacto. La designación de promotor, se aplica particularmente a los agentes formadores de películas, tales como el xantato sólido $\text{NaS}(\text{CS})$ OR, el cuál es adsorbido por el sulfuro de plomo, el radical xantato (-SCS-) hacia el plomo y el radical (-R-) hacia el lado opuesto. Este hecho proporciona a la superficie del sólido la característica de asemejarse a un hidrocarburo, es decir que no es mojado por el agua. Se denomina colector, si el material adsorbido forma una película gruesa, el petróleo es un ejemplo de colector típico, pero tiene la desventaja de formar una espuma grasienta, difícil de romper en la operación posterior de sedimentación. (Astucuri, V. 1982).



- **Espumantes:** Son necesarios para evitar la coalescencia de las burbujas de aire cuando llegan a la superficie del agua, manteniendo así una espuma persistente y de selectividad deseada. Un buen espumante debe tener la propiedad de trasladarse fácilmente a la interface agua – aire, los espumantes más ampliamente usados son compuestos heteropolares y surfactantes, que contienen una parte polar o ávida de agua y otra no polar o ávida de aire. En la interfase agua – aire, los espumantes se orientan con el grupo polar hacia el agua y el grupo no polar hacia el aire. (Astucuri, V. 1982).

- **Modificadores:** Los reactivos modificadores se usan para activar la capacidad de adsorción del reactivo formador de películas (colector o promotor), dichos agentes reaccionan con la superficie del sólido, bien sea por acción química o por adsorción y modifican el carácter de la superficie de uno o más sólidos, lo que perturba la adsorción por ellos del agente colector o promotor. Los modificadores pueden actuar como:
 - **Depresantes:** Son aquellos reactivos que inhiben o impiden la adsorción de un colector por una partícula de mineral, impidiendo por lo tanto su flotación. (Astucuri, V. 1982).
 - **Activadores:** Se utilizan para aumentar la capacidad de adsorción del reactivo formador de películas (colector o promotor). (Astucuri, V. 1982).
 - **Agente regulador de pH:** El grado de acidez o pH del agua, constituye un factor de gran importancia, una que regula o modifica la formación de películas y en muchos casos, la flotación solo es posible dentro de una estrecha zona de valores de pH. (Astucuri, V. 1982).



4.3. Evaluación de las condiciones de almacenamiento de los relaves

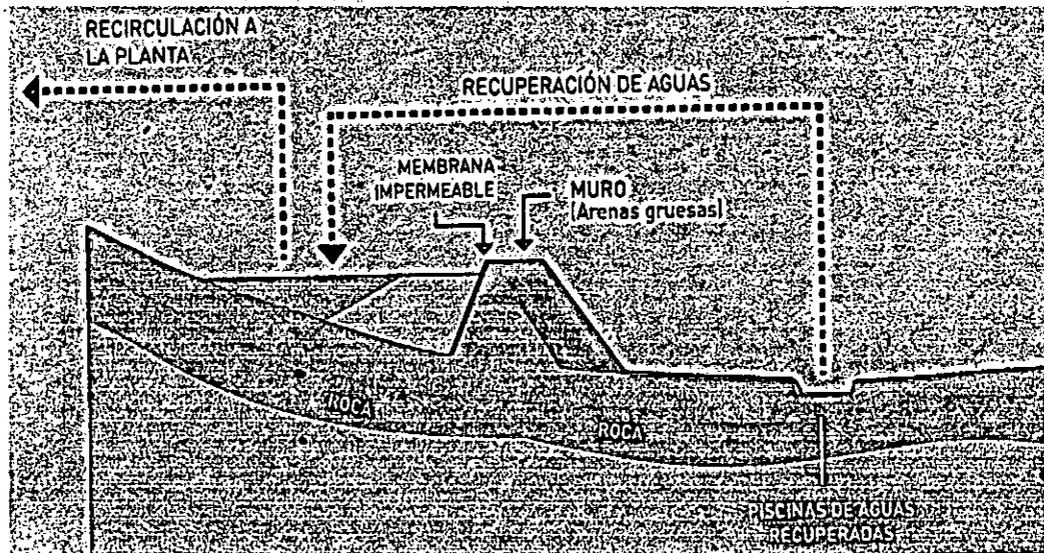
Según la Guía de Operación para la Pequeña Minería, en su sección 06, Manejo de Mineral y Residuos Mineros – Disposición de Relaves, nos indica que en una planta de concentración, una cantidad superior al 95% del mineral procesado pasa a contribuir el relave, que es la parte del mineral que se descarta por no tener valor económico. Éste se descarta en forma de pulpa, que es una suspensión de sólido y agua, en la que el sólido se presenta molido a un tamaño muy fino, inferior a 0,5 mm.

EN LA PEQUEÑA MINERÍA, EL RELAVE SE CONDUCE A ZONAS DENOMINADAS DEPÓSITOS DE RELAVES, QUE PUEDEN SER EMBALSES O DEPÓSITOS CONOCIDOS COMO TRANQUES O CANCHAS DE RELAVES.

Los embalses son obras similares a un embalse de agua, con un muro construido totalmente de material de empréstito, compactado e impermeabilizado su talud interior y parte o todo de su coronamiento. Los relaves se depositan completos en la cubeta sin necesidad de clasificación, y a través de un sistema interior de evacuación se eliminan las aguas claras de la laguna que se forma.



Figura N° 4.1
Estructura de un Depósito de Relaves



Fuente: Manejo de Mineral y residuos mineros, 2014

Los depósitos tipo tranques de relaves son los más comunes, y son aquellos que utilizan la parte de los relaves (arenas) para la construcción del muro perimetral. En tanto, la parte fina (lamas) se descarga en el inferior de la obra.

Conceptualmente, la construcción del muro se puede hacer con tres formas de crecimiento: "aguas arriba", "aguas abajo" y "eje central o mixto". Por razones de seguridad, se recomienda el método "agua abajo", siendo también aceptable la de "eje central o mixto". La forma de crecimiento "aguas arriba" no es aceptable.

Handwritten signature

EXISTIENDO LUGARES ALTERNATIVOS DONDE CONSTRUIR UN DEPÓSITO DE RELAVES, LAS MEJORES CONDICIONES SE PRESENTAN CUANDO:

- Las características topográficas permiten construir el muro de contención con una menor cantidad de arenas, quedando los relaves soportados principalmente por muros naturales.
- El suelo es resistente y con buenas características de impermeabilidad
- No hay viviendas o centros poblados agua abajo del sitio.
- El sitio está alejado de caminos u otras obras públicas, cursos de agua permanentes o esporádicos o cuerpos de aguas subterráneas.

4.4. Proceso de flotación de relaves

4.4.1. Análisis de la materia prima

a. Relaves frescos

Se les llama así los evacuados durante el año 1956 para adelante (véase el cuadro N° 4.2)

Son los relaves generales, que se evacuaron como colas finales después de la flotación selectiva de Pb-Zn del mineral de mina, más las colas finales de la flotación de Zn. (Champa, O. (0.1999).

Cuadro N° 4.2.

Análisis Químico de los Relaves Frescos

Pb	---	0,80%
Ag	---	0,10
		Oz/Tn
Zn	---	3,50%
Cd	---	0,16%
Fe	---	7,40%
S	---	3,10
SiO ₂	---	15,40%
Cu	---	Trazas

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico – Informes mensuales de Minas Cercapuquio S.A.



b. Relaves Antiguos

Estos relaves constituyeron la **materia prima principal** para la flotación de zinc. Una parte de dichos relaves, comprenden las colas de la flotación del plomo, que se acumularon entre los años 1937 a 1943 (véase el cuadro N° 4.3, en la página 19). La otra parte se, acumularon entre los años 1937 a 1956. (véase el cuadro N° 4.4, en la página 21).

Cuadro N° 4.3.

Análisis Químico de los relaves antiguos, 1937-1943

Pb	---	4,07%	---	SiO ₂	---	13,10%
Ag	---	Trazas	---	Cu	---	0,00%
Zn	---	19,10%	---	Al ₂ O ₃	---	6,60%
Cd	---	0,20%	---	CaO	---	10,80%
Fe	---	6,80	---	MgO	---	2,80%
S	---	8,05%	---	Mn	---	5,60
				Ba	---	0,00%

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico – Informes mensuales de Minas Cercapuquio S.A.

Cuadro N° 4.4.

Análisis Químico de una muestra común de los relaves antiguos, Periodo 1937-1956

Pb	---	1,41%
Ag	---	Trazas
Zn	---	14,70%
Cd	---	0,16%
Fe	---	4,10%
S	---	10,90%
SiO ₂	---	3,80%
Cu	---	0,02%

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico – Informes mensuales de Minas Cercapuquio S.A.



Comparando los análisis de los relaves antiguos y relaves frescos, se tiene que los primeros presentaron mayor cantidad de zinc, indicando así su considerable potencial metálico.

4.4.2. Etapas del proceso de flotación de relaves

La flotación de relaves minerales de zinc a partir de los relaves minerales sulfurados se efectuó considerando las siguientes etapas:

- Preparación de los relaves seleccionados.
En esta etapa se tienen en cuenta la granulometría de la materia prima, la cantidad de relaves y el agua.
- Determinación de la pulpa de tratamiento.
Se preparó la pulpa de tratamiento mezclando agua con la cantidad de relave fijada, calculándose el porcentaje de sólidos de la suspensión.
- Acondicionamiento de la pulpa.
Esta etapa fue importante porque se acondicionó la pulpa con los reactivos de flotación a un tiempo determinado para que actúen sobre la superficie de los minerales contenidos en el relave y acentúen sus propiedades hidrofílicas y aerofílicas, con un pH básico. Inmediatamente después del acondicionamiento se realizó la flotación.
- Primera fase de flotación (Roughers o de mixtos)
Se flotó tomándose el tiempo de duración, para cálculos posteriores, la medición de pH y el agua utilizada.
- Segunda fase de flotación (Cleaners o de limpieza)
Al igual que la primera fase, se realizó la flotación tomándose el tiempo de duración, el pH y el agua empleada. El producto flotado es el concentrado final.



V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales y equipos

5.1.1. Materiales

- a. Materia prima: relaves antiguos
- b. Agua
- c. Reactivos de flotación:
 - Sulfato de cobre
 - Carbonato de sodio
 - Aceite de pino
 - Aerofloat 211
 - Xantato Z11
 - Bocronato de potasio
 - Separán N° 10
- d. Materiales de vidrio y otros
 - Probetas graduadas de 50 mL, 100 mL, 250 mL. 500 mL y 1000 mL
 - Pipetas
 - Vasos de precipitado de 100 mL y 200 mL
 - Baguetas
 - Embudos
 - Tubos de ensayo de 20 x 200 c/ tapa rosca
 - Tacómetro
 - Balanza eléctrica de 0.1g de sensibilidad y 10 kg de peso de capacidad
 - Baldes de 20 litros de capacidad
 - Detergente

5.1.2. Equipos y accesorios

Se ha usado la máquina de flotación para laboratorio D-12, tipo Denver que consta:



- Un motor de $\frac{1}{4}$ HP, de velocidad regulable (hasta 1500 RPM)
- Tacómetro incorporado
- celdas de flotación de diferentes capacidades (entre 7 litros y 1 litro)
- Fluidizador
- Rodetes o impulsores tipo radial, de disco y con álabes.
- Extensiones del tubo exterior.

Otros accesorios:

- Paleta de flotación
- Espátula de metal
- Plato de fierro enlozado
- Extensión de cable eléctrico monofásico, 20 metros.

En la figura N° 5.1 se muestra la máquina de flotación y sus accesorios.

Figura N° 5.1
Máquina de flotación y accesorios



Fuente: Elaboración propia

Handwritten signature

5.1.3. Ubicación y localización geográfica del asiento Minero de Cercapuquio S.A.

- **Ubicación**

Según como se indica en los Estatutos de Minas de Cercapuquio S.A., citado por Champa, O. (1999), el asiento minero de Cercapuquio está ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes, 75°26' de longitud oeste y 12°25' de latitud sur, a una altura de 4 303 m.s.n.m. pertenece al distrito de Chongos Alto, provincia de Huancaya, departamento de Junín. Champa (1999).

Las propiedades mineras de la Cia., se hallan sobre los terrenos de la Hacienda Antapongo, y están comprendidas dentro de la Jefatura Regional de Minería de Huancayo.

Existe solamente una vía de acceso de Cercapuquio, la cual consiste en una carretera firmada de 75 km de longitud que parte de Huancayo.

- **Localización Geográfica**

El asiento minero de Cercapuquio, se encuentra en la quebrada del río Chacuasmayo, el que constituye un valle de origen glaciar, como lo demuestra su típica sección en U y la presencia de lo que en otros tiempos han constituido los diques o morrenas.

A 20 km al suroeste de Cercapuquio se encuentra la divisoria continental que une las cumbres más elevadas del ramal occidental de la Cordillera de los Andes, en cuya vertiente oriental se encuentra el asiento minero.

En general, se puede decir que el relieve de la zona no presenta mayores accidentes, no existiendo los abruptos escarpados de otras zonas en la región.



A las mediciones se destaca el Cerro Huacravilca con unos 5 050 m.s.n.m.

5.2. La población y muestra de la investigación

- La población está constituida por los relaves denominados antiguos provenientes de las canchas de relaves de la mina de Cercapuquio S.A.
- Para la muestra de la investigación se dispuso de una cantidad de 50 kg de estos relaves para efectuar los ensayos experimentales.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.

• Cubicación de los Relaves Antiguos

Al realizar la cubicación de los depósitos de los relaves antiguos se usaron dos métodos. El estadístico y el convencional. Al aplicar el método estadístico, se efectuó un estudio cronológico de la evacuación y almacenamiento de los relaves antiguos. Los tonelajes, leyes y contenidos por años, fueron recopilados de los archivos de los años 1937 a 1956, cuyo cuadro cronológico se anota (véase el cuadro N° 5.1, en la página 27)



Cuadro N° 5.1**Tonelaje de Relaves de Plomo y generales, almacenados de 1937 a 1956 y los correspondientes contenidos Metálicos de Zinc y Plomo**

AÑO	TMS RELAVE	% Zn	% Pb	CONT. Zn	CONT. Pb
1937	3 447.48	19.8	7.8	682.60	299.93
1938	5 598.03	18.1	9.4	1 113.24	526.21
1939	16 818.75	18.2	5.1	3 061.01	857.76
1940	21 566.77	17.2	3.6	3 709.48	776.40
1941	21 519.25	24.8	3.6	5 336.77	774.69
1942	22 223.77	20.4	2.8	4 533.65	622.27
1943	22 598.64	18.8	2.0	4 248.54	451.97
1944	23 376.65	16.2	2.4	3 787.02	561.04
1945	23 298.70	19.3	2.5	4 503.34	572.13
1946	25 547.29	11.4	1.5	2 908.75	374.33
1947	26 989.23	9.4	1.3	2 548.83	340.94
1948	31 583.72	9.7	1.1	3 052.01	334.09
1949	30 285.18	7.4	1.2	2 248.05	357.19
1950	39 947.05	6.1	1.4	2 432.31	548.18
1951	42 994.89	7.8	1.1	3 341.23	490.86
1952	41 281.84	9.2	1.2	3 791.68	445.33
1953	43 222.72	11.2	1.0	4 832.60	449.49
1954	55 674.94	10.1	1.2	5 630.05	650.49
1955	58 103.04	10.3	1.1	5 964.41	631.88
1956	66 993.42	8.8	0.8	5 881.60	540.82
TOTAL	623 071.36	11.8	1.7	73 598.17	10 606.22

Fuente: Informes Mensuales de Minas de Cercapuquio S.A.

Cabe anotar que por el método estadístico se determinó la cubicación global de 1937 a 1956 que descontaba las 291 141,90 TMS beneficiadas al 31.12.68 queda para 1969 una reserva de 421 929.46 TMS, cuyas leyes son el resultado de los promedios anuales, resumidos de los cuadros metalúrgicos diarios y mensuales.

Para la cubicación por el método convencional, de las reservas de relaves antiguos, se determinaron las áreas superficiales por triangulación de planes horizontales, mientras que los volúmenes se calcularon multiplicando el área 21 530,57 m² por la altura promedio de los depósitos: 7,00 m (véase el cuadro N° 5.2 en la página 28)

La obtención del tonelaje se realizó determinando previamente la densidad promedio de los relaves antiguos como sólidos secos, dándose como resultado: 2,970 kg/L.

El tonelaje de éste método difiere muy poco con el de la cubicación anterior, sin embargo, es conveniente indicar que la ley promedio del zinc del método convencional, tiene un castigo de 15% contra posibles errores de muestreos y ensayos.

Cuadro N° 5.2

Reservas determinadas por el Método Estadístico

TMS	% Zn	% Pb
421 929.46	11.8	1.7

Reservas Cubicadas por el Método Convencional

TMS	% Zn	% Pb
447 620.50	8.39	2.49

Cubicación de Relaves Antiguos

TMS	% Zn	% Pb
421 920,50	8.39	2.49

Fuente: Informes Mensuales de Minas Cercapuquio S.A.



Para el cuadro de cubicación de reservas de relaves antiguos, se ha tomado en cuenta el tonelaje obtenido por el método estadístico, pero las leyes corresponden al método convencional.

La diferencia en la elección de datos no quiere significar que los métodos sean ineficaces, sino, al contrario pone a las reservas considerables margen de seguridad. (Según informes de Minas Cercapuquio 1937-56 citado por Champa, O. 1999)

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas en la realización de esta investigación se relacionan íntegramente con los instrumentos, materiales y metodología usados para el tratamiento experimental del presente trabajo.

Métodos

En este ítem se ven los métodos empleados en el desarrollo del presente trabajo que van desde la captura de muestra hasta el tratamiento del relave.

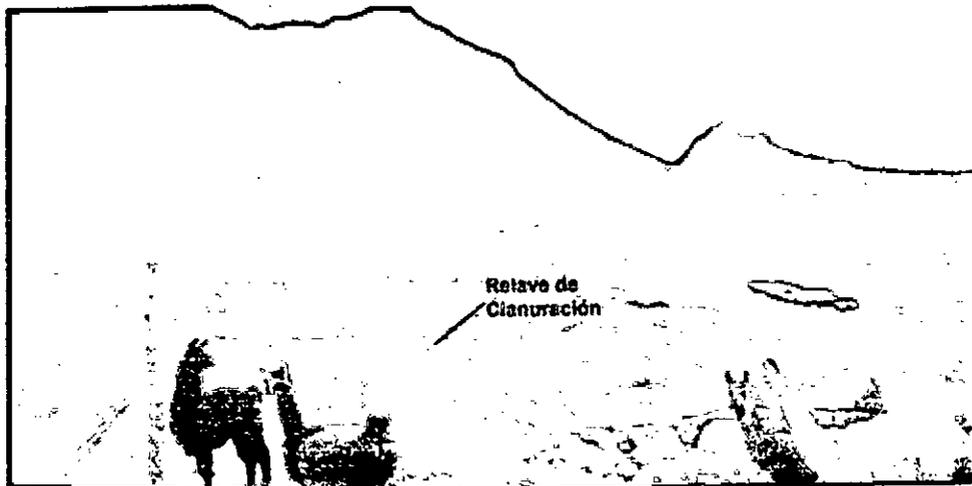
a) Método de muestreo para determinación de la muestra

Bulk Sampling.

Es un método en el cual se elige un volumen del área estratificada del total de relave a tratar. (véase figura N° 5.1 y N° 5.2 en la página 24 y 30) (Buelma, R. 2014).

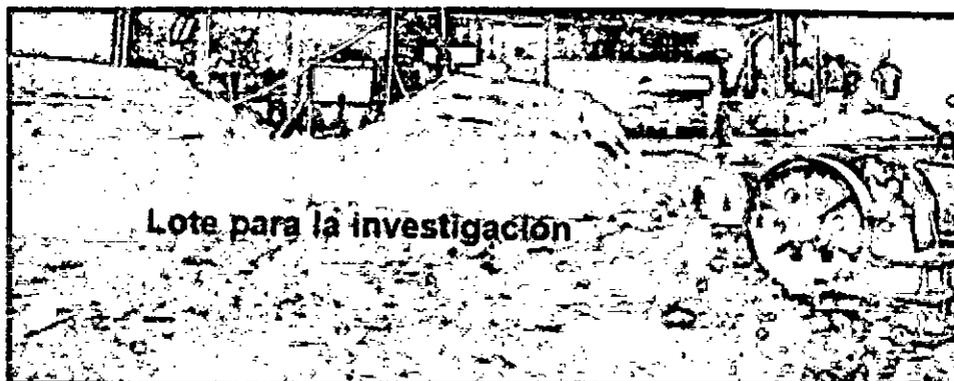


Figura N° 5.2
Relavera de la Unidad Minera



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.3.
Lotes de Muestra por Bulk Sampling



Fuente: Elaboración Propia

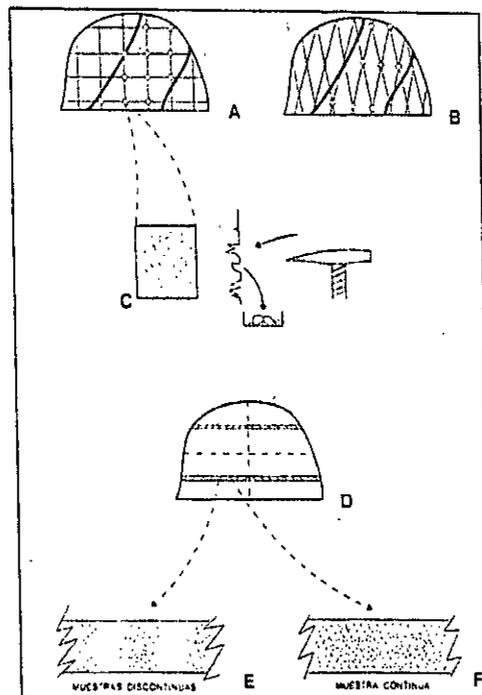
Chip Sampling

Método por el cual a partir de un volumen de mineral se toma una muestra representativa de la totalidad de la población; la muestra no solo debe ser representativa sino que deben estar en una cantidad adecuada, en el lugar preciso y con un proceso de reducción de peso y análisis apropiado,

una gráfica que nos ayudará a comprender este método de muestreo es el siguiente.

(Véase figura N° 5.3), una vez sacada la muestra de relave se pone en doble bolsa de plástico y sellado y se coloca dentro de un saco y se rotula para evitar posibles pérdidas (véase figura N° 5.4 en la página 31) (Buelma, R. 2014)

Figura N° 5.4
Muestreo Puntual-Chip Sampling



Fuente: Buelma, Ramón. 2014

[Handwritten signature]

Figura N° 5.5
Muestra enviada a Lima



Fuente: Elaboración Propia

Planificación de campaña de muestreo.

- Tamaño de relave total 450 Ton y Peso de la muestra 50 Kg.
- Lugar Mina Cercapuquio. Junín.
- Sistema mecánico de extracción: muestreo por estratificado (Bulk sampling y chip sampling)

b) Toma de muestra para el procedimiento experimental.

Los 50 kg de materia prima traídos de las canchas de relaves generados por la planta concentradora de la compañía minas de Cercapuquio S.A., fueron reparados mecánicamente con un proceso de molienda para homogenizar, en lo posible su granulometría.

Esta cantidad de material se obtuvo empleando la **técnica del cuarteo** por conos, que es una operación manual empleada en forma posterior al muestreo, que nos permite continuar disminuyendo la cantidad de muestra, hasta tener una muestra promedio y relativamente muestra, hasta tener una muestra promedio y relativamente representativa de un todo de gran volumen, éste método consiste en formar una pequeña pila

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser "P. G. S. J.", ubicada en la parte inferior izquierda de la página.

con el mineral muestreado, en forma de un cono luego, este se aplana de una manera uniforme formando un círculo cónico de una altura muy inferior a la del cono, a este círculo se le divide en cuatro partes simétricas, mediante una cruz concéntrica, luego se separan las 4 partes, para desechar 2 partes opuestas por el vértice y juntar las otras 2 que quedan para formar nuevamente otra pila más pequeña y realizar la misma operación anterior hasta considerar que el producto del último cuarteo contenga una cantidad requerida para las diferentes pruebas metalúrgicas que se realizaron.

5.3.1. Diseño Experimental

Se ha utilizado el método experimental para estudiar el proceso de obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados.

Las variables que se tuvieron en cuenta y que más afectaron al proceso de flotación fueron:

- Granulometría de la materia prima.
- Tipo y dosificación de reactivos de flotación.
- El porcentaje de sólidos en la densidad de pulpa.
- Tiempo de residencia o permanencia
- pH
- Aireación y Acondicionamiento de la pulpa.
- Agua utilizada

• Granulometría de la materia prima

El tamaño de grano es importante porque la recuperación disminuye para tamaños pequeños, lo cual se relaciona con la dificultad de adhesión partícula/burbuja, dado a que éstas no adquieren la energía cinética suficiente para producir un agregado pequeñas son arrastradas más



fácilmente a la espuma, ya que el drenaje a la pulpa se favorece con el incremento de la velocidad de sedimentación (Morral, I. 1990).

Es importante destacar que, en la etapa de flotación primaria (etapa rougher) la flotación se realiza con una granulometría de mena en la cual no es tan necesaria de liberación de la partícula, sin embargo, en la etapa de limpieza si es necesaria la selectividad de las partículas para la liberación de las especies útiles de la materia prima.

De esta manera, el tamaño de partícula es la variable sobre la cual debe ponerse más énfasis en su control, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final, así como, por la alta incidencia que tiene en los costos de operación del proceso global de concentración. (Morral, I. 1990).

- **Tipo y Dosificación de Reactivos de Flotación**

La función del colector es hacer hidrofóbica la superficie del mineral deseado, por lo cual, es el reactivo químico más importante utilizado en la flotación. La amplia experiencia existente en la flotación de minerales permite usar con eficiencia determinados tipo de colectores dependiendo de los tipos de minerales y asociaciones mineralógicas presente. Por otro lado, la elección de un espumante determina las características de la espuma, que contribuye a la selectividad de la operación. La altura de la espuma y el flujo de aire a la celda afectan el tiempo de retención de las partículas en la espuma. La estabilidad de la espuma depende principalmente de la dosificación del espumante.

Se debe tener en cuenta, que los reactivos de flotación requieren de un cierto tiempo de acondicionamiento para estar en contacto con la pulpa y de esa forma poder actuar en forma eficiente sobre las especies útiles de la mena (Terkel, 1987).

- **Porcentaje de Sólidos en la densidad de pulpa.**

La densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos en la flotación de minerales viene determinada desde la etapa de molienda/clasificación. Es raro que la pulpa se ajuste en su porcentaje de sólidos antes de entrar a la etapa de flotación, sin embargo, es un factor impórtate, ya que la flotación de los minerales ocurre en forma eficiente cuando la pulpa presenta un valor adecuado de porcentaje de sólidos. (Terkel, 1987).

- **Tiempo de Residencia o permanencia**

El tiempo de flotación depende de las características del material que se va a flotar, y de la conjugación de todos los demás factores que inciden en el proceso. Para la optimización de los circuitos de flotación el tiempo óptimo de cada etapa se determina aplicando criterios a través de pruebas cinéticas de flotación (Bray, J., 1978)

- **pH**

El pH es la variable de control más utilizada en el proceso de flotación, ya que resulta fundamental en la recuperación y selectividad, así como, en la depresión de minerales. El proceso de flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva.

Los reactivos de flotación, principalmente los colectores operan mejor en ciertos rangos de pH. (Bray, J., 1978)

- **Aireación y Acondicionamiento de la Pulpa**

El acondicionamiento es una etapa clave ya que proporciona el tiempo necesario para que actúen en forma eficiente los reactivos de flotación. Algunos colectores y modificadores presentan cinética de adsorción en los minerales bastante lenta por lo cual deben incorporarse al molino de bolas, mientras que otros reactivos se incorporan directamente al acondicionador de la pulpa.



- **Agua utilizada**

Dada la gran cantidad de interacciones que se producen entre las variables del proceso, las cuales acondicionan el ambiente físico-química de la flotación, un aspecto interesante de analizar es la cantidad del agua, que se utiliza en el proceso.

Es común en las plantas concentradoras, que parte importante del agua utilizada sea agua de proceso, recuperada desde las etapas de separación sólido/líquido (espesadores, filtros, etc), la cual contienen reactivos químicos residuales (Bray, J., 1978)

- **Variables a considerar en la flotación de relaves**

- **Tiempo de flotación**

Cuando se realiza una prueba de flotación a nivel de laboratorio (semi-batch) y se retira concentrados parciales a distintos tiempos de flotación, se notará que tanto la calidad y cantidad del concentrado cambian con el tiempo. Un cálculo de la recuperación acumulativa indicará que éste crece rápidamente en los primeros minutos de flotación y que después la curva se hace asintótica con el tiempo sin alcanzar una recuperación completa.

- **Cinética de flotación**

Investigadores que desarrollan trabajos en las oficinas de investigaciones metalúrgicas, hacen una analogía algebraica con las ecuaciones de reacción de cinética química de primer orden, destacando el hecho que en la flotación la recuperación de especie valiosa es una función exponencial del tiempo:

$$R = R_{\infty} (1 - e^{-k.t}) \quad (1)$$



Donde:

- R = Recuperación acumulativa a tiempo t
- R_{∞} = Recuperación de equilibrio a tiempo prolongado
- k = Constante de velocidad de primer orden (min⁻¹)
- t = Tiempo de flotación acumulada (min)

Ecuación de primer orden bastante utilizado en la flotación:

$$R = R_{\infty} [1 - (1/k.t) (1 - \exp(-k.t))] \quad (2)$$

Los términos incluidos en esta ecuación son los mismos a los términos incluidos en la ecuación (1).

• **Secuencia del proceso de flotación**

Se han realizado 9 corridas experimentales de acuerdo al diseño experimental para la obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves minerales sulfurados, en la máquina de flotación para laboratorio D-12 del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química.

La secuencia del procedimiento experimental se ha realizado de la siguiente manera:

- Los relaves seleccionados (relaves depositados entre los años 1937-1956), se mezclaron con agua para formar la pulpa de trabajo.
- Cálculo de la densidad de pulpa con los siguientes variables:
 - Gravedad específica del relave
 - Peso del relave
 - Volumen del agua:



- Proceso de Acondicionamiento

El proceso de acondicionamiento se efectuó con los siguientes reactivos de flotación:

Carbonato de sodio:	Sol. 10%
Sulfato de cobre :	Sol. 10%
Aerofloat 211 :	Sol. 10%
Aceite de pino :	Líquido

El sulfato de cobre fue alimentado de la pulpa de sulfuro de zinc y al mismo tiempo bajó el pH de la pulpa de 7,7 a 3,4. Fue necesario para la flotación del zinc un circuito alcalino, se le adicionó el carbonato de sodio para ajustar el pH de la pulpa entre 8,2 y 9,0.

El carbonato de sodio además de ser el regulador de la alcalinidad, actuó como dispersor; factor favorable en presencia de pulpa lamosa, como en este caso particular.

El Aerofloat 211, promotor de la esfalerita lamosa, se usó en la flotación del zinc de los relaves antiguos. Este promotor, compuesto de sales de ácidos alquilditiofosfóricos, se usó en soluciones al 10%; que alimentado al acondicionador, juntamente con el aceite de pino, ofreció mayor selectividad y mejores recuperaciones del zinc.

El verdadero aceite de pino, producía espumas más resistentes y más persistentes que los aceites sintéticos.

Cabe anotar que en el acondicionador también se alimentó el bicromo de potasio, pero por su tendencia a envenenar la pulpa, se cambió su alimentación a la celda limpiadora del concentrado de zinc donde produjo mejor depresión del plomo.

Con la pulpa debidamente acondicionada se procedió a la flotación Rougher y luego la flotación cleaner o de limpieza.



5.3.2. Procedimiento experimental

Se realizaron 9 corridas experimentales de acuerdo al diseño experimental planteado, utilizando el equipo de flotación D-12, del laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC.

La secuencia del procedimiento experimental en dicho laboratorio se llevó a cabo de la siguiente manera:

- **Toma de muestra**

De los 30 kg de relaves seleccionados y mediante el método de cuarteo se separaron aproximadamente 5 kg de este material.

Este relave previamente molido en los equipos de la planta concentradora de Cercapuquio se hizo con la finalidad de obtener gránulos más finos para una mejor liberación de los productos útiles.

- **Tamizado**

Para conocer la granulometría del relave se procedió a tamizando tomándose 1 kg de material, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla N° 5.1. Asimismo, en la figura N° 5.1 se aprecia el producto a tamizar y el "nido" de tamices empleados que por consideraciones de diseño del RO-TAP, se tuvo que poner todo "el nido" de tamices.



Figura N° 5.6
Tamizado de muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5.1
Análisis Granulométrico del Relave

Número de malla	Peso (gramos)	Porcentaje (%)
+200	60	6
-200	940	94

Fuente: Elaboración propia

- **Dilución del relave y generación de pulpa**

Para diluir la pulpa se utilizó agua de grifo, cuyo análisis se muestra en la Tabla N° 5.2.

Handwritten signature

Tabla N° 5.2.
Análisis químico de agua utilizada

FACTORES	VALORES
Conductividad	306ms/cm
PH	7.27
Turbidez	1.01 NTU
O₂	5.0 ppm
Dureza Total	270 ppm CaCO₃
Dureza cálcica	120 ppm CaCO₃
Alcalinidad Total	150 ppm SO₄
Sulfatos	36 ppm SO₄
Cloruros	25 ppm Cl-
Fe	< 0.1
Zn	< 0.1
Ag	< 0.1
Pb	< 0.1
Cu	< 0.1

Fuente: Laboratorio de análisis químico Minas Cercapuqui S.A.

A la pulpa obtenida se le determinó su densidad por el método de la probeta, que consistió en lo siguiente:

a) Masa probeta 1 = 78g

Masa total (probeta + pulpa 1) = 193.03g

Volumen ocupado por la pulpa 1 = 100 mL

b) Masa de probeta 2 = 78g

Masa total (probeta + pulpa 2) = 193.07g

Volumen ocupado por la pulpa 2 = 100 mL

Handwritten signature

c) Masa de probeta 3 = 78g

Masa total (probeta + pulpa 3) = 193.01 g

Volumen ocupado por la pulpa 3 = 100 mL

Densidad pulpa = $\frac{\text{masa total} - \text{masa de probeta}}{\text{Volumen ocupado por la pulpa}}$

Todos los datos mencionados podemos incluirlos en un cuadro de tal manera que puedan ser analizados de manera más fácil (Véase Tabla N° 5.3)

Tabla N° 5.3
Densidad de Pulpa

Ítem	Masa total (probeta + pulpa)	Masa probeta	Volumen de pulpa	Densidad de pulpa
Prueba 1	193.03 gr	78 gr	100 ml	1.1503 gr/mL
Prueba 2	193.07 gr	78 gr	100 ml	1.1507 gr/mL
Prueba 3	193.01 gr	78 gr	100 ml	1.1501 gr/mL

Fuente: Elaboración propia

Densidad de pulpa promedio = 1.1503 gr/MI

A la densidad de pulpa promedio se le determinó el porcentaje de sólidos secos aplicando la siguiente relación:

$$\% \text{ SS} = \frac{(D - 1)(d)}{(d - 1)(D)} \cdot 100$$



Donde:

D = Gravedad específica de la pulpa (densidad de pulpa): 1.150 TM/m³

d = Gravedad específica de sólidos: 2.97 TM/ m³

S.S. = Sólidos secos.

$$\%_{SS} = \frac{(1.150 - 1)(2.97)}{(2.97 - 1)(1.150)} 100$$

% SS = 19.67%

Para fijar la densidad de pulpa en las pruebas experimentales, se tomó como referencia la densidad de pulpa de tratamiento de la planta concentradora de Cercapuquio S.A. porque mezclaba el mineral fresco con los relaves denominados antiguos, que según sus informes mensuales de 1973 referían que la mejor densidad estaba entre 1.145 a 1.155 kg/L debido a que el producto tenía alto porcentaje de granulometría fina (90% de 200 M).

- **Acondicionamiento**

La etapa de acondicionamiento para cada corrida experimental se fijó en 12 minutos, tiempo suficiente para que actúen los reactivos de flotación sobre las superficies minerales de los relaves en la pulpa. El tiempo fijado fue similar al utilizado en la planta concentradora de Cercapuquio.

Los reactivos se vertieron a espacios de tiempo prudenciales para evitar posibles reacciones químicas entre ellos, con la consecuente formación de iones complejos.



Esta etapa de acondicionamiento se realizó en la misma celda de flotación preparada para tal función, con una agitación de 900 RPM promedio y sin ingreso de aire forzado (véase la figura N° 5.2 en la página 30)

Se echaron los siguientes reactivos:

a) Aerofloat 211 (Ditiofosfato AR- 1211)

Se emplean extensamente en la flotación de menas de cobre – plomo – zinc, donde hace falta una acción rápida combinada con selectividad respecto a los sulfuros de zinc. Se dosificó en solución al 10% en peso (RENASA. 1981)

b) Aceite de pino (de textura líquida)

Espumante natural obtenido por la destilación fraccionada de una variedad de pino. Su manipulación es favorable por que un exceso en la dosificación se puede rectificar sin ocasionar alteraciones en la flotación. Se dosificó por gotas. (UNI flotación. 1995).

c) Carbonato de sodio

Actúa como regulador de pH y como agente dispersor, permitiendo la separación de las partículas finas (lamosas) y la acción más homogénea de los reactivos de flotación. Se dosificó en forma sólida.

d) Xantato Z-11 (A-343)

Es el más usado de todos los Xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector. Se han obtenido aplicaciones muy exitosas en la flotación de minerales sulfurados, en especial en la flotación de minerales sulfurados de zinc. Se dosificó en solución el 10% en peso (RENASA. 1981).



Figura N° 5.7
Preparación del equipo para el Acondicionamiento



Fuente: Elaboración Propia

26/6/13

- **Reactivos de flotación**

Los reactivos de flotación jugaron un papel muy importante en este proceso. Éstos, al ser añadidos al sistema cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo la aplicación adecuada de estos reactivos siempre resulta una tarea complicada debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso (Romero, M. 2014).

El mismo autor nos indica que en la flotación el rendimiento de los reactivos, sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición y constitución mineralógica de la mena. Por tanto, conscientes de esta realidad, los metalurgistas deben estar evaluando la performance de uno u otro reactivo con la esperanza de encontrar aquél que permita optimizar los resultados metalúrgicos.

Los reactivos utilizados para el acondicionamiento favorable del proceso, constituyen los llamados **agentes de flotación**. La selección y combinación apropiada de los mismos para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista.

- **Flotación Rougher o de mixtos.**

Después de la operación de acondicionamiento se preparó el equipo para las etapas de flotación, cambiándose el impulsor, permitiendo el ingreso de aire forzado e incrementándose las RPM a 1300.

La pulpa acondicionada durante 12 minutos salió con un pH de 8.4 a 9.2 alcalinidad conveniente para esta etapa de flotación. (Véase la figura 5.3 en la página 30).

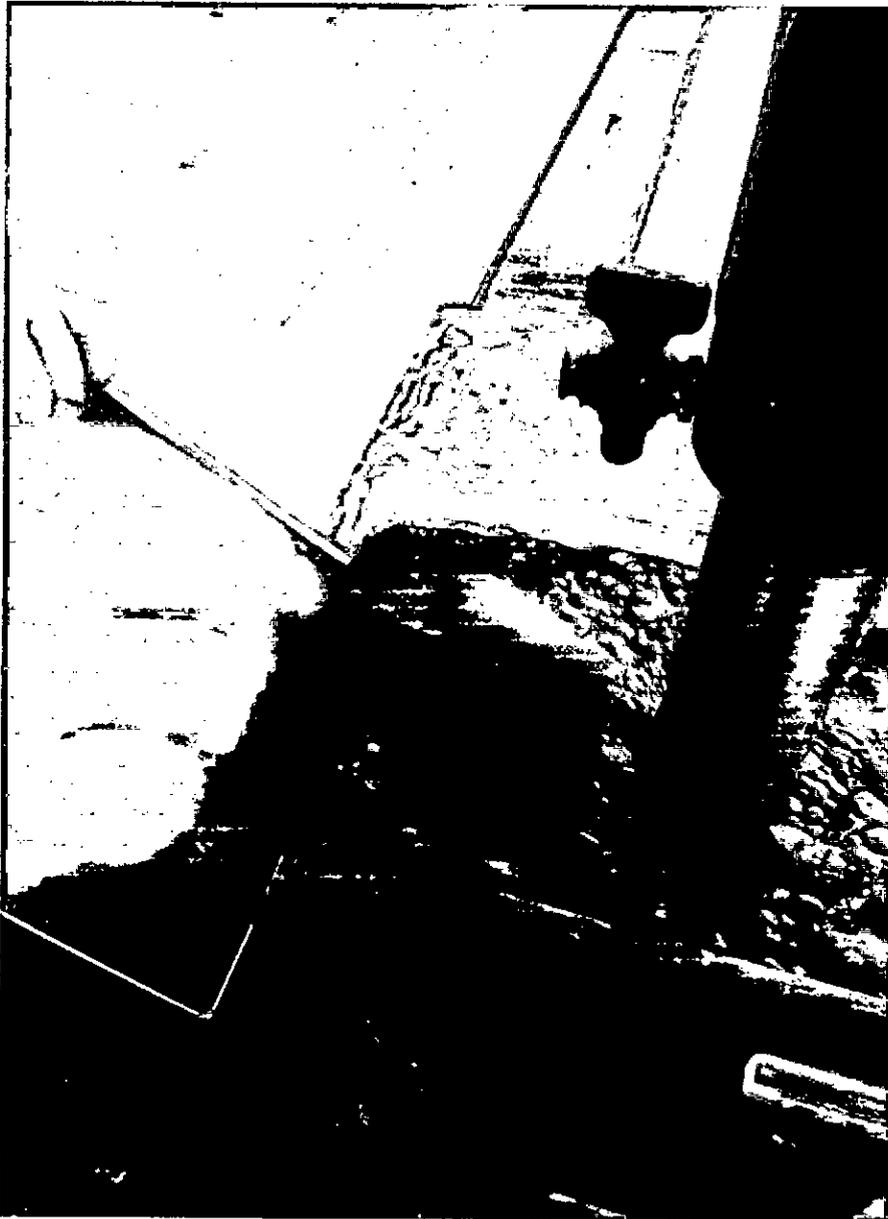
Esta primera etapa de flotación se realizó adicionando el colector Xantanto Z-11 en forma de solución al 10% en peso. El tiempo de flotación fue de 5.5 a 6 minutos. La cantidad de producto flotado se



controló mediante el sistema de "plateo". Véase la figura N° 5.4 en la página 31.

El producto flotado se trasladó a otra celda de flotación de la misma capacidad y se procedió a la segunda flotación cleaner o de limpieza.

Figura N° 5.8
Flotación Rougher



Fuente: Elaboración Propia

P. Celis

Figura N° 5.9
Preparación para el "plateo"



Fuente: Elaboración Propia

Handwritten signature

- **Flotación Cleaner o de limpieza**

Esta etapa de flotación se llevó a cabo adicionando Aerofloat 211 en solución al 10% en peso y bicromato de potasio, también al 10% en peso.

La finalidad del Aerofloat fue la de tratar de recuperar al máximo el sulfuro de zinc de los relaves; la finalidad del bicromato fue la deprimir al plomo y no "ensucie" el concentrado final de la flotación.

El tiempo de flotación fue entre 3 a 3,5 minutos, utilizando también el sistema de "plateo" para observar físicamente la limpieza del concentrado final.

5.4. Técnicas de análisis o los métodos estadísticos aplicados

Para el análisis de identificación de los relaves antiguos se consideraron las técnicas de análisis por sectores de las canchas de relaves (relavesas) de estos materiales.

En el cuadro N° 5.1, véase la página 25, se muestra el tonelaje de los años 1937 al 1956, con las acumulaciones de contenido en % Zn, que según la compañía Minas de Cercapuquio S.A. son las mejores acumulaciones en cuanto a leyes de % de Zinc.

En la Tabla N° 6.1, se muestra la ley en % de Zinc, de una muestra general del común de estos relaves antiguos.

En la Tabla N° 6.2 se muestra un análisis químico de una muestra general común de una sección de los relaves antiguos.

Los promedios obtenidos por esta técnica se manifiestan favorablemente en el proceso mismo de la flotación de estos relaves, tal como se muestran en los resultados obtenidos.



5.5. Investigación básica. Metodología

El trabajo de investigación realizado no encuadra en el tipo de investigación básica por las siguientes consideraciones:

- a) Por su finalidad, es aplicada
- b) Por su diseño interpretativo, es experimental.
- c) Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados, es mixta o cualicuantitativa.
- d) Por el nivel de estudios, es aplicada.
- e) Por su temporalidad, es longitudinal.

26/11/12

VI. RESULTADOS

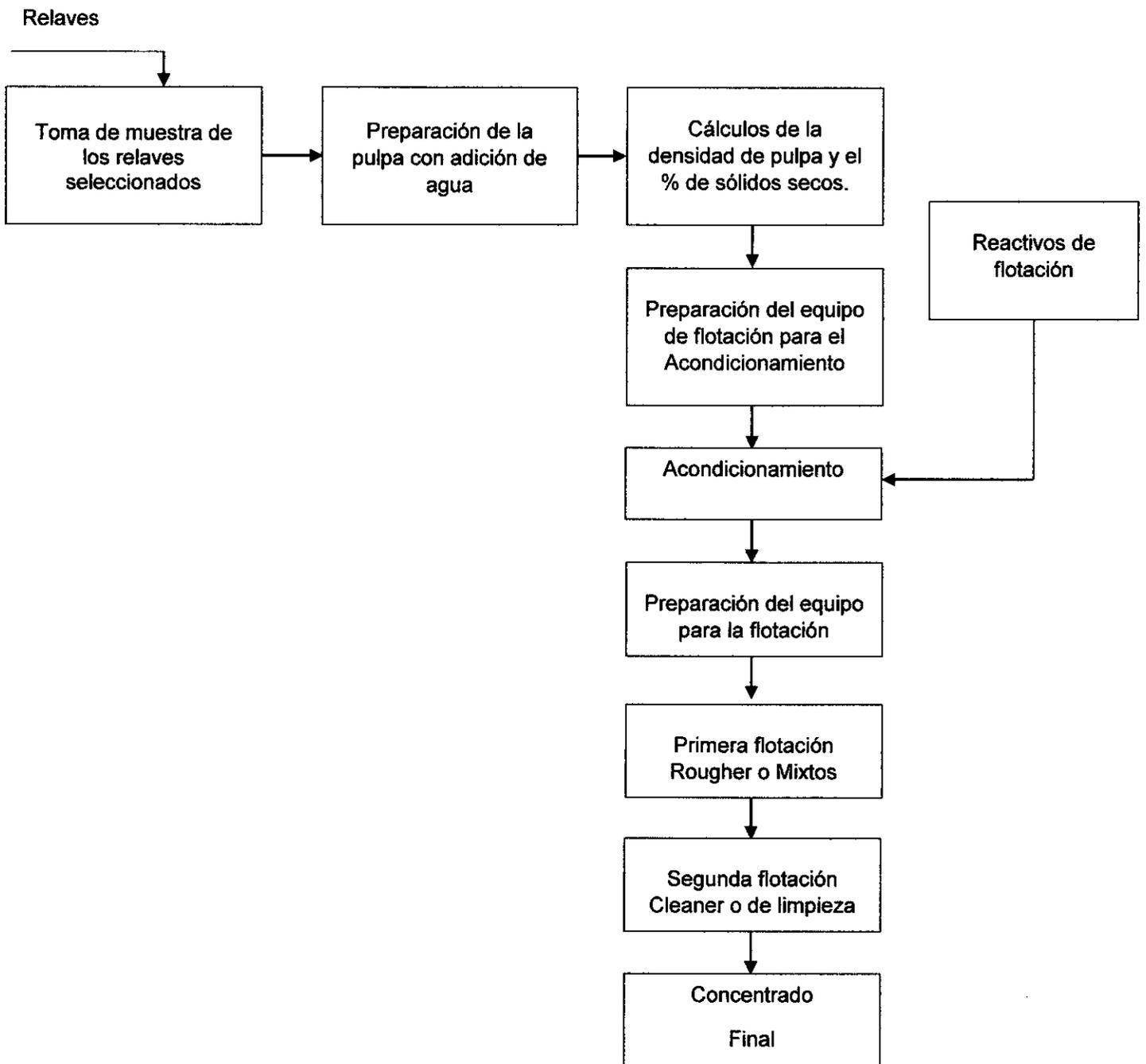
Los resultados obtenidos después de realizar las 9 corridas experimentales diseñadas que incluyen las variables dependientes e independientes del proceso utilizando el equipo de flotación Denver D.12 con sus aditamentos complementarios en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, fueron:

- Diagrama del proceso de flotación de los relaves. Se muestra en el diagrama N° 6.1
- Resultados del análisis químico y granulométrico de una muestra general del común de los relaves antiguos. Se muestra en la Tabla N° 6.1
- Resultados del análisis químico y granulométrico de una muestra general de una sección de los relaves antiguos. Se muestra en la Tabla N° 6.2.
- Variables consideradas para las pruebas experimentales de la flotación. Se muestra en la tabla N° 6.3
- Consumo promedio de reactivos en el tratamiento de los relaves antiguos mezclados con mineral fresco. Se muestra en la Tabla N° 6.4.
- Promedio de 10 turnos de trabajo en la Concentradora de Cercapuquio, tomados aleatoriamente. Se muestra en la Tabla N° 6.5.
- Pruebas experimentales de flotación de relaves. Se muestra en la Tabla N° 6.6.
- Promedio de los 5 mejores resultados de las pruebas experimentales realizadas. Se muestra en la Tabla N° 6.7



DIAGRAMA N° 6.1

DIAGRAMA DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DE LOS RELAVES



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.1**Resultados del Análisis Químico y Granulométrico de una Muestra General del Común de los Relaves Antiguos**

Malla	% Peso	Ley % Zn	Distribución Zn %
+ 65 Malla	0,5	8,2	0,2
+ 100 Malla	4,9	13,4	3,5
+ 150 Malla	4,9	16,2	4,2
+ 200 Malla	1,6	17,0	9,5
+ 270 Malla	4,4	17,5	4,1
+ 37 Micrón	9,8	18,8	9,7
+ 18 Micrón	14,3	17,3	13,3
+ 9 Micrón	12,3	17,9	11,2
+ 4.6 Micrón	22,4	20,7	24,8
- 4.6 Micrón	15,9	23,4	19,9
CABEZA	100,0	18,96	100,0

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico – Informes Mensuales de Minas Cercapuquio S.A.

Tabla N° 6.2**Resultados del Análisis Químico y Granulométrico de una muestra General común de una Sección de los Relaves Antiguos**

Malla	% Peso	% Zn	Distribución Zn %
+ 50	0.84	3.71	0.37
+ 65	5.37	6.05	3.87
+ 100	5.39	7.03	4.52
+ 150	12.93	8.20	12.64
+ 200	9.79	8.01	9.35
+ 325	16.49	8.24	16.19
- CABEZA	100.00	8.39	100.0

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico – Informes mensuales de minas Cercapuquio S.A.



Tabla N° 6.3.

Variables consideradas para las pruebas experimentales de cinética de flotación.

FACTORES	VALOR
A: pH de la Pula	8.4-9.2
B: Granulometría (Tyler – 200M)	94%
C: Aeroploat 211 (lb/TM de relaves)	0.64
D: Aceite de pino (lb/TM de relaves)	0.131
E: Carbonato de sodio (lb/TM de relaves)	0.533
F: Bicromato de Potasio (lb/TM de relaves)	0.009
G: Xantato Z – 11 (lb/TM de relaves)	0.311
H: Grado de agitación (RPM)	1300

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.4.

Consumo Promedio de Reactivos en el Tratamiento de los Relaves Antiguos

REACTIVOS	CONSUMOS	
	lb/TMS de mineral	lb/TMS de concentrado
Sulfato de Cobre	2,278	20,416
Carbonato de Sodio	0,533	4,773
Aceite de Pino	0,131	1,177
Aerofloat 211	0,640	5,736
Xantato Z-11	0,311	2,803
Bicromato de Potasio	0,009	0,078
Meta-Silicato de Sodio	0,016	0,139
Separán N° 10	0,007	0,063

Fuente: Informes mensuales de Minas de Cercapuquio S.A.



Tabla N° 6.5.

Promedio de 10 Turnos de Trabajo en la Concentradora de Cercapuquio Tomadas Aleatoriamente

N° PRUEBAS	LEY DE ZINC % EN PESO			R	E
	RELAVE (CABEZA)	CONCENTRADO	RELAVES FRESCOS	RADIO DE CONCENTRACIÓN	EFICIENCIA %
	a	b	c		
10	5.25	39.0	1.83	11.22	67.56

Fuente: Laboratorio Análisis Químico – Minas de Cercapuquio

Tabla N° 6.6

Pruebas Experimentales de Flotacion De Relaves

N° PRUEBAS	LEY DE ZINC % EN PESO			R	E
	RELAVE (CABEZA)	CONCENTRADO	RELAVES FRESCOS	RADIO DE CONCENTRACIÓN	EFICIENCIA %
	a	b	c		
1	5,12	39,0	1,90	11,50	56,11
2	3,03	27,6	2,40	40,00	22,77
3	4,70	35,2	2,15	12,96	57,68
4	5,27	39,5	1,85	11,0	68,0
5	4,1	31,2	2,3	16,05	47,39
6	3,38	29,03	2,37	26,39	32,53
7	4,85	38,5	1,80	11,91	66,61
8	5,03	38,3	1,96	10,88	66,45
9	4,53	32,3	2,25	13,17	54,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.7

Promedio de los 5 Mejores resultados de las Pruebas Experimentales realizadas

N° PRUEBAS	LEY DE ZINC % EN PESO			R	E
	RELAVE (CABEZA)	CONCENTRADO	RELAVES FRESCOS	RADIO DE CONCENTRACIÓN	EFICIENCIA %
	a	b	c		
5	4.994	38.1	1.932	11.815	64.58

Fuente: Elaboración propia



VII. DISCUSIÓN

Cabe mencionar que los antecedentes previos al trabajo realizados, el basamento teórico fundamental en el que se fundamenta la flotación de minerales, es el hecho de que la mayoría de los minerales sulfurados, en especial los que contienen zinc, cobre y plomo, tienen enlace químico covalente y no son solubles en agua, esto les permite ser sometidos a operaciones unitarias donde se utiliza agua, como es el caso de la concentración de minerales por flotación.

En el diagrama N° 6.1 se muestra en forma explícita la secuencia del proceso de flotación de relaves, indicando las etapas más importantes hasta lograr la obtención de concentrados de zinc a partir de los relaves sulfurados seleccionados.

En las tablas N° 6.1 Y 6.2 se muestran 2 análisis granulométricos de los relaves antiguos seleccionados y que indican que los tamaños de granos de estos relaves a -200 mallas ya liberan el producto útil, motivo por el cual la materia prima de trabajo fue precesado con el 92 a 94% de granulometría - 200 mallas de la serie Tyler.

Las tablas N° 6.3 y 6.4 muestran el consumo de reactivos químicos para el proceso de concentración, tanto para las pruebas experimentales de flotación de relaves, como para los procesos de flotación de mineral fresco mezclado con relaves. Esta similitud en la dosificación de reactivos nos indica que la densidad de pulpa asumida es positiva y que es posible tratar estos relaves como si fueran minerales frescos.

El trabajo de investigación realizado muestran resultados positivos comparándolos con los resultados obtenidos en las oficinas de investigaciones metalúrgicas de la planta concentradora de la mina de Cercapuquio. Así se muestran los resultados indicados en la tabla N° 6.5,



que nos muestra el promedio de 10 turnos de trabajo en la Concentradora de Cercapuquio tomadas aleatoriamente y se observa la cercanía de los resultados de las 9 pruebas experimentales realizadas y que se muestran en la Tabla N° 6.7. Los resultados de las 9 corridas experimentales se indican en la Tabla N° 6.6.

En conclusión, el diseño del procedimiento de flotación a nivel laboratorio funciona teniendo en cuenta las siguientes condiciones de operación: cantidad de masa (densidad de pulpa), dosificación de reactivos químicos en las etapas de flotación, granulometría y tiempo de flotación.

El mineral de Cercapuquio constituye un caso muy particular, porque la Brunckita que es un sulfuro de zinc semiamorfo, es muy raro en el Perú y en el mundo, y se asume que por esta particularidad el proceso de recuperación de zinc a partir de sus relaves ha encajado en un gran porcentaje con la técnica de concentración de minerales frescos.

Se debe mencionar así mismo que las sales iónicas como la mayoría de los haluros, nitrato y sulfatos, son solubles en agua y la extracción de los valores útiles de estos tipos de minerales se realizan por la técnica de Hidrometalurgia.



VIII. REFERENCIALES

1. Aguilar Revoredo, J.F (1985). **Preparación Mecánico de Minerales**. Lima: UNI.
2. Astucuri, Venancio (1982). **Fundamentos y aplicaciones principales de la flotación de minerales**. Lima, Perú: Colección Ciencias.
3. Ballester – Verdeja – Sancho (2000). **Metalúrgica Extractiva. Fundamentos**. Madrid: Volumen I. Editorial Síntesis
4. Bray, John L. (1978). **Metalurgia Extractiva de Metales no ferrosos**. Madrid: Ediciones Interciencia.
5. Brown, George Granger (1985). **Operaciones básicas de Ingeniería Química**. Barcelona: Editorial Marín S.A.
6. Buelma, Ramón (2014). Muestreo de depósitos minerales. Muestreo y control de Calidad. Universidad de Chile.
7. Cercapuquio S.A. (1973). **Informes Mensuales de Minas Cercapuquio S.A. 1973**. Huancayo, Junín.
8. Cercapuquio S.A. (1950). **“Estatutos de Mineas Cercapuquio S.A.”**. Huancayo, Junín.
9. Cercapuquio S.A. (1956). **Informes de Minas cercapuquio S.A. 1937-56**. Huancayo, Junín.
10. Champa Henriquez, Oscar Manuel (1999). **Estudio Técnico para la Producción de Concentrados de zinc a partir de Relaves Minerales Sulfurados**. Informe de trabajo profesional. Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. 1999.
11. Champa Henriquez, Oscar Manuel (2011). **Texto: Metalurgia Extractiva I**. Callao, Perú: UNAC.
12. Champa Henriquez, Oscar Manuel (2013). **Texto: Mineralurgia de Minerales Sulfurados de zinc. Tratamiento de sus Relaves**. Perú: UNAC.



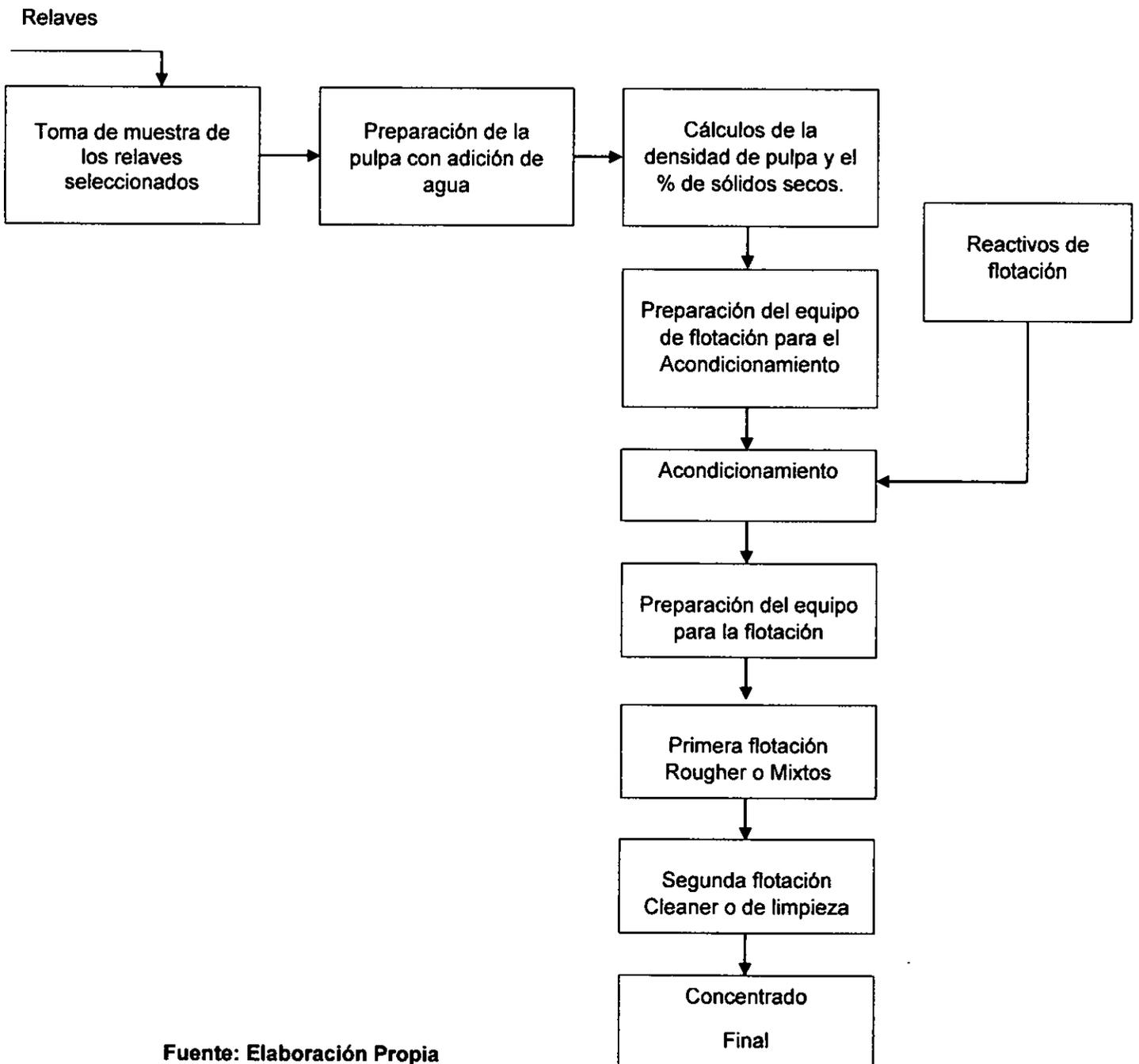
13. Cyanamid Co. **Reactivos de Flotación.** Catálogos técnicos de reactivos de flotación.
14. Dominic Mihovilovic, Esteban – Sánchez F., Mario – Correa C., Héctor (2006). **Manual General de Minería y Metalurgia.** Santiago, Chile: Portal Minero Ediciones.
15. Gaudin, A.M. (2014). **Flotation.** New York: Mc Graw-Hill 1957
16. GUÍA DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA. Guía N° 06. "Manejo de mineral y residuos mineros". Ministerio de Minería de Chile. Primera edición.
17. Hurlbut y Klein. (1976) **Manual de Mineralogía. Dana.** New York: Copyright John Wiley & SAONS Inc.
18. Marsden, John, House, Lain. (1960). **The Chemistry of Gold Extraction. Colorado, EE.UU.:** 2nd ed., Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
19. McCabe, SMITH, HARRIOTT (1998). **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.** Madrid: Cuarta Edición. Editorial Mc Graw Hill.
20. Morral, I. (1990). **Metalurgia General.** España. Vol. I Editorial Reverte.
21. Otero de La Gándora, J.L. (1980) **Operaciones de Separación en Metalurgia Extractiva.** España: Ed. Alhambra.
22. Renasa. Reactivos Nacionales S.A. (1981). **Catálogos técnicos de reactivos de flotación.**
23. Romero Rojas, Manuel Antonio. (2014). **Estudio de muestras de óxidos de cobre por el método de flotación.** Consorcio minero Antares S.A.C. Tesis para título profesional. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
24. Sutulov, Alexander. (1963). **Flotación de Minerales.** Concepción, Chile: Instituto de Investigación Tecnológicas.
25. Taggart, Arthur F. (1992). **Manual de Metalurgia Extractiva.** New York: Editorial McGraw Hill.



IX. APÉNDICE

APÉNDICE N° 9.1

DIAGRAMA DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DE LOS RELAVES



Fuente: Elaboración Propia

APENDICE N° 9.4**Promedio de los 5 Mejores resultados de las Pruebas Experimentales realizadas**

N° PRUEBAS	LEY DE ZINC % EN PESO			R	E
	RELAVE (CABEZA)	CONCENTRADO	RELAVES FRESCOS	RADIO DE CONCENTRACIÓN	EFICIENCIA %
	a	b	c		
5	4.994	38.1	1.932	11.815	64.58

Fuente: Elaboración propia

X. ANEXOS

Pérez

10.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo debe ser el proceso para la obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves?	Obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves	Con el proceso adecuado se podrán obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves.	W. Obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves	Flujo de producción	Toneladas métricas por día (Tm/día)	Experimental
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Cuál es la información existente sobre minerales sulfurados obtenidos a partir de relaves?	a) Recopilar y analizar la información existente sobre minerales sulfurados de los depósitos de relaves para evaluar las alternativas de prueba de identificación.	a) Con la información existentes recopiladas y analizadas sobre minerales sulfurados de los depósitos de relaves, se podrán evaluar las alternativas de pruebas de identificación.	X. Información existente sobre minerales sulfurados en los depósitos de relaves.	Relaves acumulados por tiempo de deposición	- Años - Granulometría - Remanente de reactivos - Toneladas métricas	- Deductivo - Experimental
b) ¿Cuáles son las condiciones de almacenamiento de los relaves de minerales sulfurados de zinc?	b) Evaluar y cuantificar las condiciones de almacenamiento de minerales sulfurados de zinc de los relaves.	b) Con los métodos adecuados formulados se podrán evaluar y cuantificar las condiciones de almacenamiento de los minerales sulfurados de zinc de los relaves.	Y. Condiciones de almacenamiento de minerales sulfurados de zinc de los relaves.	- Depósitos de relaves - Zonas de deposición	- Toneladas métricas - % de humedad - Accesibilidad	- Deductivo - Experimental
c) ¿Cuál es la tecnología adecuada para la obtención de minerales sulfurados de zinc a partir de relaves.?	c) Conseguir la información necesaria que permita seleccionar la tecnología adecuada para obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves.	c) Con la tecnología seleccionada se podrán obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves.	Z. Tecnología adecuada para obtener minerales sulfurados de zinc a partir de relaves	- Transporte de relaves a la planta concentradora - Concentración de relaves - Acondicionamiento de reactivos de flotación - Reactivos de flotación - Densidad de pulpa caudal	- bombas impulsoras de flotación - dosificación de reactivos - agua - g/L de suspensión - m ³ /minuto	- Deductivo - Experimental

APÉNDICE N° 9.2

Variables consideradas para las pruebas experimentales de cinética de flotación.

FACTORES	VALOR
A: pH de la Pula	8.4-9.2
B: Granulometría (Tyler – 200M)	94%
C: Aeroploat 211 (lb/TM de relaves)	0.64
D: Aceite de pino (lb/TM de relaves)	0.131
E: Carbonato de sodio (lb/TM de relaves)	0.533
F: Bicromato de Potasio (lb/TM de relaves)	0.009
G: Xantato Z – 11 (lb/TM de relaves)	0.311
H: Grado de agitación (RPM)	1300

Fuente: Elaboración Propia

APENDICE N° 9.3

Pruebas Experimentales de Flotacion De Relaves

N° PRUEBAS	LEY DE ZINC % EN PESO			R	E
	RELAVE (CABEZA)	CONCENTRADO	RELAVES FRESCOS	RADIO DE CONCENTRACIÓN	EFICIENCIA %
	a	b	c		
1	5,12	39,0	1,90	11,50	56,11
2	3,03	27,6	2,40	40,00	22,77
3	4,70	35,2	2,15	12,96	57,68
4	5,27	39,5	1,85	11,0	68,0
5	4,1	31,2	2,3	16,05	47,39
6	3,38	29,03	2,37	26,39	32,53
7	4,85	38,5	1,80	11,91	66,61
8	5,03	38,3	1,96	10,88	66,45
9	4,53	32,3	2,25	13,17	54,0

Fuente: Elaboración propia