

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



**“EVALUACIÓN METALÚRGICA A LOS MINERALES
SULFURADOS PARA MEJORAR LA
RECUPERACIÓN DE SUS CONCENTRADOS EN LA
PLANTA CONCENTRADORA SAN EXPEDITO –
CERRO S.A.C. - 2015”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

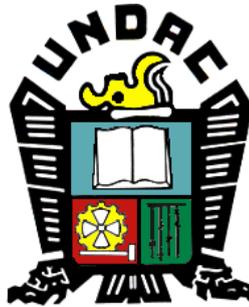
PRESENTADO POR:

Bach. ANDERSON EDWIN HIDALGO SOLIS

CERRO DE PASCO – PERU

2015

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



**“EVALUACIÓN METALÚRGICA A LOS MINERALES
SULFURADOS PARA MEJORAR LA RECUPERACIÓN
DE SUS CONCENTRADOS EN LA PLANTA
CONCENTRADORA SAN EXPEDITO –
CERRÓ S.A.C. - 2015”**

PRESENTADO POR:

Bach. **ANDERSON EDWIN HIDALGO SOLIS**

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS:

Dr. Hildebrando CÓNDROR GARCÍA
PRESIDENTE

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN
MIEMBRO

Mg. José CASTILLO MONTALVÁN
MIEMBRO

**CERRO DE PASCO – PERU
2015**

RESUMEN

Aunque las funciones de los químicos y mineralogistas en la metalurgia son muy variadas, generalmente dos son las principales:

- Identificar todas las especies minerales en un mineral.
- La examinación de los productos obtenidos de estos cuerpos minerales en los procesos de concentración.

Cuando un mineral ha sido identificado, la literatura es consultada para hallar datos sobre su composición química, propiedades físicas y sus ocurrencias.

Las propiedades físicas son de gran importancia entre ellas: la dureza, fragilidad, textura, gravedad específica, fractura, grado de transparencia, calor, etc.

Las formas particulares de cada mineral y el tamaño de partícula en que se encuentran, es primordial en la separación por medios físicos, así la diferencia de gravedades específicas de minerales es la base de la separación de gravimétrica; el color y reflectividad son usados como control en los procesos de escogimiento por color ya sea manualmente o electrónicamente. Por otro lado las impurezas minerales presentes deben

de ser estudiadas, pues éstos pueden alterar los procesos de concentración.

La correcta información de las propiedades físicas como la textura, el tamaño de liberación de las partículas, la manera como están asociadas los minerales en la matriz de un cuerpo mineral, el tamaño de los granos de un mineral, el clivaje, la fractura, los bordes y el estado físico, ya sea que estén frescos o alterados, nos evitarían sobre moliendas o moliendas débiles de ciertos minerales valiosos, que a veces su concentración se torna muy dificultosa y otras veces imposible.

El control de la dosificación de reactivos es de vital importancia ya que con ello evitaríamos dosificar en exceso o a falta de ellos provoca una mala flotación.

En la presente investigación se ha tratado de tener patrones que nos ayudan a la dosificación y al control del tamaño de partículas en la molienda y en la remolienda.

DEDICATORIA

**A DIOS QUE ME ILUMINA EN ESTE LARGO CAMINO.
A MIS PADRES LEONCIO Y IVE, QUE GRACIAS A SU
SABIDURÍA INFLUYERON EN MI MADUREZ PARA
LOGRAR TODOS LOS OBJETIVOS EN LA VIDA, ES
PARA USTEDES ESTA TESIS EN AGRADECIMIENTO
POR TODO SU AMOR.**

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente expreso mis sinceros agradecimientos a:

- A Dios por darme salud y bienestar,
- A mis padres por darme lo mejor de mi vida que es la educación y profesión,
- A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica por la orientación y apoyo recibido durante el desarrollo académico de mi persona. En especial al Ingeniero, asesor de la presente investigación quien me brindo toda su confianza y sugerencias para que esto se haga realidad.
- Al personal Staff y a los trabajadores de la Planta concentradora San Expedito de la Empresa Administradora Cerro S.A.C, por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3. OBJETIVOS	
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. IMPORTANCIA, LIMITACIONES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. Importancia	5
1.4.2. Limitaciones	5
1.4.3. Justificación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. BASES TEÓRICAS	
2.2.1. Pruebas de laboratorio	9
2.2.2. Pruebas de flotación	10
2.2.3. Pruebas metalúrgica	11
2.2.4. La flotación	13
2.2.5. Reactivos utilizados para la flotación de minerales	19
2.2.6. Flotación de minerales sulfurados de cobre	21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	23
2.6. HIPÓTESIS	
2.6.1. Hipótesis General	25
2.6.2. Hipótesis Específicos	26
2.7. VARIABLES	
2.7.1. Variable Dependiente	26
2.7.2. Variable Independiente	26
2.7.3. Variables Intervinientes	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	29
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	
3.4.1. Población	30
3.4.2. Muestra	31
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	31
3.5.1. Medios y materiales	31
3.5.2. Instrumentos y equipos	32
3.5.3. Reactivos utilizados	33
3.5.4. Preparación de muestras	36
3.5.5. Pruebas de flotación	41

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRUEBA 1: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MOLIENDA EN LA RECUPERACIÓN Y LEYES DE CONCENTRADO	54
4.2. PRUEBA 2: DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE	

LA REMOLIENDA DE LOS MEDIOS DE ZINC EN LA RECUPERACIÓN.	56
4.3. PRUEBA 3: FLOTACIÓN PRIMARIA DE PLOMO	65
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS	73
4.6. PROBLEMAS MINERALÓGICOS EN RELACIÓN A LA METALURGIA	75

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Fotografías

INTRODUCCIÓN

VOLCAN S.A.A., dueño de la Empresa Administradora Cerro S.A.C., está ubicado en la sierra del Perú, sus establecimientos se ubican a 4800 m.s.n.m. a 305 km. de la ciudad de Lima, departamento de o Región Pasco. La compañía minera VOLCAN S.A.A. opera como tal desde 1943, explotando alternativamente minerales de plomo, zinc y plata, llamados “mineral común” y minerales de cobre – plata con bajos contenidos de plomo y zinc, llamados “mineral triple” y utilizando metalurgia de flotación en circuitos separados, produciendo dos tipos de concentrados de los minerales comunes , uno de plomo - plata y otro de zinc y 3 tipos de concentrados de los minerales triples, uno de plomo – plata, otro de zinc y un tercero de cobre – plata.

Posteriormente se juntan ambos minerales en un solo circuito tratando de “simplificar la operación”, pero el valor económico de los concentrados se deteriora, constituyendo un primer problema, que se acentúa con el paso

de los años y el cambio de profesionales que ocasiona una pérdida de tecnología.

Debido a las fluctuaciones en la economía de la minería de los polimetálicos, VOLCAN S.A.A. busca mejorar las leyes de sus concentrados, para esto se están realizando análisis metalúrgicos sobre el chancado, molienda y el porcentaje de mezcla de cada uno de los flujos minerales de la zona.

Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos de la tesis, las hipótesis, las variables y la justificación e importancia de la tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, marco histórico de la flotación y el uso de los reactivos, seguido de las bases teóricas de la flotación de plomo – plata y zinc.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que si es factible realizar,

así mismo captar la información necesaria para realizar las pruebas experimentales.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS, en este capítulo se han considerado las evaluaciones hechas de las muestra tomadas en las pruebas experimentales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar con la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el mercado internacional da mayor interés a la compra de los concentrados de plomo, zinc, cobre y plata, haciendo que éstos productos incrementen su valor y el país ve reflejado en un sostenimiento económico aceptable y creíble, cada vez con mayores incrementos en la caja fiscal.

La Planta Concentradora San Expedito, se dedica a la exploración, explotación y beneficio de minerales por cuenta propia y de subsidiarias, correspondiéndole la extracción, concentración y tratamiento. La comercialización de todos los productos y

concentrados. La duración de la empresa es de carácter indefinido, limitado a la disposición de reservas de mineral, lo cual a su vez puede variar en función de las inversiones que la compañía efectúe en exploraciones y a los resultados de éstas

Generalmente en las empresas mineras, el tratamiento del mineral se hace una rutina diaria controlando a cada instante el funcionamiento normal de los equipos y maquinarias para no verse perjudicado y/o pérdida de tiempo en la guardia al tratar de reparar o reemplazar a uno de ellos que presenta fallas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la flotación de minerales existen un sinnúmero de variables que influyen en las recuperaciones en la calidad tanto de los concentrados como de los relaves. Siendo algunas de estas variables:

- Granulometría del mineral de alimentación.
- Dosificación de reactivos.
- pH del mineral.
- Velocidad de agitación.
- Porcentaje de sólidos.
- Densidad de pulpa.
- Mineralogía del mineral de alimento.

El problema general del presente estudio está en determinar, cuales son las variables más influyentes e importantes que tienen efectos más relevantes en el proceso de los minerales en estudio.

Por lo tanto el trabajo tiene por finalidad en evaluar metalúrgicamente el efecto que tienen estas principales variables en su recuperación metalúrgica a escala de laboratorio.

La muestra en estudio son minerales sulfurados cuyas especies mineralogías presentes son la chalcopirita, la pirita, la chalcosita y teniendo como ganga principalmente los silicatos, siendo la ley aproximada de cabeza del 1,3 % de cobre.

Por lo tanto el objetivo general de la investigación está orientado en determinar las mejores condiciones de operación para un circuito de flotación primaria (rougher) de las variables más principales del proceso, como son: Velocidad de agitación del impeler, dosis del colector y el pH de la pulpa.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las variables que más influyen en la recuperación de concentrado de cobre de los minerales sulfurados en la planta concentradora San Expedito de Cerro S.A.C.?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuál es la velocidad óptima de agitación del impeler de la celda de flotación de laboratorio?
2. ¿Cuál es el valor del pH óptimo en la flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora San Expedito de Cerro S.A.C.?
3. ¿Cuál es el tipo y la dosis adecuada del colector de cobre en la flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora del San Expedito de Cerro S.A.C.?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para mejorar la recuperación de concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar metalúrgicamente la velocidad óptima de agitación del impeler de la celda de flotación de laboratorio.

2. Determinar el pH óptimo en la flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora San Expedito de Cerro S.A.C.

3. Determinar el tipo y la dosis adecuada del colector de cobre en la flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

1.4. IMPORTANCIA, LIMITACIONES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA:

El presente estudio de investigación nos conllevará a conocer la existencia de especies de minerales sulfurados para mejorar la recuperación de concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C., y que la empresa sea favorecida económicamente en beneficio de sus trabajadores.

1.4.2. LIMITACIONES

La investigación a realizarse tendrá como la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C, teniendo en

cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enmarcada en la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para mejorar la recuperación de concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C., es una investigación de índole tecnológico y preservando el medio ambiente.

En su factibilidad económica podremos decir que sí es posible llevar a cabo esta evaluación toda vez que está en constante alza el precio del cobre y los demás metales en el mundo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

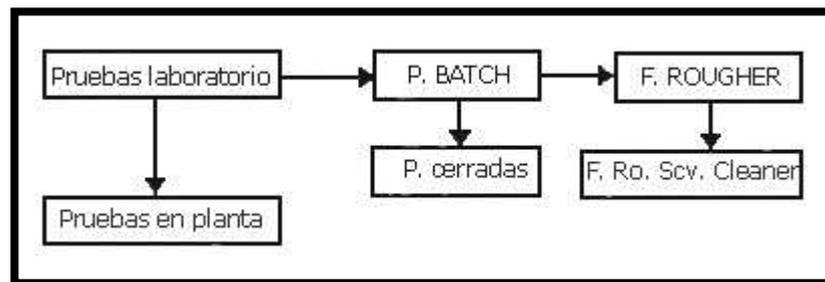
En el presente estudio de investigación se desarrollara con el uso adecuado del laboratorio metalúrgico de la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

2.1. ANTECEDENTES:

El proceso de flotación de minerales ha marcado un hito en la historia de la industria minera, por el importante rol que éste ha jugado en la producción mundial de minerales y metales. Este método ha permitido la explotación económica de yacimientos de baja ley y de una constitución mineralógica compleja, que en otras épocas hubiese sido imposible.

En este contexto los reactivos de flotación juegan un rol importante en el proceso, los cuales al ser alimentados al circuito de flotación cumplen determinadas funciones específicas que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo la elección de reactivos no es una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso, como por ejemplo la complejidad mineralógica de la mena entre otros aspectos.

Los metalurgistas debido al trabajo que desempeñan, siempre están evaluando las propiedades y bondades que ofrece uno u otro reactivo; hasta encontrar al que permita optimizar los resultados metalúrgicos, el presente trabajo consistirá en evaluar reactivos de flotación, principalmente colectores pH y velocidad del impeler en la celda de flotación de laboratorio. A continuación presentamos un diagrama de flujo a seguir en el caso de evaluar reactivos para su aplicación en planta concentradora.



2.2. BASES TEÓRICAS

Para plantear el marco teórico debemos de manifestar lo que entendemos sobre las pruebas que se realizan a un determinado mineral y de esa manera poder plantearnos el sistema de evaluación metalúrgica que debemos realizar a los minerales sulfurados para mejorar la recuperación de concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

2.2.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

Esta etapa de la investigación es considerada de gran importancia, porque su función es seleccionar el reactivo (colector) de mejor rendimiento que debe usar en la prueba a nivel de laboratorio, previamente es aconsejable hacer pruebas cerradas, para estar seguros de la bondad del reactivo elegido. Para iniciar las pruebas es conveniente establecer una prueba de referencia o patrón que sirva como medida de comparación, frente a las pruebas que se corran con los reactivos a evaluar, esta prueba de referencia es conocida como prueba estándar. Definida a nivel de laboratorio, es la que representa las condiciones de operación de una planta concentradora que está operando en condiciones normales. Esta prueba que es trabajada en condiciones similares a la planta concentradora

nos servirá para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio.

En plantas donde no se tiene establecido el estándar, se diseñará esta prueba con los datos de operación de la planta teniendo en cuenta algunos aspectos como recirculación de productos intermedios que podrían exagerar el consumo de reactivos en pruebas batch. De este modo cualquier reactivo que supere el estándar debe ser tomado en cuenta hasta su confirmación industrial.

2.2.2. PRUEBAS DE FLOTACIÓN

Con el objeto de no incurrir en error de evaluación y dar a todos los reactivos en prueba la misma oportunidad de demostrar sus propiedades, las pruebas tienen que ser efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM, remoción de espumas etc. En el momento de la flotación es de suma importancia que la técnica empleada durante la flotación estándar sea la misma para las demás pruebas. Esto es lo referente a: inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de espumas, frecuencia de lavado etc. tratando de

eliminar en lo posible el error experimental, que podría ocasionar conclusiones erróneas.

Un método de conocer el grado de error que uno es capaz de cometer durante una prueba de flotación es realizar la prueba estándar por triplicado. Si la prueba está bien trabajada, los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí, esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sea efectuada cuidadosamente. Sólo después de alcanzar ese nivel de exactitud, se estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación. En caso de evaluar uno o más reactivos, para cuantificar su calidad estos se deben comparar con otro reactivo de marca y calidad reconocida al cual denominaremos reactivo patrón.

2.2.3. PRUEBAS METALÚRGICAS

En una etapa inicial es recomendable hacer las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio con flotaciones rougher, rougher-scavenger, por ser estos rápidos y económicos para esta etapa de trabajo, posteriormente ya con el reactivo

seleccionado se puede ir a pruebas más elaboradas donde se incluyan etapas de limpieza y/o pruebas cerradas.

Estas pruebas deben llevarse a cabo con el mínimo error posible, solo así se podrá llegar a conclusiones verdaderas. Por ejemplo en pruebas batch o cerradas es muy conveniente tener la suficiente práctica en flotación a fin de no cometer errores que podrían ser perjudiciales hasta para el mejor reactivo.

Es conveniente dar preferencia a la práctica de flotación, hasta correr una prueba por triplicado, partiendo de 1 Kilogramo de muestra se debe obtener casi la misma cantidad de concentrado, con variaciones en un gramo como tolerancia mínima.

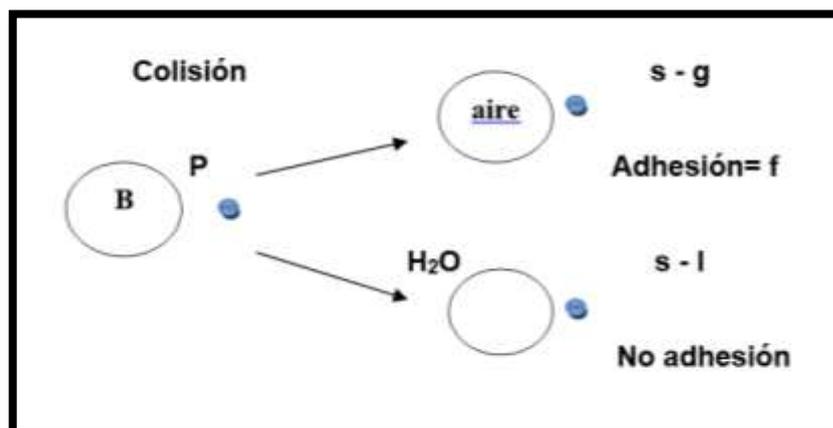
La evaluación de reactivo será en base a recuperación, radio de concentración, radio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad forma y tamaño de espumas y otros criterios metalúrgicos que uno crea conveniente, como gráficos, etc. A veces es necesario realizar análisis mineralógico de los productos a fin de obtener una idea de la naturaleza y la proporción de los diferentes tipos de partículas presentes.

El conocimiento del precio de los reactivos frente a la mejora obtenida por este mayor rendimiento metalúrgico ayudará a tener una mejor idea técnico-económica del reactivo evaluado; en casos donde los resultados metalúrgicos obtenidos con el reactivo evaluado sean ligeramente superior al estándar y la eficiencia del reactivo no está bien definida es recomendable ir a pruebas donde se incluya etapas de limpieza y/o pruebas cerradas para confirmar o descartar las bondades del reactivo.

2.2.4. LA FLOTACIÓN

La flotación en espuma, es un método físico-químico de concentración de minerales finalmente molidos, que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral útil y la ganga.

Figura N° 2.1: Esquema de adhesión selectiva



Fuente: Elaboración Propia

B= burbuja

P= partícula

S – g: sólido – gas

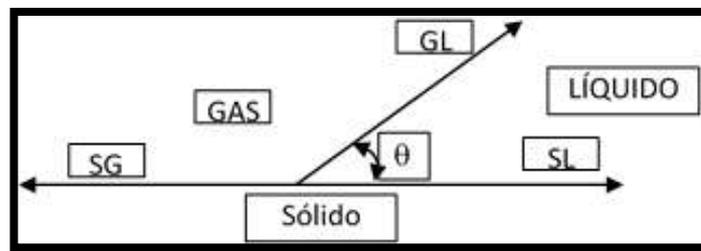
S – l: sólido – líquido

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.

La flotación de un sólido depende de la relativa adsorción o mojado de sus superficies por un fluido. A su vez este proceso viene gobernado por la energía de interfase, en la que la tensión superficial es el factor decisivo. Cualquier superficie, tal como la que separa el agua y el aire, se comporta exactamente como si se hallara en tensión. Esta tensión superficial es la que induce a las pequeñas masas de agua en el aire a tomar la forma esférica o de gota y a las pequeñas masas de aire en el agua a adquirir forma esferoidal y convertirse en burbujas, ya que la esfera es el cuerpo que ofrece el mínimo de superficie por unidad de volumen.

La tensión interfacial puede medirse como la fuerza de resistencia que se opone a la ampliación o agrandamiento de la superficie. Su valor queda determinado por el ángulo formado entre las superficies, el cual debe ser igual a cero. Si una de las fases es un sólido y las otras dos fases son fluidos, el equilibrio de fuerzas paralelas a la superficie del sólido conduce a la igualdad; según la figura N° 2.2.

Figura N° 2.2: Diagrama de las tensiones superficiales que intervienen en el contacto de las fases gas, líquido y sólida



Fuente: Víctor Conejeros T. (2003), procesamiento de minerales

$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} + \gamma_{LG} (\text{Coseno}\theta) = 0$$

Siendo:

γ = Tensión superficial entre las fases, indicadas por las letras iniciales utilizadas como subíndices.

θ = Ángulo de contacto

G = gas

L = líquido

S = sólido

La fuerza de gravedad y la agitación tienden a desprender a las partículas sólidas de las burbujas. Si el ángulo de contacto es pequeño el líquido avanza sobre la superficie del sólido, pues las fuerzas de superficie que mantienen unidos al sólido y a la burbuja son débiles. Un ángulo de contacto grande significa una fácil flotabilidad. Cuando una partícula sólida se adhiere a una burbuja de aire, tiene lugar una pérdida de energía superficial, $-\Delta E$, por unidad de superficie (σ), que es igual a la disminución de la tensión superficial, es decir:

$$\Delta E = \gamma_{SG} \Delta\sigma_{SG} + \gamma_{SL} \Delta\sigma_{SL} + \gamma_{LG} \Delta\sigma_{LG}$$

$$\Delta\sigma_{SL} = -\Delta\sigma_{SG} - \Delta\sigma_{LG}$$

$$\frac{-\Delta E}{\Delta\sigma_{SG}} = (\gamma_{SL} + \gamma_{LG} - \gamma_{SG})$$

$$\text{Ya que: } \gamma_{SG} - \gamma_{SL} + \gamma_{LG} (\cos \theta) = 0$$

$$\gamma_{SL} - \gamma_{SG} = -\gamma_{LG} (\cos \theta)$$

$$\frac{-\Delta E}{\Delta\sigma_{SG}} = \gamma_{LG} (1 - \cos \theta)$$

Esta pérdida de energía ($-\Delta E$) es una medida de la facilidad de mojada (humectabilidad), es una indicación de su flotabilidad. Representa el trabajo exigido para separar el aire de la unidad de superficie de sólido.

Etapas de la flotación. El proceso de flotación abarca las siguientes etapas:

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

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.

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 de superficie hidrofobia sobre las partículas a flotar y una película hidrofílica o humectable 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.

Flotación diferencial. Todos los procesos de concentración por flotación son selectivos o diferenciales, por cuanto un mineral o grupo de minerales son flotados para separarlos de la ganga que los acompaña. Ordinariamente, sin embargo la separación de minerales distintos como los sulfurados de los no sulfurados se conoce como flotación colectiva o bulk y el

término de flotación diferencial restringe a aquellas operaciones que comprenden la separación de tipos similares de minerales, ejemplo la concentración y subsiguiente separación de sulfuros de plomo, zinc y cobre de un solo mineral.

2.2.5. REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA FLOTACIÓN DE 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:

- **Colectores** (promotores).- Reciben éstos nombres aquellos reactivos, que siendo adsorbidos 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 sódico $\text{NaS}(\text{CS})\text{OR}$, el cual 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 propiedad 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.

- **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 interfase 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.
- **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.
- **Activadores.** Se utilizan para aumentar la capacidad de adsorción del reactivo formador de películas (colector o promotor).
- **Agente regulador de pH.** El grado de acidez o pH del agua, constituye un factor de gran importancia, ya 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.

2.2.6. FLOTACIÓN DE MINERALES SULFURADOS DE COBRE

La flotación es un proceso físico-químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original.

En las celdas de flotación (grandes tanques que contienen la pulpa), se genera espuma cuyas burbujas arrastran el cobre y otros minerales sulfurados contenidos en la pulpa. Luego de

varios ciclos en que las burbujas rebasan el borde de las celdas, se obtiene el concentrado, en el cual el contenido de cobre ha sido aumentado desde valores del orden del 1% (originales en la roca) a un valor de hasta 31% de cobre total. El concentrado final es secado mediante filtros y llevado al proceso de fundición.

Insumos Químicos: Los reactivos que se incorporan en la molienda tienen diferentes naturalezas y cumplen diferentes funciones: Espumante: reactivo que se agrega a la pulpa de mineral (mezcla de mineral molido y agua) en el proceso de flotación, con el objeto de producir burbujas que permitan captar las partículas de minerales sulfurados. El más conocido de éstos es el aceite de pino. Colectores: reactivos de formulación compleja que se agrega a la pulpa de mineral (mezcla de mineral molido y agua) y que tiene por objeto recubrir las partículas de minerales sulfurados y provocar una separación del agua (efecto hidrófobo) y una adherencia a las burbujas de aire, lo cual permite finalmente coleccionarlas en forma selectiva en la parte superficial de las celdas que contienen la pulpa.

Depresantes: reactivos de formulación compleja que se agrega a la pulpa de mineral (mezcla de mineral molido y

agua), que actúa en forma selectiva con el objeto de impedir que ciertos minerales sulfurados que no se consideran útiles (como la pirita, que es un sulfuro de hierro) sean colectados en el proceso de flotación. Otros aditivos: como la cal sirven para estabilizar la acidez de la mezcla en un valor de pH determinado, proporcionando el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación. Los principales hitos tecnológicos en cuanto a reactivos han sido: 1925 los alquil xantatos.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Mineral.- Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Metalurgia.- Es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos hasta los no metálicos.

Proceso Metalúrgico.- Obtención del metal a partir del mineral que lo contiene en estado natural, separándolo de la ganga.

Mineralogía.- Ciencia que estudia los minerales. La manera en que se combinan, cristalizan, presentan y distribuyen estos compuestos, sus diversas características físicas y químicas, su origen y su distribución en la corteza terrestre. Está ligada a la geología (que estudia los procesos físicos que determinaron la formación de la Tierra).

Mixtos o Intermedios: Son productos intermedios sobre el que no se ha podido realizar una buena separación de la mena y la ganga y que necesariamente debe ser sometido a un tratamiento adicional.

Molienda: Operación de reducción de tamaño de un mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto.

Cabeza.- Es el mineral bruto que se alimenta a la planta de tratamiento o beneficio.

Concentrado: Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.

Concentrado Bulk: Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial.

Operación Planta Concentradora.- Las operaciones de las Plantas Concentradora de minerales requieren en la mayoría de los casos de una preparación previa de los minerales que conllevan a la liberación de las partículas valiosas de su ganga acompañante. Con las diversas etapas de trituración, molienda, flotación, espesamiento y filtrado se conseguirá completar el grado de liberación necesario para el concentrado de Minerales.

Mena: Minerales de valor económico, los cuales constituyen entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo cobre, molibdeno, zinc, etc.

Proyecto.- Considera la construcción de una planta concentradora de mil toneladas al mes para minerales sulfurados.

pH: Potencial de hidrógeno. Es un número que indica la concentración de iones hidrógeno de una disolución.

Relave: Es la parte sin valor que sale del tratamiento, está constituido fundamentalmente por ganga y lleva consigo algo de mena.

Tensión superficial: Magnitud igual a la relación entre la energía necesaria para aumentar la superficie libre de un líquido y el aumento del área de esa superficie. Esta propiedad tiene gran importancia en la flotación de minerales por su relación con la mojabilidad de un sólido por un líquido.

2.4. HIPOTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si realizamos una evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados entonces podemos mejorar la recuperación de concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

1. Si Estudiamos metalúrgicamente la velocidad óptima de agitación del impeler de la celda de flotación de laboratorio entonces podemos mejorar la recuperación de concentrado de cobre.
2. Si determinamos el pH óptimo en la flotación de minerales sulfurados entonces podemos mejorar el concentrado de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.
3. Si establecemos el colector más óptimo para el tratamiento de minerales sulfurados entonces podemos mejorar la recuperación de cobre en la planta concentradora de San Expedito de Cerro S.A.C.

2.5. VARIABLES:

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Recuperación de concentrados de cobre.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados.

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Variable independiente

- La velocidad de agitación del impeler de la celda de flotación de laboratorio
- pH
- Dosis del colector

Variable dependiente

- Porcentaje de recuperación de cobre
- Calidad del concentrado

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

EL trabajo será experimental utilizando la metodología aplicada, se tomarán muestras representativas de minerales sulfurados de cobre que la empresa tiene almacenado en cancha las que fueron previamente extraídas de la mina y que fueron especialmente guardados para esta época, en que subiría el precio del cobre, estos minerales fueron almacenados especialmente con mucho cuidado evitando en lo posible su contacto con el medio ambiente para evitar una posible oxidación de los mismos.

Las pruebas experimentales se realizarán en el laboratorio metalúrgico empleando una celda de flotación primaria cuya

capacidad es de 1000 y de 2000 mililitros. A nivel batch.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño empleado en la presenta Investigación es el de carácter experimental; metodología que permite establecer la relación existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como experimental - condicionada.

Para cumplir con la metodología y diseño de la investigación, el control de las pruebas experimentales se llevó a cabo mediante una observación controlada de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y la naturaleza del problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el tipo de investigación cuasi experimental, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo la

caracterización sobre la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados en la planta de beneficio de San Expedito de Cerro S.A.C., mediante el uso de una celda de flotación de laboratorio, describiendo y explicando las causas - efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales de la flotación flash.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Como población de estudio lo considero a la reserva de los minerales sulfurados de la planta concentradora San Expedito de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.

Tabla N° 3.1: Reservas probadas de Volcan Cía. Minera S.A.A.

RESERVAS PROBADAS – Volcan Compañía Minera S.A.A.					
Unidades Operativas	TMS	% Cu	% Pb	% Zn	Oz/TM Ag
Mina Carahuacra	3 711 100	0,05	0,97	6,23	3,68
Mina San Cristobal	8 547 900	0,18	1,31	7,24	3,70
Mina Andaychagua	6 245 800	0,14	1,08	5,95	8,31
Tajo San Martín Sur	959 940		0,75	3,10	1,31
Tajo Carahuacra	273 800	0,01	0,75	3,05	1,95
Mina Ticlio	1 532 400	0,16	2,73	7,69	2,31
Mina Zoraida	35 300	0,08	2,36	2,87	6,20
Mina Subterránea Cerro SAC	22 880 240		2,49	7,85	3,16
Tajo abierto Cerro SAC	18 398 470		1,36	3,48	1,27
Oxidos Ag (In Situ) Cerro SAC	1 538 700				6,72
Stock piles Óxidos Cerro SAC	2 317 000	1,77			7,10
Stock piles sulfuros Cerro SAC	1 500 000	1,81			8,78
Total	67 940 650	0,04	1,60	5,62	3,51

Fuente: Departamento de geología Cerro S.A.C.

3.4.2. MUESTRA

Como muestra de estudio es la recolección de minerales sulfurados en una cantidad aproximada de 100 kilos en un muestro aleatorio por mallas del cual utilizaremos diez kilos para realizar su tratamiento metalúrgico.

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. MEDIOS Y MATERIALES

Volcan Compañía Minera S.A.A., se dedica a la exploración y explotación de yacimientos mineros por cuenta propia y su correspondiente extracción, concentración, tratamiento y comercialización de concentrados de minerales polimetálicos. Actualmente la Empresa Administradora Cerro S.A.C., empresa subsidiaria de Volcan Compañía Minera, solo se explota y se trata el “mineral común”, con una ley de cabeza promedio de:

Tabla N° 3.2: Ley de cabeza promedio

	% Pb	% Zn	% Cu	% Oz /TM Ag
Mineral común	3,3	5,6	0,13	9,9

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de Minerales Cerro SAC.

Volcan Compañía Minera S.A.A. era el mayor productor polimetálico del Perú y su concesionaria Empresa Administradora Cerro S.A.C., (primer productor de zinc, plomo y plata en concentrados del Perú y Sudamérica) y el cuarto productor de plata y de zinc en el mundo.

3.5.2. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS:

A. Instrumentos:

- 04 bandejas de porcelana.
- 04 baldes de plástico de 20 litros.
- 04 espátulas de plástico.
- 04 espátulas metálicas.
- 10 bolsas de polietileno.
- Jeringas hipodérmicas 1, 2, 5 y 10 mililitros.
- 02 vasos de precipitación.
- 01 vaso graduado de 1 litro.
- Cronómetro.

B. Equipos:

- Chancadora de quijadas.
- Pulverizadora de discos de laboratorio.
- Molino de bolas de laboratorio.

- Ro-Tap.(Tamizador vibratorio).
- Tamices Tyler.
- Celda Unitaria de flotación DENVER (1 Kilogramo)
- Balanza de Plato (Máximo 1000 gramos)
- Balanza de triple brazo (Máximo 310 gramos).
- Agitadores eléctricos y Magnéticos.
- Peachimetro (pHmeter) y analizador de HCN.
- 01 estufa eléctrica.

3.5.3. REACTIVOS UTILIZADOS

Los utilizados en la planta concentradora son:

1. Colectores (Promotores):

a. Xantato amilico de potasio (Z-6): $C_5H_{11}OCS_2K$.- Es el más potente de los xantatos, es útil en las operaciones que requieren un colector potente y no selectivo para los minerales sulfurosos. Es completamente soluble en agua, se usa en la planta a una concentración del 4% su color fluctúa desde blanquecino a amarillo profundo, sin variaciones de su poder colector, están en forma de perdigones (pellets), a fin de reducir el polvo en su manejo.

b. **Aerofloat 242.-** Es básicamente un ácido ditioposfato, es el colector más selectivo de los promotores AEROFLOAT Líquidos. Es un colector fuerte y ha encontrado gran aceptación particularmente en la flotación del sulfuro de cobre y plomo, en la presencia de sulfuros de escalerita y hierro, donde la selectividad hacia estos últimos sulfuros representa un problema serio. Es soluble en agua y se utiliza en la planta a una concentración del 10 %.

c. Espumantes

Dowfroth 250.- Es un glicol ploypropylene metil éter, se utiliza en la planta a una concentración de 4% causa la selección selectiva de minerales sulfurados de Plomo y Zinc, trabaja con un amplio PH (8.5 – 12.5). La ventaja del DOWFROTH 250, como es completamente soluble en agua, puede agregarse en cualquier punto del circuito de flotación sin necesidad de efectuar un acondicionamiento especial, por lo tanto su acción rápida y fácilmente ajustable es de utilidad en las variaciones del mineral.

d. Modificadores: Tenemos los que actúan como:

Depresores

- **Cianuro de sodio (NaCN).**- Se le utiliza para la separación de la galena de la escalerita y pirita, actuando como un agente depresor de estos últimos.

Los minerales de Plomo flotan fácilmente en presencia del cianuro, ya que el uso de éstos ayuda a limpiar la superficie de la Galena, haciéndola más fácil de flotar, por lo que dicha propiedad se utiliza para la flotación selectiva de la galena con respecto a los minerales de cobre, pirita y esfalerita, aunque con la pirita se usa como un complemento la cal para deprimirla. Se utiliza al 5 % de concentración.

- **Sulfato de zinc** ($ZnSO_4$).- En un circuito de flotación de plomo se usa a menudo el conjunto NaCN con el $ZnSO_4$, para lograr la depresión de los minerales de zinc y pirita. La cantidad usual del sulfato de zinc es de 3 a 5 veces la cantidad de cianuro. La alimentación de esta combinación de reactivos generalmente se divide entre el circuito de molienda y las celdas de limpieza. Se utiliza al 10% de concentración.

e. Activadores-

Sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$).- Es el activador más usado y más económico para los sulfuros de zinc. Generalmente se adiciona a la pulpa en el acondicionador, ya que los minerales de zinc se presentan a la flotación en su forma natural, pues el cobre es absorbido en la superficie de la esfalerita y las partículas así cubiertas se comportan igual al

correspondiente mineral de cobre. Se utiliza a una concentración del 10 %.

f. Agente regulador de pH.

Cal (CaO).- Se utiliza como regulador de pH, generalmente se usa en forma de cal hidrata (Ca (OH)₂). Además de ser un regulador, la cal actúa como depresor de los sulfuros de hierro y un exceso como depresor de los minerales de plata.

3.5.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El mineral grueso, debe ser transportado al laboratorio tan pronto como sea posible y secado por aire. Para la molienda, la muestra debe ser quebrada a un grado de tamaño manejable para facilitar una división representativa. La reducción de tamaño se realizó:

1. El mineral se sometido a un chancado gradual en el laboratorio, con la chancadora de quijada; las muestras recibidas tienen un peso aproximadamente 20 kilos, obteniendo el análisis granulométrico de la (Tabla N° 3.3), con un porcentaje de mineral en malla – 10 de 19,73 %.

Tabla N° 3.3: Análisis granulométrico en malla -10

Malla	Peso (%)
1 ¼"	0,88
1"	15,68
¾"	17,63
½"	19,36
¼"	14,79
10	11,93
-10	19,73
Total	100,00

Fuente: Elaboración propia

2. Seguidamente se pasa el mineral por un molino de cilindros paralelos, obteniendo el análisis granulométrico de la (Tabla N° 3.4), con un porcentaje de mineral en la malla – 10 de 56,85 %, aumentando con respecto a la anterior.

Tabla N° 3.4: Análisis granulométrico en malla – 10

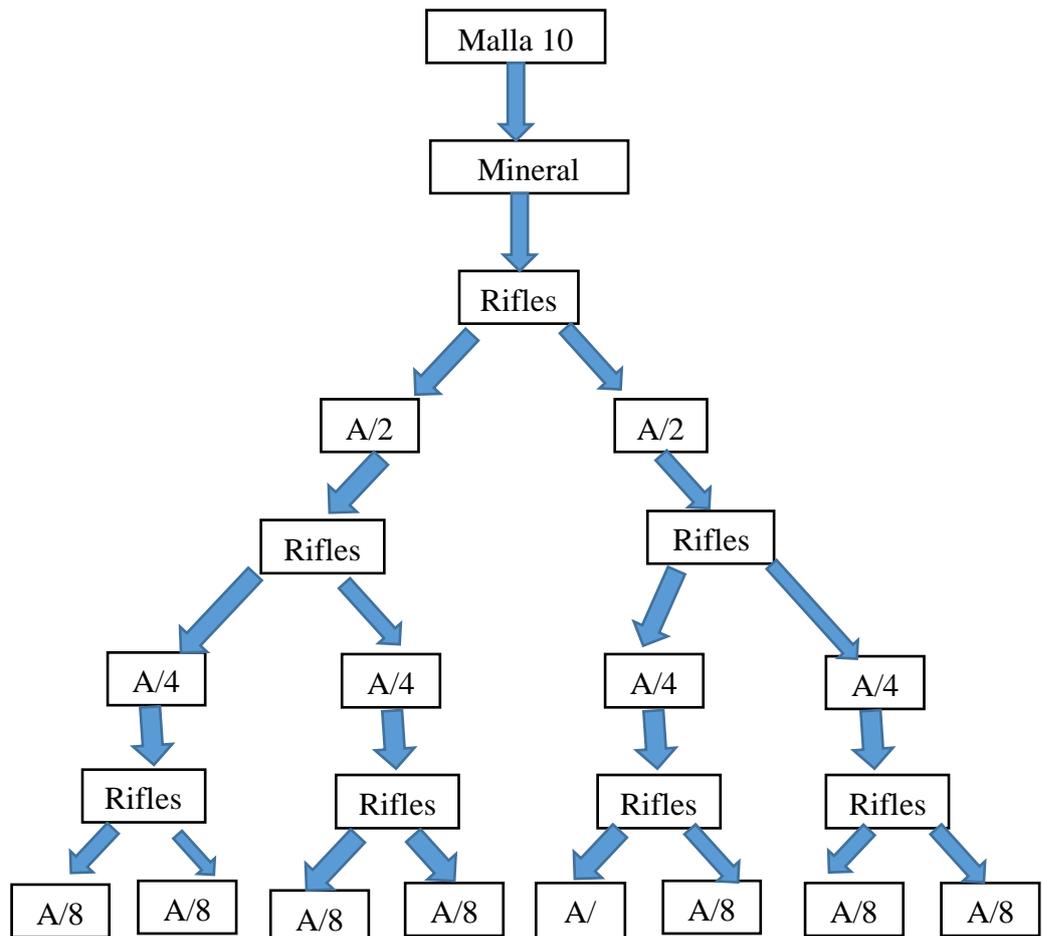
Malla	Peso (%)
1"	5,90
¾"	5,64
½"	10,04
¼"	9,76
10	11,80
-10	56,85
Total	100,00

Fuente: Elaboración propia

3. La molienda, debe llevarse preferentemente a -10 mallas (1,68 mm), la muestra es tamizada con esta malla, serie TYLER obteniéndose aproximadamente 20 kilos.

4. El mineral menor de 10 mallas es luego dividido representativamente en porciones iguales de peso conveniente para la prueba de flotación. La muestra es dividida manualmente, usando el equipo divisor rifles, obteniéndose muestras homogéneas y representativas de aproximadamente 1 kilo, para los ensayos metalúrgicos a realizar. Las muestras son colocadas en bolsas de plástico y selladas, para evitar la contaminación, la oxidación u otros efectos de añejamiento. Ver Fig. N° 3.1.

Figura N° 3.1: Divisor tipo rifles



Fuente: Elaboración propia

En el caso de muestras de pulpa, debe juntarse pulpa suficiente en cubetas. Mientras la pulpa es agitada para mantener los sólidos suspendidos, una porción de la pulpa debe ser removida usando un cucharón o vaso de precipitado y colocarla alternadamente en uno de cuantos frascos de pulpa se requieran para las pruebas subsecuentes. El procedimiento continúa colocando alternadamente, porciones de pulpa en cada frasco antes de regresar al primer frasco hasta que todos los frascos estén llenos o la muestra de pulpa se haya terminado. Los frascos son luego cerrados. Cuando sea necesaria para las pruebas, la pulpa se transferirá de uno o más frascos directamente a la celda de flotación.

5. Pruebas de molienda.- Las pruebas de molienda en el laboratorio, conducen a establecer la relación entre la granulometría y el tiempo de molienda del mineral.

Los ensayos de molienda se realizan en un molino de bolas tipo DENVER, de 10,5 litros de capacidad, con una carga de 1 kilogramo de mineral y 10,6 kilogramo de bolas. La molienda se realizó:

1. Se agregó 1,050 kilogramo de mineral (100 % malla – 10) y 500 mililitros de agua, se dio un tiempo de molienda de 10 minutos (controlado con un cronómetro).
2. La muestra fue retirada con mucho cuidado, (lavando las paredes del molino) sobre una bandeja de aluminio.
3. La pulpa molida debe ser tamizada húmeda, en una malla 200 y el material de mayor tamaño (malla + 200) y las lamas (malla – 200) y luego fueron filtradas y secadas por separado.
4. Una vez secas las muestras, el material de mayor tamaño, es tamizado, en una serie de tamices (Tabla N° 3.5) por espacio de 10 minutos en el equipo RO-TAP.

Luego se pesaron las muestras retenidas de cada malla utilizada y el material que pasa a través del tamiz 200, se añadido a las lamas de la operación de tamizado en húmedo. Los pesos de las diversas fracciones de mallas son luego usados para determinar.

Tabla N° 3.5: Análisis granulométrico en el equipo ro-tap

Malla	Abertura (µm)	Peso (g)	Peso (%)
+ 50	300	4,7	1,6
+ 70	212	10,0	3,3
+ 100	150	25,2	8,4
+ 140	106	38,2	12,7
+ 200	74	41,4	13,8
+ 325	45	51,0	17,0
-325	-45	129,5	43,2
Total		300,0	100,0

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de finos o grado de molienda lo da la suma del % peso de las mallas + 323 y - 323, en este caso es igual a 60,2% que es el porcentaje óptimo de molienda en la planta concentradora.

3.5.5. PRUEBAS DE FLOTACIÓN

La flotación experimental de muestras en el laboratorio, se realiza bajo condiciones de molienda (60% de finos) y dosificación de reactivos, similares con el que opera la planta concentradora, razón por la cual, a esta flotación la denominamos flotación estándar.

Las etapas de la flotación se divide en:

1. Acondicionamiento y punto de adición de reactivos.

Es el tiempo de inter – acción, de un determinado reactivo agregado y la pulpa del mineral.

2. Flotación rougher. Es la primera flotación, donde se recupera la mayor cantidad posible de las especies valiosas.

3. Flotación scavenger. Es la segunda flotación o de agotamiento, donde se recuperan las especies valiosas que se escaparon de la flotación anterior. Constituye el

producto de medios junto con el relave de las limpiezas de concentrados – rougher.

4. Flotación cleaner. Es la flotación donde se eliminan las impurezas contenidas en el concentrado rougher, su relave junto con la flotación scavenger forman el producto de medios.

Los factores a controlar son:

1. Tiempo de flotación. El tiempo de flotación se controla con un cronómetro, y se efectúa tomando en cuenta los agotamientos de minerales valiosos en las espumas de flotación son rougher, scavenger o limpieza.

2. Alcalinidad. El control del pH se mide con un potenciómetro, determinándose primero el pH natural del mineral, que generalmente es menor a 7, se ajusta el pH con cal, para flotar el plomo a un pH de 8,5 y luego para el zinc a un pH de 11 a 11,5

3. Concentración de reactivos. Debido a que en la práctica se utiliza granos de reactivo por tonelada de mineral, en el laboratorio se utiliza miligramos por kilogramos de mineral, razón por la cual se prepara soluciones diluidas de reactivos ya sean al 1/100 o al 1/1000. La concentración de los reactivos para la flotación estándar se da:

Tabla N° 3.6: La concentración de los reactivos para la flotación estándar

Reactivo	Concentración
Aerofloat 242	1 %
Xantato Z-6	1 ppm
Drowfroth 250	1 ppm
Cianuro de sodio	1 %
Sulfato de zinc	1 %
Sulfato de cobre	1 %

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de Empresa Administradora Cerro S.A.C.”.

Pesos de los productos obtenidos y ensayos químicos.

Usando los pesos y los ensayos de los productos se puede determinar la distribución de los metales valiosos en cada uno de ellos, mediante un balance metalúrgico.

Flotación estándar. (Mililitros de solución de reactivo / kilogramo de mineral común).

La flotación estándar se realiza en el laboratorio en una celda de flotación DENVER de 2,0 L de capacidad, con paleta de agitación tipo turbina. Ver la figura N° 3.2 y 3.3.

Molienda:

Mineral común : 1,050 kg, 100 % malla - 10

Agua : 400 ml

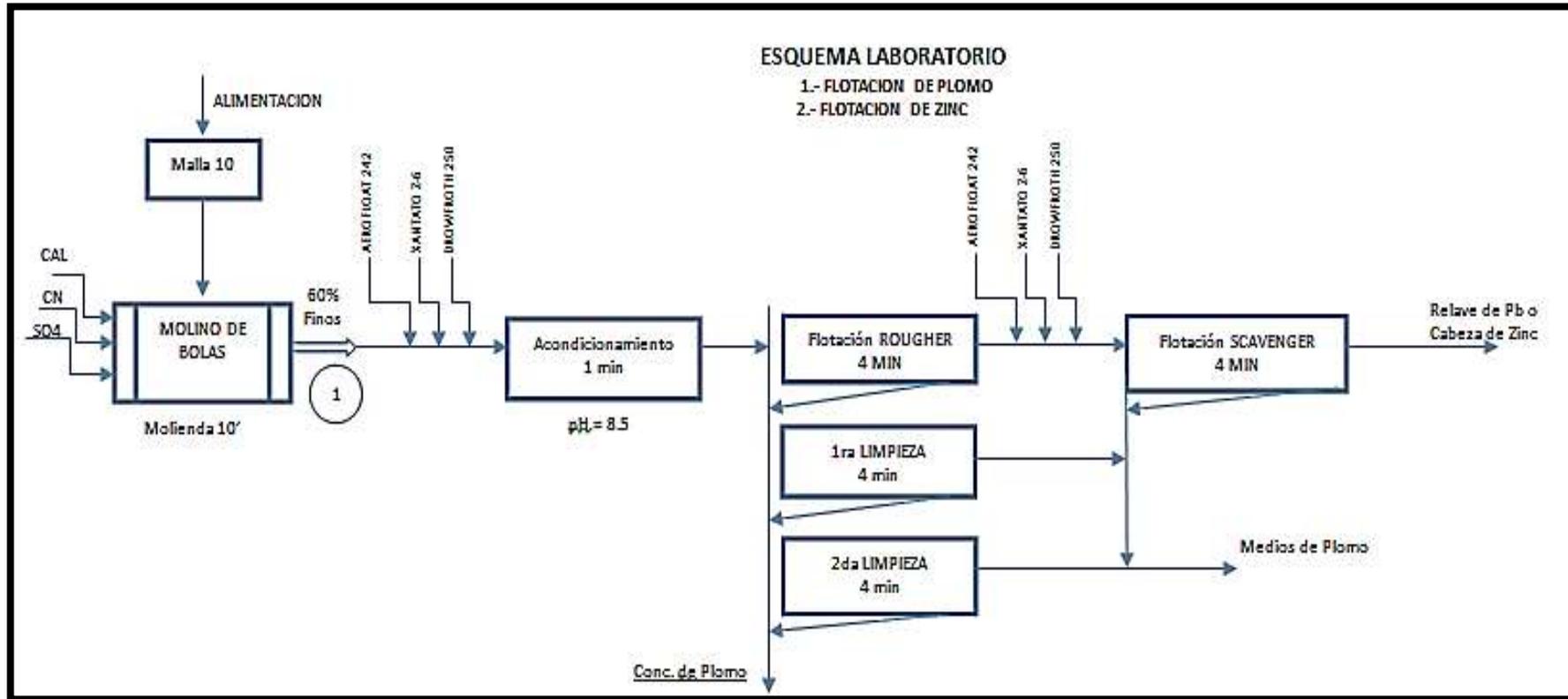
Cianuro de sodio : 32 ml al 1%

Sulfato de zinc : 50 ml al 1%

Cal : 0,5 g (ajustar pH a 8,5)

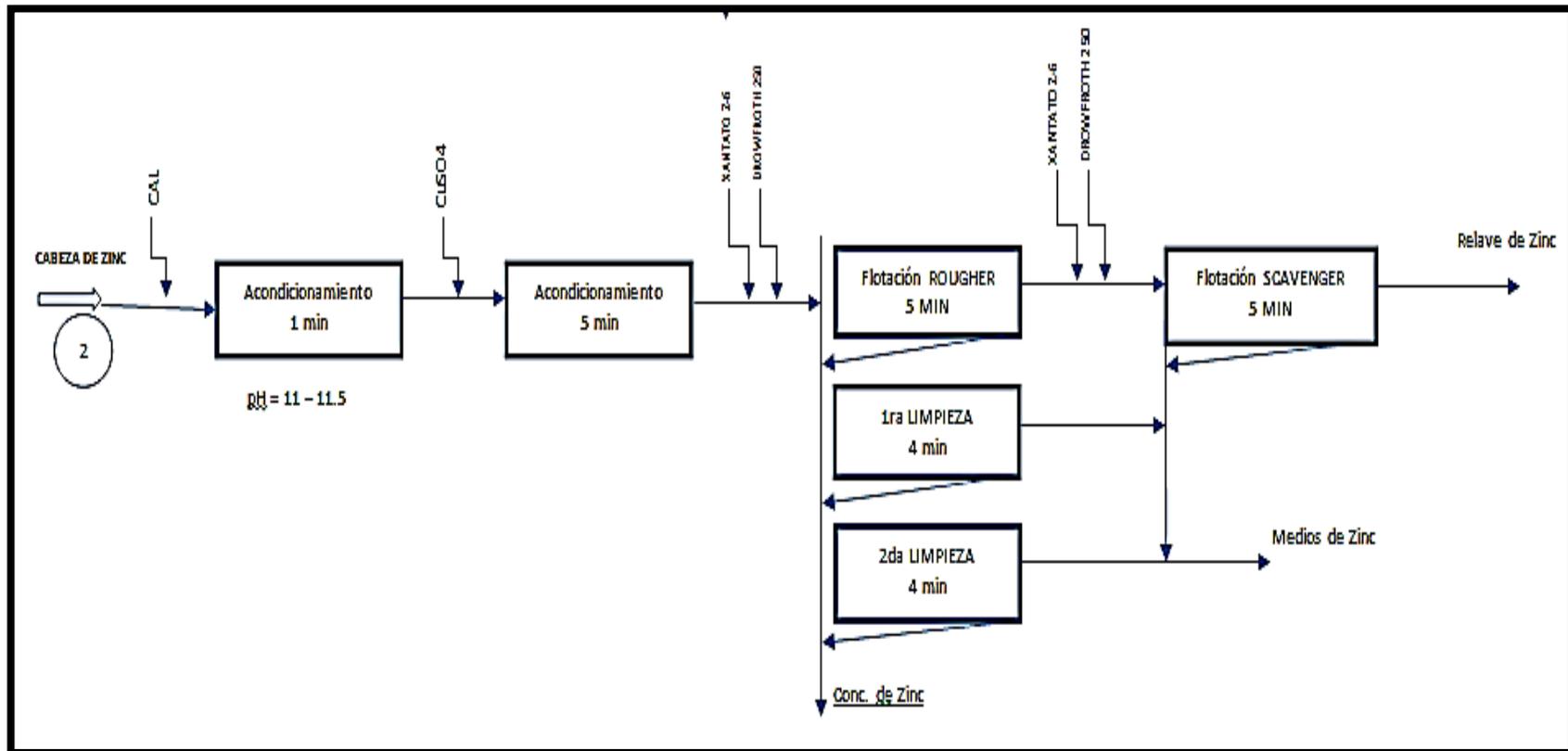
Tiempo de molienda : 10 minutos, se obtiene 60 % de fines malla –200.

Figura N° 3.2: Esquema para los experimento de flotación de plomo en laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.3: Esquema para los experimento de flotación de zinc en laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Flotación rougher de plomo:

Aerofloat 242	: 20 ml al 1 %
Xantato (Z – 6)	: 8 ml a 1 ppm
Dowfroth 250	: 10 ml al 1 %
Tiempo de acondicionamiento:	1 minuto
Tiempo de flotación	: 4 minutos
Tiempo de limpieza	: 4 minutos (2 limpiezas)

Flotación scavenger de plomo:

Aerofloat 242	: 7 ml al 1 %
Xantato (z – 6)	: 4 ml a 1ppm
Dowfroth 250	: 5 ml al 1 %
Tiempo de acondicionamiento:	1 minuto
Tiempo de flotación	: 4 minutos

Agregar:

Cal	: 1.5 gr (ajustar pH a 11,0)
Sulfato de cobre	: 50 ml al 1 %
Tiempo de acondicionamiento :	5 minutos

Flotación rougher de zinc:

Xantato (Z – 6)	: 32 ml a 1 ppm
Dowfroth 250	:10 ml al 1 %
Tiempo de acondicionamiento:	1 minuto

Tiempo de flotación : 5 minutos
Tiempo de limpieza : 5 minutos (2 limpiezas)

Flotación scavenger de zinc:

Xantato (Z – 6) : 10 ml a 1 ppm
Dowfroth 250 : 5 ml al 1 %
Tiempo de acondicionamiento: 1 minuto
Tiempo de flotación : 5 minutos

Flotación estándar: (gramos de reactivo / tonelada de mineral común).

Molienda

Mineral común : 1,050 kg 100% malla - 10
Agua : 400 ml
Cianuro de sodio : 32 g/TM
Sulfato de zinc : 500 g/TM
Cal : 500 g/TM (ajustar pH a 8,5)
Tiempo de molienda : 10 minutos, se obtiene 60%de finos, malla – 200.

Flotación rougher de plomo

Aerofloat 242 : 20 g/TM
Xantato (z – 6) : 8 g/TM
Dowfroth 250 : 10 g/TM

Tiempo de acondicionamiento : 1 minuto
Tiempo de flotación : 4 minutos
Tiempo de limpieza : 4 minutos (2 limpiezas)

Flotación scavenger de plomo:

Aerofloat 242 : 7 g/TM

Xantato (Z- 6) : 4 g/TM

Dowfroth 250 : 5 g/TM

Tiempo de acondicionamiento: 1 minuto

Tiempo de flotación : 4 minutos

Agregar:

Cal : 1,500 g/TM (ajustar el pH a 11,0)

Sulfato de cobre : 500 g / TM

Acondicionar : 5 minutos

Flotación roughr de zinc:

Xantato (Z - 6) : 32 g/TM

Dowfroth 250 : 100 g/TM

Tiempo de acondicionamiento: 1 minuto

Tiempo de flotación : 5 minutos

Tiempo de limpieza : 5 minutos

Flotación scavenger de zinc:

Xantato (Z - 6) :10 g/TM

Dowfroth 250 : 5 g/TM

Tiempo de acondicionamiento : 1 minuto

Tiempo de flotación : 5 minutos

Productos obtenidos: Con la flotación estándar se obtienen los siguientes productos:

- Concentrado de zinc
- Concentrado de plomo
- Medios de zinc
- Medios de plomo
- Relave

El estudio de los minerales de Cerro S.A.C., llevaron a elegir al mineral común para explotarlo y tratarlo, debido a su docilidad metalúrgica, dar buenos concentrados, recuperaciones de los 3 elementos económicos Pb, Zn y Ag buenos y altas leyes de cada elemento en sus concentrados respectivos. Además el mineral común tiene las más altas leyes de cabeza del yacimiento en Pb, Zn y Ag y la menor ley de cabeza en cobre, por otro lado no tiene sulfato de cobre (chalcantita) que es el mineral causante de las mayores distorsiones al tratamiento; pero tiene la desventaja de constituir las menores reservas, por lo que el trabajo de ubicación será arduo.

Se puede apreciar en la siguiente tabla las leyes y reservas de los dos principales flujos mineralizados de Volcan S.A.A.:

TABLA N° 3.7: Las leyes y reservas de los dos principales flujos mineralizados de Cerro S.A.C.

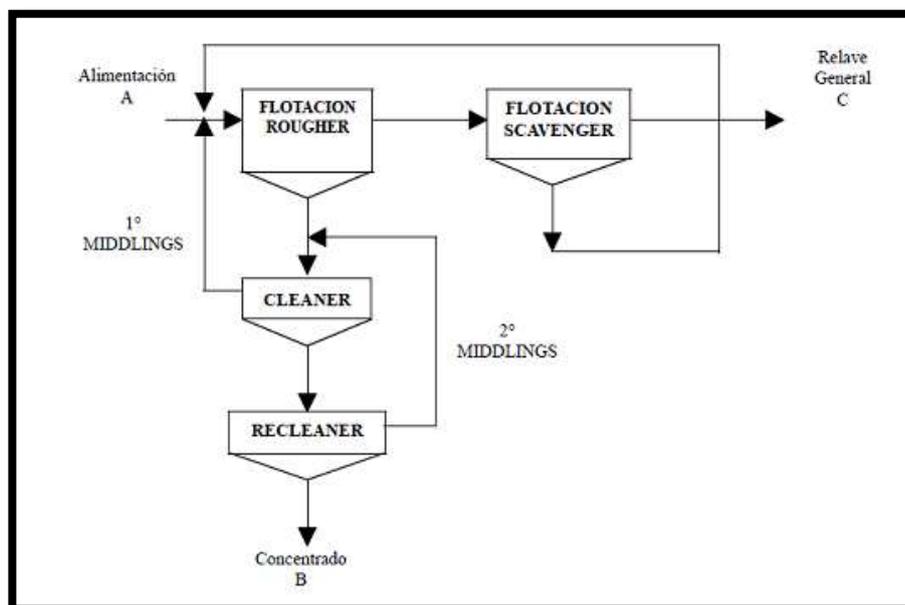
Reservas	Toneladas Métricas	Leyes			
		Pb %	Zn %	Cu %	Ag oz/TM
Mineral Común	670 000	3,3	5,6	0,13	9,9
Mineral Triple	3 000 000	1,8	2,8	0,50	9,3

Fuente: Departamento de Geología

NOTA: La denominación de mineral común y de mineral triple es válida y propia en Volcan S.A.A.

Balance Metalúrgico

Figura N° 3.4: Balance metalúrgico de dos productos



Fuente: Ángel Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales

De acuerdo al diagrama anterior podemos escribir las siguientes ecuaciones:

$$A = B + C \dots\dots\dots (1)$$

$$Aa = Bb + Cc \dots\dots\dots (2)$$

Multiplicando la ecuación (1) por c y sustrayéndola de la (2) tenemos:

$$A (a - c) = B (b - c)$$

$$\frac{A}{B} = \frac{(b-c)}{(a-c)} \dots\dots\dots (3)$$

La ecuación (3) es otra forma de calcular la razón de concentración que permite su determinación en función de los ensayos químicos de los productos y no en base a molestos y voluminosos trabajos de medición de tonelaje.

Recuperación

Por definición la recuperación es la parte del valor útil del mineral obtenido en el concentrado, expresada en %, si el contenido del mismo producto en el concentrado es Bb, entonces por definición:

$$R = \frac{Bb}{Aa} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

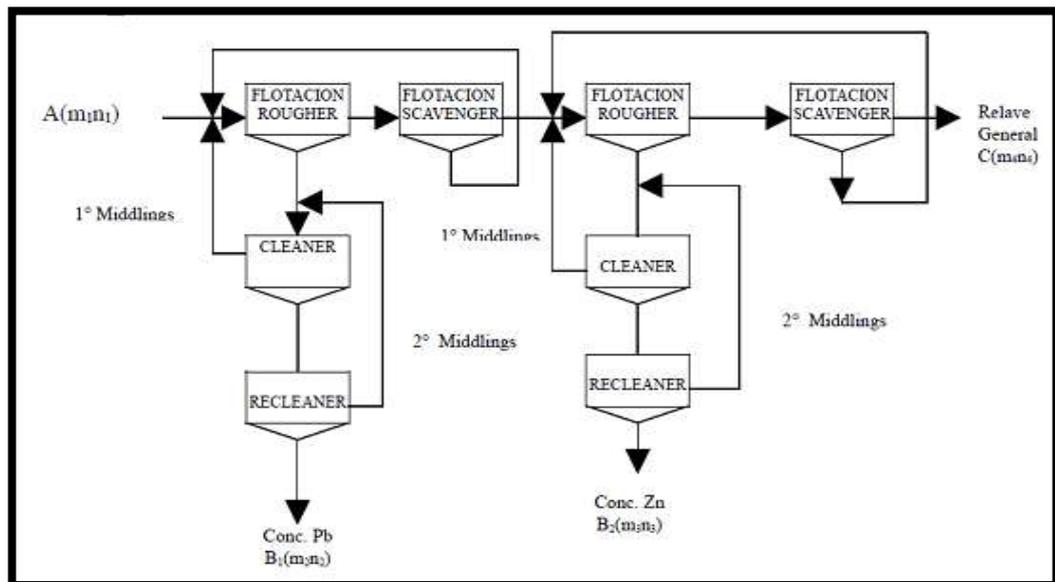
Si se sustituye en la formula (4) el valor de B/A de la formula (3) entonces se tiene la siguiente expresión:

$$R = \frac{b(a-c)}{a(b-c)} * 100 \dots\dots\dots (5)$$

Que también permite calcular las recuperaciones solo en base a los ensayos químicos.

La fórmula (5) sirve para calcular la recuperación cuando hay un solo valor metálico.

Figura N° 3.5: Balance metalúrgico de tres productos



Fuente: Elaboracion diagrama de flujo por Ing. Ángel Azañero Ortiz

Balance metalúrgico

Tabla N° 3.8: Formula para hacer el balance metalúrgico de dos productos

Producto	Peso	Ley	
		Pb	Zn
Cabeza	A	m ₁	n ₁
Conc. Pb	B ₁	m ₂	n ₂
Conc.Zn	B ₂	m ₃	n ₃
Relave	C	m ₄	n ₄

Fuente: Elaboracion por Ing. Ángel Azañero Ortiz

Las recuperaciones del plomo y del zinc son respectivamente RPb y RZn y las razones de concentración KPb y KZn por definición:

$$RPb = \frac{B1 * m2}{A * m1} * 100 \dots \dots \dots (6)$$

$$RPb = \frac{B2 * n3}{A * n1} * 100 \dots \dots \dots (7)$$

$$KPb = \frac{A}{B1} \dots \dots \dots (8)$$

$$KZn = \frac{A}{B1} \dots \dots \dots (9)$$

Donde

$$B1 = \frac{(m1 - m4)(n3 - n4) - (n1 - n4)(m3 - m4)}{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)} * A \dots \dots \dots (10)$$

$$B2 = \frac{(m2 - m4)(n1 - n4) - (m1 - m4)(n2 - n4)}{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)} * A \dots \dots \dots (11)$$

Al sustituir B_1 y B_2 en 6, 7, 8 y 9 por sus valores de 10 y 11 se obtiene:

$$RPb = \frac{m2}{m1} * \frac{(m1 - m4)(n3 - n4) - (n1 - n4)(m3 - m4)}{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)} * 100 \dots \dots \dots (12)$$

$$RZn = \frac{n3}{n1} * \frac{(m2 - m4)(n1 - n4) - (m1 - m4)(n2 - n4)}{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)} * 100 \dots \dots \dots (13)$$

$$KPb = \frac{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)}{(m1 - m4)(n3 - n4) - (n1 - n4)(m3 - m4)} * 100 \dots \dots \dots (14)$$

$$KZn = \frac{(m2 - m4)(n3 - n4) - (n2 - n4)(m3 - m4)}{(m2 - m4)(n1 - n4) - (m1 - m4)(n2 - n4)} * 100 \dots \dots \dots (15)$$

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de haber realizado las pruebas experimentales con niveles de grado de molienda y niveles de contenido de mineral en la mezcla mineral en estudio, con un tiempo de flotación promedio de 5 minutos aproximadamente y luego del análisis respectivo, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en el cuadro de resumen de balance metalúrgico.

4.1. PRUEBA 1: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MOLIENDA EN LA RECUPERACIÓN Y LEYES DE CONCENTRADOS.

Al iniciar nuestras pruebas experimentales se ha tomado en cuenta el protocolo del laboratorio y minuciosamente realizar cada una de ellas.

Tabla N° 4.1: Molienda con 49,3 % en finos (tiempo de molienda de 7').

Productos	Leyes					Porcentaje de recuperación			
	% Peso	% Pb	% Zn	% Cu	Ag z/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc de Pb	2,06	73,30	1,76	1,69	187,40	64,00	0,77	27,00	46,62
Medios Pb	7,20	6,90	16,20	0,35	37,61	21,20	14,03	30,80	32,70
Conc de Zn	4,27	0,75	60,32	0,36	4,44	1,30	49,40	17,90	2,29
Medios Zn	3,57	2,34	37,41	0,31	10,61	3,30	25,80	9,00	4,57
Relave	82,90	0,20	0,63	0,02	1,38	10,20	10,00	15,30	13,82
Cab. Calc.	100	2,36	5,20	0,13	8,28	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.2: Molienda con 60,2 % en finos (tiempo de molienda 10')

Productos	Leyes					Porcentaje de recuperación			
	% Peso	% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc de Pb	2,20	54,54	1,32	1,31	139,53	61,20	0,54	24,00	34,90
Medios Pb	11,40	3,21	4,20	0,36	33,11	18,90	8,90	34,20	43,20
Conc Zn	3,10	1,34	61,20	0,37	5,85	2,00	35,26	9,60	2,10
Medios Zn	10,10	0,73	22,30	0,21	7,33	3,60	42,00	17,70	8,40
Relave	73,20	0,38	0,96	0,02	1,35	14,30	13,30	14,50	11,40
Cab. Calc.	100	1,96	5,38	0,12	8,79	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.3: Molienda con 66,6 % en finos (tiempo de molienda 13').

Productos	Leyes					Porcentaje de recuperación			
	% Peso	% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc Pb	2,20	53,73	1,33	1,43	136,00	62,50	0,60	23,10	34,00
Medios Pb	9,00	3,70	4,10	0,39	41,15	17,60	7,06	30,70	42,00
Conc Zn	4,40	1,02	61,77	0,38	6,43	2,60	51,86	15,40	3,30
Medios Zn	6,80	1,02	23,49	0,30	11,91	3,70	30,54	15,70	9,20
Relave	77,60	0,33	0,67	0,02	1,30	13,60	9,94	15,10	11,50
Cab. Calc.	100	1,89	5,25	0,13	8,81	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

NOTAS: Los valores en la recuperación de los elementos, según el porcentaje de finos, se da en Tabla N° 4.4 y sus resultados son:

1. **Para el plomo y zinc.** La recuperación es la suma de sus valores: en el concentrado más la recuperación en los medios.
2. **Para el cobre y plata.** La recuperación es la suma de sus valores: en los concentrados de zinc y plomo más la recuperación en los medios Zn y Pb.

Tabla N° 4.4: Los Valores en la recuperación de los elementos, según el porcentaje de finos.

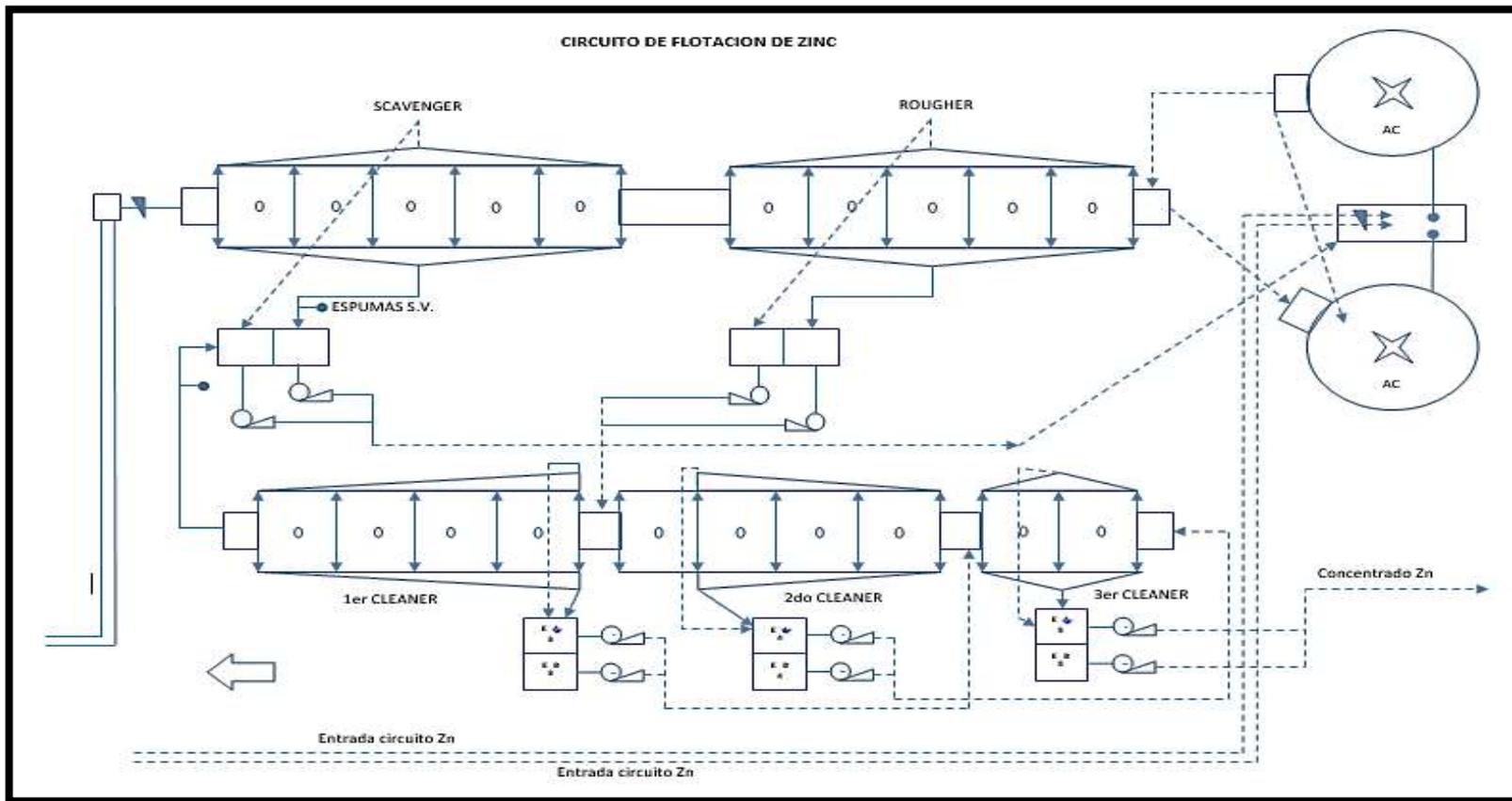
% Elementos finos	Porcentaje de recuperación		
	49,30 %	60,20 %	66,60 %
Plomo	85,20	80,10	80,10
Zinc	75,20	77,26	82,40
Cobre	84,70	85,50	84,90
Plata	86,18	88,60	88,50

Fuente: Elaboración propia

4.2. PRUEBA 2: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA REMOLIENDA DE LOS MEDIOS DE ZINC EN LA RECUPERACIÓN.

Los medios de zinc lo conforman las espumas de flotación scavenger y el relave de las limpiezas del concentrado del circuito de zinc, donde existe un porcentaje de minerales gruesos con valores altos en zinc y plata y que pueden ser recuperados en la medida que se liberan de la pirita o cuarzo, que están conformando la misma partícula. Esta liberación se realizará con una remolienda de los medios gruesos. (Ver figura N° 4.1)

Figura N° 4.1: Diagrama de flujo del circuito de flotación de zinc



Fuente: Elaboración propia

Prueba metalúrgica “A”: Tomando muestras de la planta concentradora de medios de zinc.

A estos medios de zinc se le realizarán los siguientes análisis:

- **Análisis granulométrico y análisis químico.** A las muestras de las espumas scavenger de zinc y al relave de las limpiezas, dando los siguientes resultados:

Tabla N° 4.5: Espumas scavenger de zinc

Malla	% Peso	% Zn	Ag Oz /TM
+ 50	0,20	11,20	16,08
+ 70	1,70	5,00	3,60
+ 100	6,20	7,60	14,66
+ 140	12,20	5,20	8,36
+ 200	16,10	3,80	5,47
+ 325	18,60	3,20	4,18
+ 400	5,20	3,60	4,82
- 400	39,80	5,00	6,11

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.6: Relave de las limpiezas de zinc

Malla	% Peso	% Zn	Ag Oz /TM
+ 50	0,20	3,40	18,00
+ 70	2,20	8,18	18,71
+ 100	9,30	6,40	19,42
+ 140	22,20	2,17	9,71
+ 200	19,30	1,42	7,27
+ 325	18,30	1,16	6,94
+ 400	3,80	1,22	6,69
- 400	24,70	5,20	11,12

Fuente: Elaboración propia

Para las espumas scavenger: Entre las mallas 50 y 140 se tienen un porcentaje de 20,3 % de mineral grueso, con una ley promedio en: zinc = 5,98 % y plata = 9,96 Oz/TM.

Para el relave de las limpiezas: Entre las mallas 50 y 140 se tiene un porcentaje de 34% de material grueso, con una ley promedio en: zinc = 3,73% y plata = 12,07 Oz/TM.

- **Separación del material grueso (de los medios de zinc).**

Esta prueba se realizó separando por vía húmeda con la malla 200, las partes finas de los gruesos (simulando de un hidrociclón) trabajando luego, solo con el mineral grueso, a la que se le realizó análisis granulométrico y análisis químico, obteniendo una ley promedio de cabeza para el zinc = 5,99% y plata = 15,93 Oz/TM. En la tabla siguiente vemos un resumen de % obtenidos. (Ver figura N° 4.2)

1) Flotación estándar sin remolienda del mineral grueso

Tabla N° 4.7: Separación del material grueso (de los medios de zinc)

Malla	% Peso	% Zn	Ag Oz /TM
+ 50	0,30	16,20	24,50
+ 70	2,40	15,50	27,10
+ 100	13,10	12,30	15,20
+ 140	33,30	6,10	23,80
+ 200	36,40	3,80	10,80
+ 325	12,80	3,20	8,60
- 325	1,80	8,00	15,20

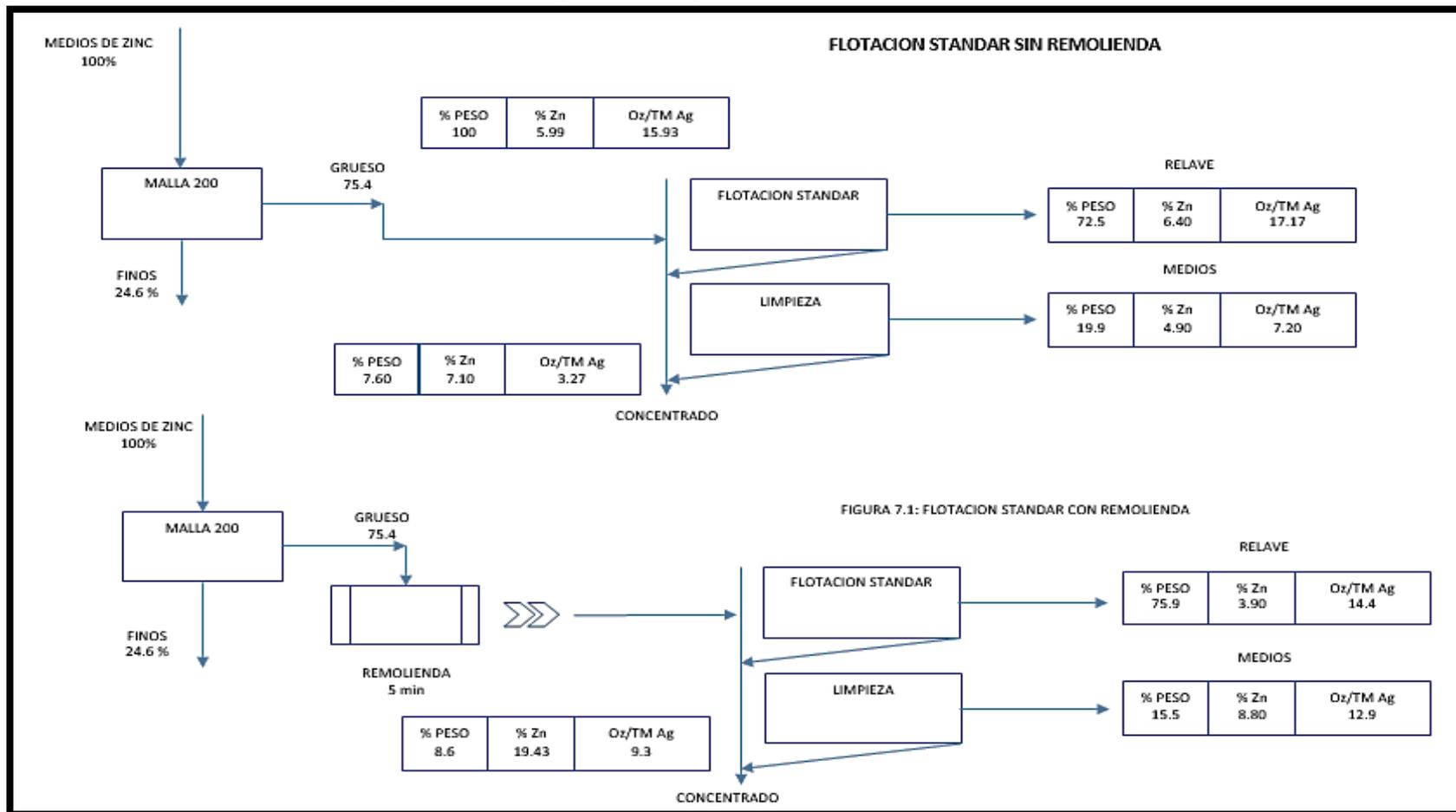
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.8: Flotación estándar sin remolienda del mineral grueso obtenido

Productos	% Peso	% Zn	Ag Oz /TM
Concentrado	7,6	7,10	3,27
Medios	19,9	4,90	7,20
Relave	72,5	6,40	17,17
Cabeza	100	5,99	15,93

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.2: Diagrama de flujo de flotación estándar sin remolienda



Fuente: Elaboración propia

2) **Flotación estándar con remolienda del mineral grueso obtenido.** Se le realizó primero una remolienda de 5 minutos y luego la flotación estándar, resultando:

Tabla N° 4.9: Flotación estándar con remolienda del mineral grueso obtenido.

Productos	% Peso	% Zn	Ag Oz /TM
Concentrado	8,6	19,43	9,3
Medios	15,5	8,80	12,9
Relave	75,9	3,90	14,4
Cabeza	100	5,99	15,93

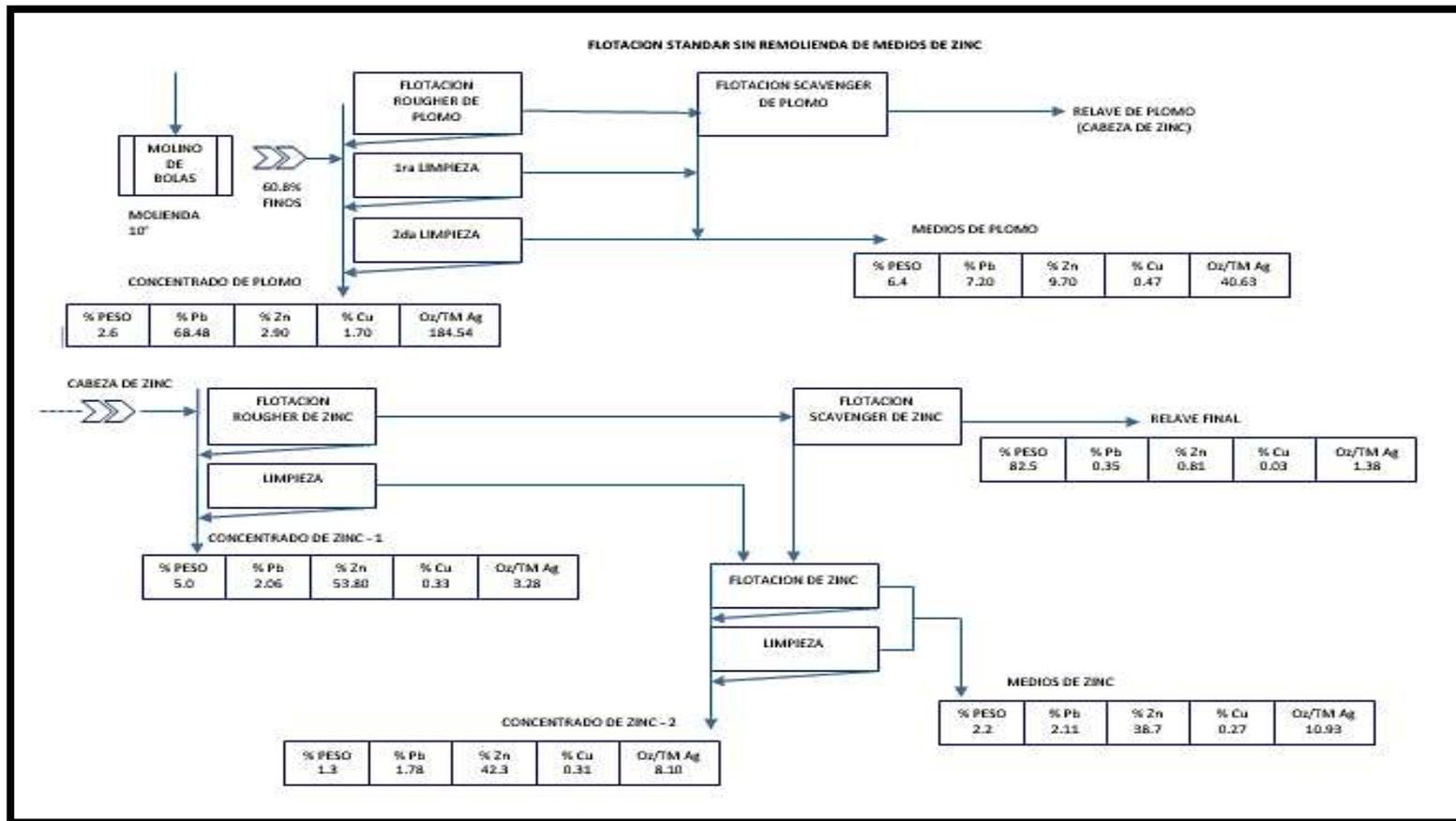
Fuente: Elaboración propia

Prueba metalúrgica “B”. Tomando muestras de mineral común de las tolvas de finos.

Las pruebas se realizarán siguiendo el procedimiento para pruebas de laboratorio, desde el muestreo hasta la flotación.

- **Flotación estándar sin remolienda de los medios de zinc.** Se realizó con un tiempo de molienda de 10 minutos (60.8 % de finos) en el molino de bolas y sin remolienda de los medios obtenidos. (Ver figura N° 4.3).

Figura N° 4.3: Diagrama de flujo de la flotación estándar sin remolienda de medios de zinc



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.10: Flotación estándar sin remolienda de los medios de zinc

Productos	% Peso	Leyes				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	%Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc Pb	2,60	68,48	2,90	1,70	184,54	65,70	1,40	30,80	53,30
Medios Pb	6,40	7,20	9,70	0,47	40,63	17,00	11,40	23,10	28,90
Conc Zn – 1	5,00	2,06	53,80	0,33	3,28	3,70	49,20	15,40	2,20
Conc Zn - 2	1,30	1,78	42,30	0,31	8,10	0,70	10,10	0,0	1,10
Medios Zn	2,20	2,11	38,70	0,27	10,93	1,90	15,70	7,70	2,20
Relave	82,50	0,35	0,81	0,03	1,38	11,00	12,20	23,00	12,30
Cab Calc	100	2,71	5,47	0,13	9,0	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de recuperación para el Zinc es:

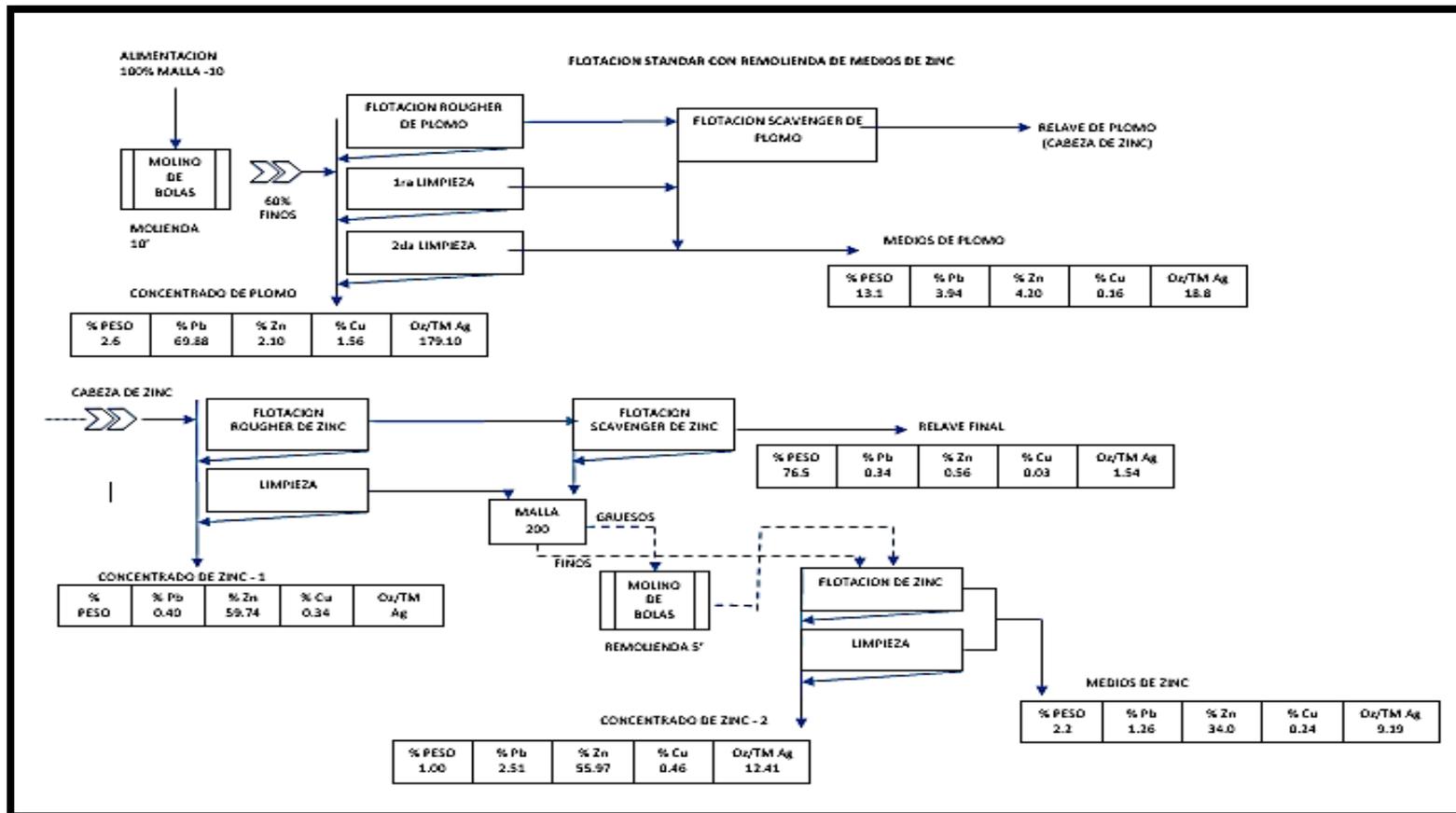
Concentrado zinc: 1 = 49,20

Concentrado zinc: 2 = 10,10

Total = 59,30

Flotación estándar con remolienda de los medios de zinc. Se realizó con un tiempo de molienda de 10 minutos (60.8% de finos) y con un tiempo de remolienda de 5 minutos, en el molino de bolas, para los medios gruesos de zinc obtenidos por separación en húmedo con malla 200. (Ver figura N° 4.4)

Figura N° 4.4: Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.11: Flotación estándar con remolienda de los medios de zinc.

Productos	% Peso	Leyes				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Oz Ag/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc Pb	2.60	69.88	2.10	1.56	179.10	67.70	1.16	33.30	53.10
Medios Pb	13.10	3.94	4.20	0.16	18.80	19.50	10.70	16.70	28.00
Conc Zn – 1	4.60	0.40	59.74	0.34	3.73	0.80	53.50	16.70	1.90
Conc Zn - 2	1.00	2.51	55.97	0.46	12.41	1.10	11.67	8.30	1.40
Medios Zn	2.20	1.26	34.00	0.24	9.19	1.10	14.60	8.30	2.30
Relave	76.50	0.34	0.56	0.03	1.54	9.80	8.37	16.20	13.30
Cab Calc	100	2.66	5.14	0.12	8.80	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de recuperación para el zinc es:

Concentrado zinc: 1 = 53,50

Concentrado zinc: 2 = 11,67

Total = 65,17

4.3. PRUEBA 3: FLOTACIÓN PRIMARIA DE PLOMO.

El objeto de la clasificación, es la de entregar al proceso de flotación el mineral granulométricamente preparada, de tal manera que el producto recibido de la descarga de un molino secundario es clasificado, donde el producto grueso recircula al molino mientras que el fino es enviado a un acondicionador para luego pasar al circuito de flotación. La clasificación se realiza en un clasificador de rastrillo “DORRDUPLIX” de 8’x26’, consiste en un tanque rectangular de fondo inclinado, dentro del cual existe el mecanismo de rastrillo. A continuación se da los análisis granulométricos de las fracciones finas y gruesas del clasificador:

Tabla N° 4.12: Los análisis granulométricos de las fracciones finas y gruesas del clasificador

Fracción fina	Fracción gruesa
---------------	-----------------

Malla	% Peso	Malla	% Peso
+ 50	0,10	+ 50	2,30
+ 70	0,30	+ 70	9,90
+ 100	0,80	+ 100	16,00
+ 140	1,80	+ 140	20,50
+ 200	2,00	+ 200	16,30
+ 325	1,70	+ 325	21,70
+ 400	2,50	+ 400	4,0
-400	90,80	-400	9,3
	100		100

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estos resultados de clasificación, un porcentaje apreciable de material fino (35 %), de partículas menores a 200 mallas, son recirculadas en forma inútil al molino secundario, juntamente con las arenas gruesas debido a la alta densidad de la operación.

Este fenómeno trae como consecuencia que las partículas finas recirculadas sufran el efecto de sobremolienda, ocasionando la pérdida de valores en forma de lamas.

A la salida del molino primario, existe un porcentaje de finos de aproximadamente entre 30 y 34 % con leyes altas en plomo y plata (antes del ingreso al clasificador). A continuación se da el análisis granulométrico y químico de esta fracción.

Tabla N° 4.13: El análisis granulométrico y químico de esta fracción

Análisis granulométrico		L e y e s				
Malla	% Peso	% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz /TM	Fe
+ 20	14,00	3,40	5,10	0,16	9,13	8,80
+ 35	12,00	3,90	5,70	0,15	10,00	11,40
+ 50	10,00	4,30	5,80	0,15	10,42	12,50
+ 70	10,10	4,80	6,00	0,16	11,00	13,50
+ 100	9,70	5,00	5,90	0,16	11,12	12,50

+ 140	7,80	5,30	5,90	0,18	12,12	12,00
+ 200	6,20	5,60	5,80	0,19	12,67	11,00
+ 325	7,20	6,00	5,80	0,21	14,53	9,70
- 325	2,00	5,00	4,10	0,17	13,12	6,20
Total	100	4,30	5,30	0,17	11,44	10,20

Fuente: Elaboración propia

La galena, es el mineral más común de plomo, es un mineral suave y de alto peso específico, la sobre molienda de la galena existente en los finos, forma lamas y en consecuencia pérdidas de plomo en el relave final (o su desplazamiento al circuito de zinc).

Para evitar las pérdidas de plomo, se realizarán pruebas de flotación con muestras tomadas a la salida del molino primario, con porcentaje de finos de 30,2 % (Tabla N° 4.13), de la planta concentradora; estas pruebas son llamadas “flotación primaria de plomo”, debido a que se obtiene concentrado de plomo con los finos existentes de la molienda primaria, luego el mineral que no flota sigue el proceso de clasificación, molienda y flotación.

En el laboratorio metalúrgico, se realizaron 2 tipos de pruebas, (con muestras tomadas a la salida del molino primario) una con flotación estándar y la otra con flotación primaria, para el Pb.

Prueba metalúrgica: Flotación estándar de plomo. Una vez seca la muestra tomada a la salida del molino primario (30.2 % en finos) se realizó:

- **Prueba de molienda:** Siguiendo el procedimiento de molienda, se obtuvo que con un tiempo de 7 minutos, resultó 60.8 % de material fino.
- **Flotación estándar:** Se realizó la flotación, obteniéndose los siguientes resultados metalúrgicos.

Tabla N° 4.14: Flotación estándar de plomo.

Productos	% Peso	Leyes				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc Pb	3,40	64,87	3,30	1,83	158,52	50,60	2,10	38,9	49,50
Medios Pb	14,20	12,93	9,70	0,40	30,15	42,20	25,90	35,5	39,30
Relave	82,40	0,38	4,60	0,05	1,48	7,20	72,00	25,6	11,20
Cab Calc	100	4,36	5,30	0,16	10,89	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Prueba metalúrgica: con flotación primaria de plomo. Una vez seca la muestra, se pesó 1.050 kg y se realizó:

- **Flotación estándar.** A la muestra que contiene 30,2% en finos, se le realizó directamente la flotación, siguiendo el método, obteniéndose concentrado de plomo.
- **Separación del mineral fino del grueso.** La pulpa de mineral que se encuentra en la celda de flotación, se separó en húmedo con malla 200, el mineral grueso del fino.
- **Prueba de molienda.** Siguiendo el procedimiento de molienda, solamente para la muestra gruesa (malla +200), se determinó un tiempo de 5 minutos para obtener 60,1 % en finos, se realizó: la

flotación estándar, separación finos de gruesas y la molienda en ese orden, 3 veces consecutivas, para determinar el tiempo de molienda.

- **Flotación estándar.** En la celda de flotación se juntan la muestra fina (que se le ha reducido el volumen de agua por evaporación) y la muestra recientemente molienda, continuando el método de flotación.

Con la prueba metalúrgica se ha obtenido los siguientes resultados.

Tabla N° 4.15: Prueba metalúrgica: Con flotación primaria de plomo.

Productos	% Peso	Leyes				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Conc Zn – 1	1,60	67,20	2,24	2,40	181,10	24,00	0,73	27,40	26,90
Conc Znc - 2	3,20	63,30	3,22	0,80	109,70	44,10	1,96	18,30	32,60
Medios Pb	7,00	18,90	9,00	0,58	49,40	29,00	11,95	29,10	32,20
Relave	88,20	18,90	5,10	0,04	1,00	3,00	85,36	25,20	8,30
Cab Calc	100	4,57	5,27	0,14	10,80	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.16: Las recuperaciones del Pb y Ag, son mayores en la prueba con flotación primaria.

Recuperación prueba	Pb , Ag	Recuperación prueba	Pb , Ag
Concentrado de plomo	50,60 49,50	Concentrado de plomo -1	24,00 26,70
	-----	Concentrado de plomo - 2	44,10 32,60
Total	50,60 49,50	Total	68,10 59,30

Fuente: Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Al analizar las tablas N° 4.1, 4.2 y 4.3 se puede observar que para obtener un mayor porcentaje de recuperación en los 3 minerales (Pb, Zn, Cu-Ag) el grado óptimo de molienda es diferente.

La Tabla N° 4.1 corresponde a una alimentación de 49,3% de finos y es a este grado de molienda que se obtiene una mayor recuperación de plomo.

La tabla N° 4.3 corresponde a una alimentación de 66,6 % de finos donde el mineral con mayor grado de recuperación es el Zinc.

Estos resultados se deben a que los minerales poseen distintas características mineralógicas que hacen que su grado de liberación no sea uniforme, lo cual a su vez afecta al proceso de flotación debido a las características hidrofóbicas e hidrofílicas de la ganga y el mineral respectivamente; por otra parte la molienda excesiva del mineral de plomo en busca de la liberación del zinc puede generar la formación de láminas de plomo que no podrán ser flotadas y por ende se perderán en los relaves, esto explica por qué la recuperación de plomo disminuye de la tabla N° 4.1 a la tabla N° 4.3.

2. En las Tablas N° 4.5 y 4.6, podemos ver los resultados del análisis granulométrico de los medios de zinc.

La tabla N° 4.5 muestra los análisis realizados a las espumas scavenger, donde se puede observar que entre las mallas 50 y 140 se tienen un porcentaje de 20,3 % de mineral grueso, con una ley promedio de zinc de 5,98 %; de la misma manera la tabla N° 4.6, presenta los análisis realizados al relave de las limpiezas del concentrado del circuito de zinc donde observamos que entre las mallas 50 y 140 se tiene un porcentaje de 34 % de material grueso, con una ley promedio de zinc 3,73 %.

Estos resultados eran los esperados ya que como conocemos las espumas son más ligeras que los relaves de mayor ley.

- a. Las tablas N° 4.8 y 4.9 muestran las concentraciones obtenidas en la flotación sin y con remolienda de zinc respectivamente.

La Tabla N° 4.8: Con una ley de cabeza 5,99 % de zinc y 15,93 Oz/TM de Ag, se obtuvo un concentrado de 19,43 % de zinc y 9,3 Oz/TM de Ag, mientras que en la Tabla N° 4.9 partiendo de la misma ley de cabeza se obtuvo un concentrado de 7,10 % de Zinc y 3,27 Oz/TM de Ag; esto se debe a que con la remolienda del mineral grueso de la muestra tomada, se obtiene la liberación de partículas de escalerita, que en la flotación se recuperan, dando mayor ley a los concentrados y menores valores en el relave

- b. Las tablas N° 5,10 y 5,11, muestran las concentraciones obtenidas en la flotación sin y con remolienda de zinc respectivamente.

En estas pruebas el mineral de cabeza corresponde al mineral común de las tolvas de finos, y al igual que en las tablas 5.8 y 5.9 podemos ver que como existe liberación de zinc, por remolienda del mineral grueso se obtiene mayor recuperación del elemento, con una diferencia de 5,87% con respecto a la prueba estándar sin remolienda de los medios.

- c. La Tabla N° 5,12 corresponde a los resultados de los análisis granulométricos de las fracciones finas y gruesas del clasificador, de acuerdo a estos resultados de clasificación, un porcentaje

apreciable de material fino (35 %), de partículas menores a 200 mallas, son recirculadas en forma inútil al molino secundario, juntamente con las arenas gruesas debido a la alta densidad de la operación. Este fenómeno trae como consecuencia que las partículas finas recirculadas sufran el efecto de sobre-molienda, ocasionando la pérdida de valores en forma de lamas.

Las tablas N° 4.14 y 4.15 muestran los resultados de la flotación del mineral proveniente del molino primario, flotación estándar (simulando el proceso en planta) y flotación primaria de plomo respectivamente. Haciendo el comparativo entre estas tablas podemos ver que al realizar la flotación primaria de plomo, se obtienen mejores resultados en la concentración de este mineral, lográndose obtener una recuperación de 68,1% de plomo, debido a que la flotación primaria de plomo evita la sobremolienda del mineral y por ende la formación de lamas que se pierden en los relaves.

4.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS

PRODUCTOS OBTENIDOS POR FLOTACIÓN EN LA PLANTA CONCENTRADORA.

Los productos obtenidos por la planta concentradora, utilizando los 2 tipos de mineral en que han sido clasificadas las menas de La Empresa

Administradora Cerro S.A.C., se dan a continuación con sus respectivos balances metalúrgicos.

Tabla N° 4.17: Productos obtenidos con alimentación de mineral común

Productos	TMS	L e y e s				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Alimentación	580,0	3,354	4,035	0,136	8,497	100	100	100	100
Conc Pb	25,47	63,740	4,886	2,383	156,00	83,45	5,32	76,95	80,62
Conc Zn	37,96	4,235	49,033	0,469	11,483	8,26	79,53	22,57	8,84
Relave	516,77	0,312	0,686	0,030	1,101	8,29	15,15	0,48	11,54

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”.

Tabla N°4.18: Productos obtenidos con alimentación de mineral triple

Productos	TMS	L e y e s				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Alimentación	360,00	2,63	2,39	0,68	7,91	100	100	100	100
Conc Cu	14,20	7,00	5,50	10,87	108,45	10,50	9,08	63,06	54,08
Conc Pb	11,51	50,0	4,80	3,22	59,54	60,80	6,42	15,14	24,10
Conc Zn	11,76	5,61	46,16	1,80	24,78	6,97	63,10	8,65	10,23
Relave	322,53	0,63	0,57	0,10	1,02	21,73	21,40	13,15	11,59

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de Cerro S.A.C.”.

El tratamiento metalúrgico de una mezcla de estos dos tipos de mineral, en una relación aproximada de 1: 1.

Tabla N° 4.19: Mineral común mineral triple

Productos	TMS	L e y e s				Porcentaje de recuperación			
		% Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Alimentación triple	519,00	1,066	2,934	0,573	6,525				
Alimentación común	469,00	2,008	4,033	0,300	7,934				
Alimentación general	988,00	1,513	3,456	0,463	7,194	100	100	100	100
Conc Cu	13,93	11,330	9,635	21,597	230,61	10,56	3,93	65,83	45,19
Conc Pb	16,73	61,327	4,191	1,322	136,20	68,63	2,05	4,84	32,06
Conc Zn	43,50	1,557	50,479	0,980	16,48	4,53	64,30	9,33	10,09
Relave	913,84	0,266	1,100	0,100	0,907	16,28	29,72	20,00	11,66

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”.

Podemos observar que con mineral común, se tiene las mejores recuperaciones en los 3 elemento económicos que concentra la empresa Administradora Cerro S.A.C.

Tabla N° 4.20: Tabulando: Tipo de mineral vs recuperación en los concentrados

Mineral	Porcentaje de recuperación en los concentrados			
	Pb	Zn	Cu	Ag
Común	83,45	79,53	-	88,46
Triple	60,80	63,10	63,06	88,41
Común/triple	68,63	64,30	65,83	88,34

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”.

4.6. PROBLEMAS MINERALÓGICOS EN RELACIÓN A LA METALURGIA

A continuación se presentan algunos problemas mineralógicos típicos, mostrando la interrelación de la mineralogía en la metalurgia de los minerales, donde VOLCAN S.A.A. ha definido los siguientes:

Presencia de calcantita o chalcantita ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)

La calcantita ó chalcantita, es un mineral de origen secundario, producido por la oxidación de minerales primarios de Cobre, la chalcantita, es un sulfato de cobre penta-hidratado, soluble en agua y es usado como reactivo activador de menas de sulfuros de zinc en la metalurgia de flotación. En la Empresa Administradora Cerro S.A.C., existen algunas vetas que contienen alto porcentaje de esta sal, encontrándose entre 0,02 a 0,05%, que viene a

representar entre 200 a 500 gramos de sulfato de cobre por tonelada de mineral, y que es el rango de dosificación de reactivo necesario, para la activación del zinc en un proceso de flotación.

Cuando se mezclan minerales con alto porcentaje de chalcantita con minerales dóciles, existe en los productos obtenidos desplazamientos de zinc hacia los concentrados de plomo y cobre resultando productos contaminados de bajas leyes y recuperaciones, a continuación damos un balance metalúrgico con este problema:

Tabla N° 4.21: Balance metalúrgico con presencia de chalcantita

Productos	Peso TM	Leyes				Porcentaje de recuperación			
		Pb	% Zn	% Cu	Ag Oz/TM	Pb	Zn	Cu	Ag
Alimentación	962	1,92	3,99	0,44	7,84	100	100	100	100
Conc Cu	11	4,17	15,34	18,72	218,91	2,48	4,40	48,65	31,93
Conc Pb	26	56,51	5,87	3,45	109,68	79,55	4,00	21,19	37,81
Conc Zn	61	2,04	47,99	0,96	13,90	6,74	76,30	13,83	11,24
Relave	864	0,24	0,68	0,08	1,66	11,23	15,30	16,33	19,02

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de Minerales “Volcán Compañía Minera S.A.A.”.

Actualmente las labores de explotación de mineral con alto porcentaje en chalcantita han sido paralizadas.

Presencia de minerales ácidos:

Se ha determinado que a mayor o menor cantidad de carbonatos en las muestras, influye en el grado de acidez de los minerales de la Empresa

Administradora S.A.C., existen algunas labores mineras de explotación en la que sus minerales son muy ácidos, teniendo un pH natural entre 3,0 y 3,5. Generalmente la mayoría de los minerales de la Empresa administradora Cerro S.A.C., poseen un pH natural entre 5,0 y 6,0.

La dosificación estándar de cal (regulador de pH) en el tratamiento metalúrgico de estos minerales, resultan muchas veces insuficiente, ocurriendo pérdidas en forma intermitente ya sea por rebases o asentamientos de minerales en los circuitos de flotación, debido a la inestabilidad del pH en el tratamiento con estos minerales.

Las labores mineras de explotación de minerales ácidos han sido detectadas y se almacenan en una tolva de alimentación única para su tratamiento en la planta concentradora. Al molino primario a un flujo constante de masa, se va suministrando junto con minerales normales de tal manera que no afecte el pH en forma brusca al proceso de flotación.

Presencia de minerales duros y blandos en la molienda.

La clasificación de los minerales de Empresa Administradora Cerro S.A.C., en triple y común (duras y blandas respectivamente), se ha realizado basándose en sus composiciones y características mineralógicas. Los análisis de mallas para estos 2 tipos de mineral, en pruebas que se

realizaron de molienda, con las mismas condiciones, dan resultados distintos.

Al realizar los análisis granulométricos correspondientes a cada mineral, se observa que los grados de molienda alcanzados en cada malla son diferentes. A continuación se dan los resultados de las pruebas de granulometría:

Condiciones de la molienda:

- Molino: Molino de bolas tipo DENVER, de 10.5L de capacidad.
- Mineral: 1.0 kg ya sea de mineral común, triple ó una mezcla 1:1 de los 2 anteriores.
- Agua: 500 mL
- Tiempo de molienda: 12 minutos

Tabla N° 4.22: Los resultados de las pruebas de granulometría de minerales duros y blandos en la molienda.

Malla	Porcentaje en pesos		
	% Triple	% Común	%1:1 Triple-común
+ 57	0,14	0,40	6,00
+ 70	1,58	2,10	8,10
+ 100	5,25	5,50	12,10
+ 140	12,52	10,00	9,20
+ 200	14,40	8,00	7,20
+ 325	19,80	13,00	11,40
- 325	46,31	61,00	46,00
	100	100	100

Fuente: Laboratorio de procesamiento de minerales de la Planta Concentradora de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”.

Por lo que se puede decir, según los resultados granulométricos, que cada tipo de mineral tiene diferente grado de molienda. Al realizar un proceso de molienda, con una mezcla de éstos 2 minerales (común y triple) ocasiona: demasiada formación de lamas para el mineral blando y un alto porcentaje de gruesas para el mineral duro, donde su análisis granulométrico, según la prueba, oscila entre dos extremos, alto porcentaje de mineral grueso así como alto porcentaje de mineral fino.

Los resultados observados en la molienda de esto dos tipos de minerales, condujeron a un mejor ajuste y clasificación del mineral de mena; y en su tratamiento metalúrgico se llegó a la conclusión de no mezclarlos en la molienda y así poder alcanzar los grados óptimos de granulometría para la flotación, como mejorar las recuperaciones en los elementos valiosos.

NOTA: se considera porcentaje de grueso al mineral entre las mallas + 50 y + 60 mientras que el porcentaje de finos se considera entre las mallas + 323 y – 323.

Presencia de intercrecimientos finos de minerales.

Los problemas por intercrecimiento se presentan cuando los minerales se encuentran íntimamente asociados, es decir muy finos (o a nivel submicroscópico) en la matriz de un mineral y aún con una molienda muy fina, será difícil liberarlos, no lográndose una buena separación de los elementos ocurriendo además contaminaciones y bajas recuperaciones en

los concentrados obtenidos, así como altos valores de elementos valiosos en el relave.

A. Escalerita.- Los principales intercrecimientos finos de la escalerita ($ZnFeS$) es con la calcopirita ($CuFeS_2$), pirita (FeS_2) y otros minerales de ganga por lo tanto, la flotación de las partículas de escalerita finamente intercrecidos con los dos primeros minerales, contaminarán el concentrado de zinc con cobre y hierro.

B. Galena (PbS).- Los intercrecimientos más comunes de la galena son con la escalerita, cobre gris (tetraedrita), pirita y gangas. En las fracciones $- 270$ y $+ 400$, se observa la galena adosada como diminutas partículas en los bordes de estos minerales, al estar intercrecidas con partículas mayores de escalerita y tetraedrita flotan con estos y forman parte de las impurezas de plomo en los concentrados de zinc y cobre, además aquellas adosadas a pirita y ganga se pierden en los relaves. El contenido de plata en los concentrados de plomo, parte se debe a partículas finas de tetraedrita argentífera adosadas con partículas de galena.

C. Enargita y tetraedrita.- La enargita (Cu_3AsS_4), se presenta mayormente en partículas libres a partir de la malla $+ 100$; la tetraedrita ó cobre gris $-(Cu, Fe, Ag)_{12}(As, Sb)_4S_{13}$, además de partículas libres, se presenta como partículas mixtas intercrecidas con Escalerita,

Galena y Sulfosales de Plomo, difícil de liberar. Estos minerales de intercrecimientos al parecer son responsables de los otros elementos penalizados (es decir aparte del arsénico y el antimonio) presentes en los concentrados de cobre.

Presencia de inclusiones de minerales

Se habla de inclusiones o de entrapamiento de minerales, cuando un mineral no valioso se encuentra dentro de algunos granos o partículas de mineral valioso, presentándose también en forma inversa, es decir mineral valioso incluido en mineral no valioso.

A continuación se mencionan las inclusiones más frecuentes en los 3 principales minerales que concentra la empresa Administradora Cerro S.A.C.

- Inclusiones dentro de la escalerita ($Zn\ Fe\ S$). las inclusiones más frecuentes son: calcopirita (Cu, Fe, S_2), galena (Pb, S) estanoidita (CuS_5 (Fe, Zn) $_2\ SnS_8$), casiterita (SnO_2) y pirita (FeS_2).
- Inclusiones dentro de la galena (PbS). Las inclusiones más frecuentes son: sulfosales de plata como, la pirargirita ($Ag_3Sb\ S_3$), prousia (Ag_3AsS_3); observadas en algunas partículas mayores de galena y la **reisbenita** ($Pb\ Ag\ Sb\ S_3$), además inclusiones de: galeobismutita ($Pb\ Bi_2\ S_4$), bismutita ($Bi_2\ S_3$), emplectita ($Cu\ Bi\ S_2$), pavonita ($Ag_2\ Cu\ (Bi, Sb, Pb)_9\ S_{16}$), geocronita ($Pb_5 - (Sb, As), S_8$), boulangerita ($Pb_5\ Sb_4$

S₁₁), andorita (Pb, Ab, Sb₃ S₆), novelita (Pb₅(Bi, Sb)S₁₇) y arsenopirita (Fe As S).

- Inclusiones dentro de minerales de cobre. las inclusiones más frecuentes en los minerales de cobre son:
 - Chalcopirita (CuFeS₂): se presentan inclusiones muy finas de MISPIKEL (FeAsS), bornita (Cu, Pb, Sb S₃), estanita (Cu₂FeSnS₄) y blenda (ZnS).
 - Luzonita (Cu₃ As S₄): presenta inclusiones de enargita (Cu₃AsS₄) y calcopirita (Cu Fe S₂).
 - Tetraedrita o cobre gris (Cu₁₂ (As, Sb)₄ S₁₃): presenta inclusiones de coludita (Cu₃ (Sn, V, As, Fe)S₄), bornita (Cu, Pb, Sb S₃) y sulfosales de plomo y bismuto.
- Inclusiones dentro de la pirita (Fe S₂). Es una de las inclusiones que ocurre más frecuentemente, es un problema intrínseco por lo que se pierden minerales valiosos en el relave (como plata y plomo), tenemos mayormente entrapamiento de fleislenita (AgPbSbS₃), cobre gris, hesita (Ag₂ Te), andorita (Pb, Ag, Sb₃ S₆) y algunas veces galena (Pb S) y blenda (Fe S).

CONCLUSIONES

1. Se ha determinado el mineral común (Minerales de zinc en blenda negra o marmatita con galena, pirita con galena, pirita y cuarzo), es el más adecuado para explotarlo y tratarlo, debido a su docilidad metalúrgica, dar buenos concentrados, altas leyes de cabeza en Pb, Zn y Ag y menor ley de cabeza en Cobre, por otro lado no tiene sulfato de cobre (chalcantita) que es el mineral causante de las mayores distorsiones al tratamiento; pero tiene la desventaja de constituir las menores reservas, por lo que el trabajo de ubicación será arduo.

2. A través de los ensayos metalúrgicos realizados se determinó que:
 - El porcentaje óptimo de molienda en la planta concentradora, es de 60,2 %.
 - Debido a las diferentes características de los 3 elementos (Pb, Zn, Cu-Ag) los grados óptimos de molienda son diferentes.
 - Se determinó en la concentración de plomo con un grado de molienda de 49,3 % en finos (con un tiempo de 7 minutos) su mejor recuperación de (85,2 %) habiendo un crecimiento en la tasa de recuperación de (1,75 %).
 - Se determinó en la concentración de zinc con un grado de molienda de 66,6 % en finos (con un tiempo de 13 minutos) su mejor recuperación de (82,4%) habiendo un crecimiento en la tasa de recuperación de (2,87%).

- Se determinó en la concentración de Cu-Ag con un grado de molienda de (60,2%) en finos (con un tiempo de 10 minutos), su mejor recuperaciones es de (88,6 %) habiendo un crecimiento en la tasa de recuperación de (0,14 %).
 - Con la remolienda del mineral grueso de los medios de zinc, se obtiene mayor recuperación (65,17 %), con una diferencia de 5,87 % con respecto a la prueba estándar sin remolienda de los medios, se obtiene una recuperación (59,3 %).
3. Los ensayos metalúrgicos realizados demuestran que el proceso propuesto (uso del mineral común, remolienda de los medios gruesos de Zinc y flotación primaria de plomo) comparado con el proceso estándar de la Empresa administradora Cerro S.A.C., logra incrementar la tasa de recuperación de Plomo (1,75 %), Zinc (2,87 %) y de Ag (0,14 %).

RECOMENDACIONES

1. Cada uno de los flujos minerales, presenta diferentes recuperaciones para los elementos valiosos y por lo tanto diferentes rendimientos económicos, siendo el mejor el del flujo 1, de mineral común, elegido para el programa de reactivación de la Empresa Administradora Cerro S.A.C., los otros dos flujos minerales dos y tres de mineral triple difícil y de mineral triple – dócil, respectivamente deberá pasar una etapa de investigación intensa.
2. El estudio de molienda en el mineral común, indica que la galena es más blanda y la escalerita más dura y, para recuperarse bien ambos elementos necesitan tiempos de moliendas diferentes.
3. Realizar un estudio sobre los minerales de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. que poseen arsénico, antimonio y bismuto, para que puedan ser explotados y concentrados en un futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. ACEVEDO L (1999); Mineralogía de minerales de Plomo Volcán S.A.A.
2. AMERICAN CYANAMID: (1986); Manual de Productos Químicos para la Minería, Edit. America Cyanamid Company
3. BRAÑES, HENRY (2005); Flotación Experimental de Minerales Polimetálicos en las Minas de Volcán S.A.A.
4. BRIAN JOSEPH J (2002); Operación Unitarias, Edit. MC Graw Hill
5. CANEPA, CÉSAR (2000); Estudios Microscópicos – contra muestras de Pruebas Metalúrgicas Volcán S.A.A. – Junio 16.
6. LUIS DE MONTREIUL (2000); Informe de Investigación Mineralógica de la Mina de Volcán S.A.A. – 14 de Octubre.
7. THE DOW CHEMICAL COMPANY "METALLURGICAL HANDBOOK" (1981), form N° 192 -820 - 1181 - Michigan, EE.UU.
8. TAGGART, A.F. (2000); Manual De Minería.
9. SKOOD.DW.WEST (2001); Análisis Químico Instrumental. Edit. Interamericano – México.
10. VOGEL ARTUR (2000); Química Analítica cuantitativa. Edit. Kopeluz. Volumen 1 – Cuarta Edición.
11. ZIMNERMAN V. (2008); Manual de Minería Lima – Perú. Edit Klaus Zimmermann.

FOTOGRAFÍAS TOMADAS EN LA ESTADÍA EN LA EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO S.A.C.”



Fotografía 1.1. “Vista panorámica de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”



Fotografía 1.2. “Vista panorámica de las Máquinas Pesadas de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”



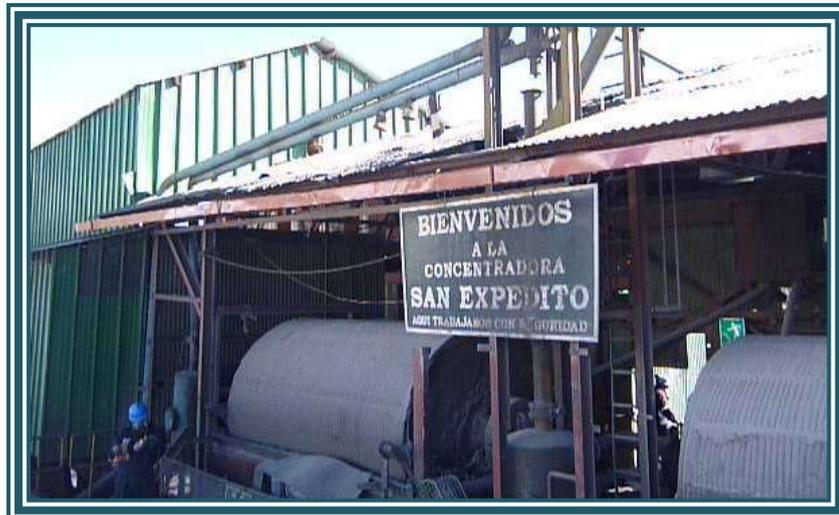
Fotografía 1.3. Conos de Mineral Provenientes de Mina al Culminar el Chancado - Paragsha



Fotografía 1.4. Vista de la Sección de Molienda – Paragsha



Fotografía 1.5. “Vista Panorámica de la Sección Remolienda “- Paragsha



Fotografía 1.6. Ingreso a la Planta Concentradora “San Expedito”



Fotografía 1.6 "Vista de las tovas de la Planta "San expedito".



Fotografía 1.7. Sección de Molienda y Remolienda - "San expedito".



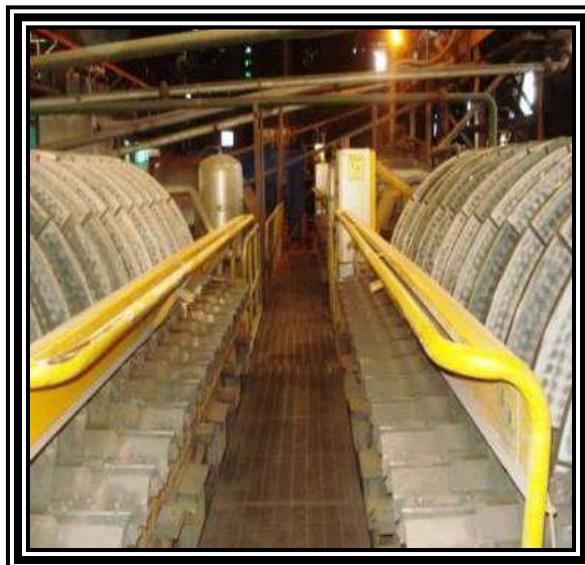
Fotografía 1.8. "Toma de Muestra para Realizar Análisis Granulométrico"



Fotografía 1.9. Vista de la Sección de Flotación de plomo



Fotografía 1.10. Vista de la Zona de depósitos de concentrado final



Fotografía 1.11. Sección de filtrado, actualmente ya se cuenta con un filtro Automatizado



Fotografía 1.12. Vista majestuosa de noche de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.”