

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

Evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para el
mejoramiento del concentrado de plomo y zinc en la sociedad
minera el Brocal s.a.a. – Pasco - 2018

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Juan Víctor Kenji DE LA SOTA HUERE

Asesor: Dr. Hildebrando Aníval CONDOR GARCIA

Cerro de Pasco – Perú – 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

Evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para el
mejoramiento del concentrado de plomo y zinc en la sociedad
minera el Brocal s.a.a. – Pasco - 2018

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. José Eli CASTILLO MONTALVÁN

PRESIDENTE

Mg. Cayo PALACIOS ESPÍRITU

JURADO

Ing. Jonás Ananías RAMOS MARTÍNEZ

JURADO

DEDICATORIA

A Dios que nos da la fuerza para superar los obstáculos que se presentan en la vida y así poder seguir adelante.

A mi madre, a mi padre y familia con todo cariño a ellos, por su apoyo incondicional y confianza en mi formación profesional.

Mi agradecimiento y gratitud a, **SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.** Así como también a los Ingenieros: y compañeros de trabajo que han contribuido de una u otra forma a la realización de este informe de investigación, llamado tesis.

Me gustaría en particular dar las gracias al alma mater, por mi formación profesional, y a los catedráticos de quienes asimile los conocimientos básicos de esta noble carrera que es la ingeniería metalúrgica.

RECONOCIMIENTO

- ✓ A la empresa minera el BROCAL S.A.A por contribuir con los datos prácticos
- ✓ Al superintendente de procesos metalúrgicos Michael Rivera Mayta por las enseñanzas enmendadas en mi carrera
- ✓ A los ingenieros de Geometalurgia y procesos metalúrgicos Fernando Jiménez, Marco cruz
- ✓ A la primera casa superior de estudios Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
- ✓ A mi hijo Sebastián quien es el motor para continuar con mis proyectos de carrera
- ✓ A mi Esposa me impulsa a seguir con mis proyectos de vida
- ✓ A mis familiares y padres por estar siempre a mi lado

RESUMEN

Los minerales sulfurados polimetálicos son muy abundantes en la naturaleza y en especial en nuestro país, de allí la gran importancia que tiene estudiar su comportamiento frente a la flotación diferencial, existen minerales muy dóciles a la flotación y también otros minerales complejos que presentan una flotación muy complicada por una serie de factores, los más difíciles son aquellos que presentan activación natural de la esfalerita y sulfuros de hierro debido a las sales solubles que puede tener el mineral como consecuencia de la presencia de iones metálicos de diferentes metales, principalmente cobre.

El mineral de cobre, plomo y zinc que se ha estudiado no presenta dificultad durante la flotación selectiva, la calidad y la eficiencia de separación de los concentrados pueden ser mejorados con mayor tiempo de flotación y más etapas de limpieza. Se define los conceptos teóricos de la flotación selectiva, se realizó el estudio mineralógico y químico de la muestra, las pruebas de flotación bulk y la separación, reportan buenos resultados, para mencionar solo el contenido de oro en el concentrado de cobre plomo.

- 35 a 40 muestras por día hasta llegar a 150 muestras debe ser revisado a procesar en Laboratorio de El Brocal para acelerar entrega de ensayos
- Se coordinará con Procesos trabajos de perforación y muestreo en paralelo para las pruebas metalúrgicas.
- La empresa de perforación diamantina a seleccionar trabajará con diámetros mayores a 6 cm para tener muestras adecuadas de geoquímica y metalurgia.

Mineral de cobre

Las muestras recibidas del departamento de geología fueron identificadas para llevar a cabo la investigación.

- En el método de minado actual se hacen tajos que tienen en promedio 50 m de largo, 20 m de altura y 8 m de ancho medio, el cual no está siendo muestreado adecuadamente, generando distorsiones en las leyes reportadas, con lo cual se realiza el blending.
- El modelo de recursos del mineral, se debe actualizar cada año pero no se revisa hace 3 años, lo cual distorsiona las leyes al momento de realizar el planeamiento.
- El método de minado utilizado actualmente, para que trabaje adecuadamente, te obliga a tener perforado (stock) por lo menos un mes, lo cual no se tiene, actualmente lo que sale de la bocamina se alimenta a la planta de procesos

Mineral de Pb-Zn

- En el mes de enero se trabajó con material de stock debido al cambio de operador minero (el nuevo operador no contaba con todo su equipo de minado).
- La ley de los stocks es muy variable porque se trajo de diferentes frentes.
- La variación en las leyes de Pb es mayor debido a que el blending se realiza en función del Zn.

Palabras claves: Minería; plomo zinc

SUMMARY

Polymetallic sulphide minerals are very abundant in nature and especially in our country, hence the great importance of studying their behavior against differential flotation, there are minerals very docile to flotation and also other complex minerals that have a very high flotation. Complicated by a series of factors, the most difficult are those that show natural activation of sphalerite and iron sulphides due to the soluble salts that the mineral can have as a consequence of the presence of metal ions of different metals, mainly copper.

The copper, lead and zinc mineral studied has no difficulty during selective flotation, the quality and separation efficiency of the concentrates can be improved with longer flotation time and more cleaning steps. The theoretical concepts of the selective flotation are defined, the mineralogical and chemical study of the sample was carried out, the bulk flotation tests and the separation, report good results, to mention only the gold content in the copper lead concentrate.

Keywords: Mining; zinc lead

INTRODUCCIÓN

Los recursos minerales forman parte de los recursos naturales no renovables, y por ellos entendemos a todos aquellos materiales geológicos que tienen interés económico como materias primas. Los recursos minerales, en sentido amplio, se pueden clasificar en varios grupos en función de sus usos y de sus características. Así, se pueden subdividir en los siguientes grandes grupos: minerales metálicos o menas, minerales y rocas industriales y combustibles fósiles. Los recursos de minerales metálicos o menas, agrupan a las mineralizaciones que se explotan para la obtención de elementos metálicos, normalmente, mediante un proceso metalúrgico complejo. Los minerales y rocas industriales engloban a los materiales terrestres, de interés económico y que se utilizan tal cual por la industria, o bien requieren un tratamiento relativamente simple. Los combustibles fósiles constituyen la mayor parte de los recursos geológicos energéticos e incluyen al petróleo, gas natural y carbón. La clasificación de los recursos minerales dentro de los dos primeros grandes grupos, a veces, no es simple, ya que existen sustancias minerales que se utilizan como menas y minerales industriales. Por ejemplo los sulfuros polimetálicos se explotan para la obtención de concentrados de cobre, zinc y plomo, además de para la obtención de ácido sulfúrico. Otro ejemplo más claro aún es el de la magnetita, que es una mena de hierro, pero también se utiliza como mineral industrial para la obtención de medios densos. También el petróleo y el carbón tienen

usos industriales, además de energéticos. Por tanto en la descripción de los recursos minerales de la provincia de Huelva, dentro del grupo de recursos minerales metálicos se incluyen tanto a las menas como a los minerales industriales metálicos, en el grupo de minerales y rocas industriales se tratan los minerales industriales no metálicos y las rocas industriales, incluyendo las rocas ornamentales. La Sociedad Minera El Brocal, encierra una gran diversidad de recursos minerales y una gran tradición en su explotación, habiendo sido la industria minera uno de sus principales pilares económicos a lo largo de su historia. Aunque la mayor importancia de la actividad minera, ha estado y está centrada en la minería metálica, también dispone de recursos de minerales y rocas industriales.

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, el marco contextual y la definición de relaves, definición de términos básicos, planteamiento de la hipótesis general y específicos y las variables dependiente e independiente.

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 determinar realizando una serie de experimentos a nivel Bach y recogiendo muestras de la planta concentradora 2 para ir evaluando la recuperación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, en este capítulo se hizo la descripción de los resultados de la investigación metalúrgica.

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

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
RECONOCIMIENTO	4
RESUMEN	5
SUMMARY.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	15
1.1. Identificación y determinación del problema	15
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema principal.....	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. Formulación de objetivos.....	22
1.3.1. Objetivo general.....	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
1.4. Justificaciones de la investigación.....	23
1.5. Limitaciones de la investigación	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes de estudio	24
2.2. Marco contextual.....	26
2.2.1. Ubicación:	26
2.3. Bases teóricas científicas.....	28
2.3.1. Flotación	28

2.3.2.	Hidratación	29
2.3.3.	La doble capa eléctrica	30
2.3.4.	Adsorción de reactivos sobre las superficies minerales	33
2.3.5.	Tension superficial de solidos.....	37
2.3.6.	Formación de burbujas mineralizadas.	38
2.3.7.	Formas de partículas minerales-grupos de espuma.	39
2.3.8.	Reactivos de flotación.	40
2.3.9.	El mecanismo de acción de los reactivos de flotación y el efecto que se pretende depende de:	48
2.4.	Definición de términos básicos.	51
2.5.	Formulacion de hipotesis:.....	53
2.5.1.	Hipótesis general	53
2.5.2.	Hipótesis específicos	53
2.6.	Identificacion de variables.....	53
2.6.1.	Variable dependiente.....	53
2.6.2.	Variable independiente.....	54
2.6.3.	Variables intervinientes	54
CAPÍTULO III.....		55
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION		55
3.1.	Tipo de investigación	55
3.2.	Metodos de investigación.....	56
3.3.	Diseño de investigación	56
3.4.	Población y muestra.....	57
3.5.	Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos.....	58

3.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos.....	58
3.7. Tratamiento estadístico	64
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación 68	
CAPÍTULO IV	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
4.1. Descripción del trabajo de campo.	71
4.1.1. Ensaye de cabeza	72
4.1.2. Resultados	73
4.1.3. Resultado de las pruebas.....	73
4.2.1. Chancado de cobre	76
4.2.2. Flotación de cobre	79
4.2.3. Comentarios	81
4.2.4. Chancado – lavado.....	83
4.3.5. Flotación de Pb/Zn.....	85
4.2.5. Comentarios	89
4.3. Prueba de hipótesis	91
4.3.1. Ensaye de cabeza	93
4.3.2. Resultado de las pruebas	94
4.4. Discusión de resultados.....	97
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS	103

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La Sociedad Minera El Brocal obtuvo un financiamiento de US\$ 180 millones para culminar los trabajos de ampliación en su yacimiento minero Colquijirca, ubicada en el distrito de Tinyahuarco, Cerro de Pasco.

La ampliación de Colquijirca sufrió el año pasado un retraso debido al incremento en el costo de construcción y problemas de generación de caja por los bajos precios de los metales en el mercado internacional. Ello hizo que la inversión del proyecto pase de US\$ 382 millones a US\$ 432 millones.

Según se informó, la minera obtuvo dicha liquidez gracias a un contrato de arrendamiento financiero (leaseback) que suscribió con el Banco de Crédito del Perú (BCP), a través de Credicorp Capital, el brazo de banca de Inversión Regional del holding Credicorp.

"Esta operación [...] representa el leaseback de mayor monto ejecutado en el Perú", indicó el BCP en un comunicado. Eduardo Gómez de la Torre, Gerente de Finanzas Corporativas de Credicorp Capital, dijo que la obtención del referido financiamiento refleja una clara demostración de la confianza del BCP en la gestión y en el desarrollo de la ampliación de las operaciones de Sociedad Minera El Brocal.

Con la ampliación de la mina Colquijirca, que produce minerales polimetálicos, se espera que la planta alcance su capacidad máxima de producción a partir del segundo trimestre del 2014. Asimismo, dicha ampliación permitirá a la minera El Brocal triplicar la capacidad de producción: unas 18 mil toneladas métricas diarias de mineral. El Brocal es controlado por la mayor productora de metales preciosos del país, la Compañía de Minas Buenaventura produce zinc, plomo, plata y cobre. Esta producción agresiva en aumentar la producción hizo que el concentrado de plomo, cobre y zinc tengan que reducir su tiempo de secado mediante los tanques de espesamiento y filtros.

La clasificación de riesgo de las acciones de El Brocal toma en consideración el enfoque en la producción de concentrados de cobre e impacto positivo de los instrumentos de cobertura y derivados implícitos que significaron una mejora en términos de resultados.

Los retrasos en la puesta en marcha de la nueva planta de tratamiento, así como el mayor valor económico que representa los concentrados de cobre, plomo y zinc para la Compañía, impulsaron que esta decida cambiar su plan de producción, enfocando sus esfuerzos a mayores niveles de concentrados de cobre con contenido de plata.

Este hecho afectó positivamente los ingresos aunados a las ganancias por derivados de cobertura y derivados implícitos. Por otro lado la menor actividad en la Mina Tajo Norte (mina del circuito plomo-zinc) y el término de amortización de las antiguas canchas de relave en diciembre 2013, determinaron menores costos; lo que contribuyó en los mejores niveles de rentabilidad.

1.2. Formulación del problema

Los últimos años han sido difíciles para la Sociedad Minera El Brocal: la empresa ha lidiado con una serie de problemas operativos y financieros desde el 2013.

En primer lugar, varias dificultades técnicas atrasaron su proyecto de

expansión: en el 2012 es entendible esperar que culminara hacia mediados del 2013 y recién a inicios de ese año se concretó.

En segundo lugar, la caída de los precios de los metales también generó menores ventas para la empresa. La combinación de estos factores resultó en una menor producción y dos años continuos de pérdidas netas en cada trimestre.

Sin embargo, El Brocal parece estar cambiando la página. Los resultados del tercer trimestre, publicados a finales de octubre, muestran una fuerte mejora operativa. Si bien la empresa aún se mantiene en pérdida, ésta se redujo con respecto al tercer trimestre del 2015. Además, las ventas crecieron 62 % interanual, gracias a un mayor volumen de venta de zinc y cobre (que subieron 17 % y 53 % interanual, respectivamente). Los mayores precios del zinc, y los menores gastos operativos (una reducción de 54 % interanual hasta los US\$ 3,5 millones) también permitieron esta mejora.

¿Qué desafíos tuvo al ingresar a El Brocal en el 2014?

Lo primero que hicieron fue evaluar el proyecto de ampliación, que había estado en curso por cuatro años. Había varias cosas que no funcionaban. Una de ellas era el diseño de la planta, que había sido hecha para un tipo de material que no existía. Cambiaron también la estructura organizacional de la empresa y han traído personal que tenía las habilidades para manejar los desafíos que se iban a enfrentar. Otro cambio fue en los sistemas de control de costos. La

selección de equipos también requirió una curva de aprendizaje, que ya se corrió. Tras demoras en la ampliación y menos ganancias por bajos precios del cobre, en el tercer trimestre del 2016 lograron mejores resultados en ventas.

¿La empresa ya se estabilizó?

Sí. Cerraron en octubre con una producción por encima de las 20000 toneladas, la cual es la meta de producción promedio diaria para el 2017. En el cuarto trimestre se tendrá un resultado aún mejor (que en el tercer trimestre) porque procesaron zinc con mejor ley.

¿Cómo cerraron el 2016?

La utilidad neta seguirá siendo negativa, pero tendrán un ebitda positivo, entre US\$ 10 millones y US\$ 15 millones (en el 2015 fue negativo). En el acumulado del año al tercer trimestre del 2016, el ebitda estuvo por los US\$ 4 millones, pero el mayor tonelaje y la mejor ley del zinc (del cuarto trimestre del año) permitirán esta mejora.

¿Incrementarán el tonelaje?

Se ha tenido picos de 23 000 toneladas, pero han logrado manejar por un promedio calendario de tonelaje. El promedio calendario fue alrededor de 21 300 toneladas en octubre, y en el cuarto trimestre han tenido una producción de 20 000 toneladas calendario diarias.

¿Cuál es la capacidad máxima de producción a la que El Brocal

podría llegar?

La planta tiene una capacidad nominal de entre 23 000 y 24 000 toneladas. Con algunas modificaciones podría llegar a más, pero el compromiso para el próximo año es las 20 000 toneladas como promedio calendario. Para ello se va a desarrollar una serie de proyectos el otro año para llevar a la planta a un mayor nivel, pero va a tomar un poco de tiempo. En el 2018 posiblemente se va proponer un volumen mayor. En enero, el precio del cobre bajó a los US\$ 4331/TM, y su pico más alto hasta noviembre fue US\$ 5050/TM.

¿Cuánto pueden aguantar los bajos precios del cobre?

En el 2015, la meta era tener un costo (de producción) cercano a US\$ 4800/TM, y a inicios del año 2016 llegaron a US\$ 4200/TM. Se quiso llegar por debajo de los US\$ 4000/TM. Con eso se garantiza que El Brocal continúe en el mercado.

¿Cuál es su estrategia para lograr esa meta?

La estrategia está en incrementar la productividad, con el aumento del tonelaje. También están haciendo modificaciones en la planta para poder simplificar ciertos procesos, que les van a traer ahorros en energía, y en la forma de minado, para obtener mayor volumen con menos perforaciones. En el tercer trimestre continuaron reduciendo sus costos de producción.

¿Cómo han logrado estas eficiencias operativas?

Se ha negociado con los contratistas. Luego, se ha cambiado la operación y mantenimiento de procesamiento del mineral para que sea *in house*. También han negociado los precios de los insumos, y han conseguido mejores precios. Otro factor que ha ayudado es el incremento en su productividad.

¿Cuánto capex tienen destinado El Brocal?

Este año su capex ha sido de US\$ 25 millones y el próximo año será igual. Va a ser utilizado principalmente para el sostenimiento de la planta, y uno que otro proyecto. La capacidad de aumentar la producción de cada tipo de mineral (cobre, plomo o zinc), va depender del margen que dé cada uno en cierto momento (según los precios).

Otro proyecto es la prueba o investigación de retratamiento de relaves. El relave tiene un contenido de plata interesante, y se quiere tratarlo en la planta para eventualmente extraer 3000 toneladas diarias.

1.2.1. Problema principal

¿Cómo llevar a cabo la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para el mejoramiento del concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A.?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo realizar la identificación de los minerales sulfurados

problema para el mejoramiento del concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal?

2. ¿Cómo realizar la determinación de la dosificación de los reactivos para el mejoramiento del concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal?
3. ¿Cuál será el balance metalúrgico del concentrado de plomo y zinc después de las pruebas metalúrgicas en la Sociedad Minera el Brocal?

1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar metalúrgicamente a los minerales sulfurados para mejorar el concentrado de plomo y zinc.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar los minerales sulfurados problema para el mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal.
2. Determinar la dosificación de los reactivos para mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal.
3. Realizar el balance metalúrgico del concentrado de plomo y zinc después de las pruebas metalúrgicas en la Sociedad Minera el Brocal determinar su factibilidad técnica en el área de concentrados.

1.4. Justificaciones de la investigación

La presente investigación está enmarcada en la evaluación metalúrgica de los minerales sulfurados para mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal. Es una investigación de índole tecnológica y preservando el medio ambiente. En su factibilidad económica podremos decir que sí es posible llevar a cabo esta evaluación, así como también obtener un concentrado con menor humedad y evitar el transporte de humedad innecesario al momento de despacha concentrados de plomo y zinc hacia Lima.

1.5. Limitaciones de la investigación

La investigación a realizarse tendrá como tema principal la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para mejorar el concentrado de plomo y zinc en las operaciones que se realiza la Sociedad Minera El Brocal, asimismo podemos determinar la dosificación de los reactivos que nos permitirá mejorar el concentrado de plomo y zinc y 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.

El desarrollo de la minería en nuestro país ha estado en crecimiento durante 10 años aproximadamente en la actualidad hubo un fuerte receso producto de la baja de los metales en el mercado mundial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La investigación se desarrollará con el uso adecuado del laboratorio químico metalúrgico, para la evaluación de los minerales sulfurados en las operaciones de la Sociedad Minera El Brocal.

2.1. Antecedentes de estudio

Mejora de la Recuperación de cobre por Control Metalúrgico en la Etapa de Molienda y Flotación en Concentradora Antamina

Con la expansión de planta en la etapa de molienda (2SAGs y 4 Molino de Bolas), se tiene una mayor capacidad de molienda que permite obtener un menor K80 para la etapa de flotación o incrementar el tonelaje de procesamiento manteniendo el mismo

K80, lo cual al final se traduce en una mayor producción metálica de cobre. Por otro lado, debido a que en la flotación rougher de cobre para minerales M1 se requiere obtener la mayor recuperación posible de cobre sin afectar los grados de cobre y controlar la activación del hierro, se planteó evaluar el efecto del pH y el efecto de la adición de cal en la etapa de molienda y flotación. Los resultados obtenidos incrementando la proporción de cal en la etapa de molienda indican una mejora significativa en la calidad del concentrado, con respecto a la adición de cal en la etapa de flotación, obteniéndose un mejor grado de cobre por menor activación del hierro en mineral M1. Cabe indicar que esto no ha significado un mayor consumo de cal, sino redistribuir el consumo de este reactivo agregando una mayor proporción en la etapa de molienda. Esta alternativa permite también la posibilidad de disminuir el consumo del depresor (NaCN) por efecto de un mejor control de la activación del hierro. Asimismo, en la etapa de molienda se implementó un cambio en el diseño de los shell liners del molino, lo cual ha permitido obtener una mejor eficiencia de molienda con mayor ratio de reducción respecto a los diseños anteriores y como consecuencia un menor K80 en el producto hacia flotación. También, se realizaron en Laboratorio Metalúrgico flotaciones cinéticas con minerales M1 y M4A con diferentes densidades con la finalidad de encontrar la mejor condición de flotación para optimizar las recuperaciones de Cu, Mo, Ag y Zn en la medida de lo posible. Los

Mejores resultados obtenidos en mineral M1 fueron a mayores porcentajes de sólidos, mientras que en mineral M4A las recuperaciones de cobre fueron similares a diferentes porcentajes de sólidos en la alimentación. Es por ello, que se decidió trabajar a un mayor porcentaje de sólidos por el mayor tiempo de residencia que se genera.

2.2. Marco contextual

2.2.1. Ubicación:

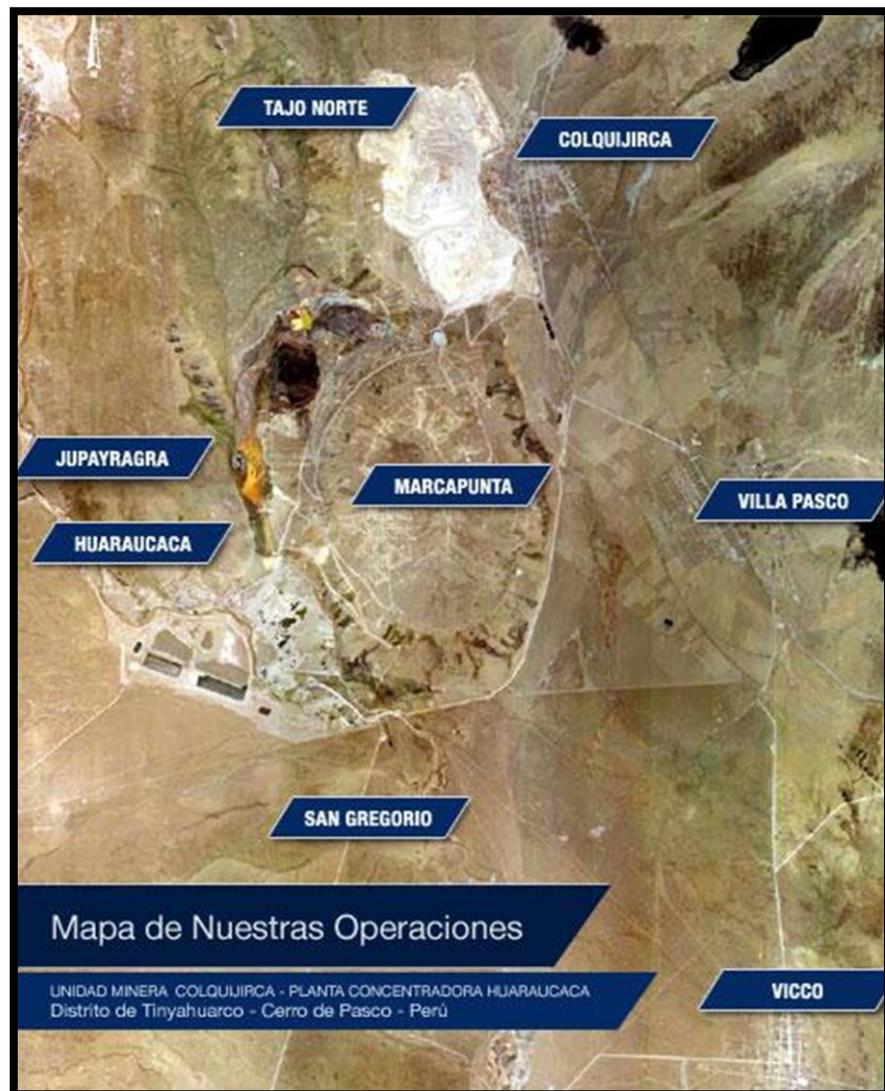
Sociedad Minera El BROCAL se ubica en el distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco, a una altitud de 4250 m.s.n.m. a 289 km de Lima. La Planta concentradora Huarucaca se ubican al norte del Yacimiento polimetálico de San Gregorio y Marcapunta Oeste; las coordenadas UTM que limitan el área son:

360,000 a 362,500 E;

8'807,000 a 8'810,200 N.

La Sociedad Minera El Brocal explota minerales de plata, plomo y zinc en su mina a tajo abierto denominada Tajo Norte y minerales de cobre en su mina subterránea denominada Marcapunta Norte.

Figura N° 2.1: Mapa de las operaciones de la S. M. El Brocal



Fuente: Sociedad Minera El Brocal

El mineral extraído se procesa en una planta de concentración de minerales, con una capacidad de tratamiento de 18,000 toneladas métricas por día y cuenta con toda la infraestructura asociada como centrales hidroeléctricas, sub estaciones, talleres, almacenes, canchas de relaves,

planta de tratamiento de aguas ácidas, viviendas y oficinas administrativas.

2.3. Bases teóricas científicas

2.3.1. Flotación

En el proceso de flotación, se obtiene adhesión entre las superficies de las partículas minerales recubiertas y las burbujas de aire, las cuales se hallan subiendo a través de la pulpa. La burbuja provee suficiente flotabilidad para originar que las partículas suban y formen una espuma razonablemente estable, que pueda ser extraída por espumación. Los pasos que conforman la operación unitaria de flotación son:

1. El mineral es molido en agua a aproximadamente malla 48 (297 micrones).
2. La pulpa formada de este modo es diluida con agua a una consistencia entre 25 y 45 % de sólidos por peso.
3. Pequeñas cantidades de surfactantes químicos son adicionados a la pulpa para modificar las superficies de minerales determinados.
4. Otro reactivo específicamente escogido, se adiciona para actuar sobre el mineral que se desea recuperar por flotación. El cubre la partícula mineral con una superficie aerofílica.
5. Luego se adiciona otro reactivo, el cual ayuda a establecer una espuma estable en la superficie.

6. La pulpa químicamente tratada en un depósito apropiado, tiene aire introducido por agitación o por la adición directa de aire a baja presión.
7. El mineral como parte de la espuma, sube hacia la superficie de donde es extraído.

La pulpa empobrecida, pasa a través de una serie de celdas, con el objeto de proveer tiempo y oportunidad a las partículas minerales para contactar burbujas de aire y puedan ser recuperadas en la espuma.

La flotación es un fenómeno superficial. Una partícula aerofílica en un sistema de flotación es aquella que es fuertemente atraída a una interfase de aire; por otro lado una partícula hidrofílica en el mismo medio ambiente, tiende a permanecer cubierta con agua. Las condiciones diferenciales que promueven la separación de partículas aerofílicas de partículas hidrofílicas, son fenómenos de superficie.

2.3.2. Hidratación

Cuando una partícula mineral enlazada iónicamente es recientemente rota, su capa superficial se carga donde quiera que la celda iónica haya sido partida. Ella al mismo tiempo extrae de su medio ambiente, compuestos, iones o complejos para reducir su potencial eléctrico. A esto se le

llama adsorción. Si una partícula está rodeada por aire o agua, los átomos superficiales parcialmente balanceados, son atraídos hacia cualquier átomo en el sistema externo, el cual podría ayudar para compensar los enlaces rotos en conminución. Si las fuerzas que mantienen un átomo en la celda son menores que las fuerzas que atraen al átomo a través de la interfase, el puede migrar desde el sólido a la fase líquida. De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, el sistema tiende a un mínimo de energía libre y estabilidad máxima.

2.3.3. La doble capa eléctrica

Ningún sólido es completamente insoluble en un líquido electrolítico, como, por ejemplo, un mineral en agua. Las reacciones entre moléculas de agua y varias superficies minerales no son todas iguales; esto es las energías libres de la solución varían. Como resultado de esto, el balance eléctrico en las superficies de las partículas cambia, porque la superficie mineral adquiere una carga opuesta en signo a los iones que han sido disueltos.

El incremento en la carga superficial eléctrica debido a la concentración de un tipo de ion en la superficie, comienza a obstruir el movimiento de los iones tipo migrantes desde la celda cristalina a la solución. Algunos de los iones que han pasado a la solución están concentrados por la acción de la

carga superficial en la vecindad inmediata de la cara mineral. De esta manera ocurre una separación de cargas y esta condición es llamada la capa doble eléctrica; la capa interior se debe a la superficie cargada del mineral y la capa exterior está constituida de iones extraídos de la superficie mineral por la acción de las moléculas de agua. La capa interior de esta doble capa eléctrica se esparce solamente sobre la superficie mineral inmediata y no penetra profundamente en la fase sólida. Opuestos a esta capa interior, se cree que los iones en la capa exterior, están posicionados a alguna distancia en la fase líquida.

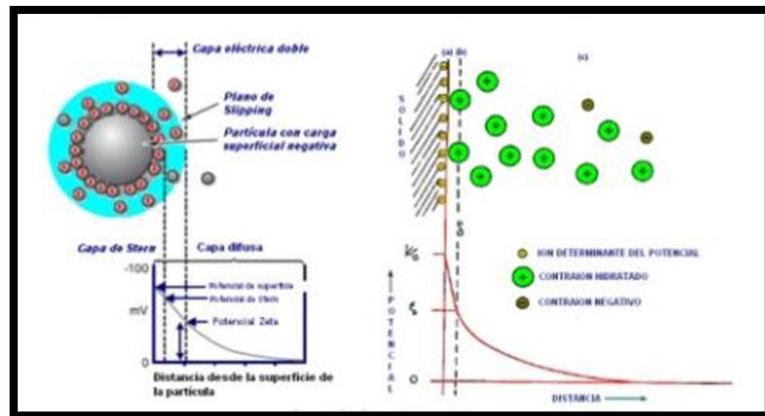
Estos iones probablemente están dispersos hacia fuera de la superficie mineral, pero sujetos a las grandes fuerzas eléctricas, tal como existen en el agua; la concentración del ion es una función de la distancia.

Aquellos iones que se encuentran en la vecindad de la superficie mineral, están fuertemente enlazados a la superficie que, si la partícula mineral se mueve, los iones también se moverán con ella. Cualquier ion que se encuentre en las capas distantes de la superficie mineral (capa difusa) tiende a separarse de la superficie sólida durante el movimiento. Como esta capa difusa es sacada de la superficie durante el movimiento, el equilibrio eléctrico del sistema es roto y se genera luego una diferencia de potencial entre el líquido y la

partícula en movimiento.

Esta diferencia de voltaje, llamado potencial electrocinética, se le llama el potencial zeta (ξ). La figura 1 dada por Klassen y Mokrousov, muestra una estructura idealizada de la doble capa, formada sobre una partícula de galena (PbS) suspendida en agua.

Figura N° 2.2: Estructura idealizada de la doble capa



Fuente: Klassen y Mokrousov

De gran importancia en el campo de la flotación, es el efecto de los reactivos orgánicos. Se muestra la reducción en el potencial zeta (ξ) debido al uso de alcoholes y ácidos grasos. Después de la adición de pequeñas cantidades de agentes activos en

superficies, toma lugar la adsorción orientada de sus iones, sobre los lugares activos superficiales.

En los minerales hidrofílicos la porción hidrofóbica de los compuestos activos superficiales se dirigen hacia la capa de agua. En efecto, los iones de la doble capa son parcialmente neutralizados con una reducción promedio total en la energía superficial del sólido. El desarrollo del origen de fuerzas electrostáticas no compensadas ambas atómicas y iónicas en superficies minerales recientemente preparadas, ya ha sido cubierto en algunos detalles. Esta carga desbalanceada en la superficie, permite que tome lugar la hidratación de la superficie bajo la acción combinada del dipolo de agua y el enlace de hidrógeno de la molécula de agua. Tal hidratación de la superficie mineral, previene el contacto de la superficie de la partícula con las burbujas de aire que pueden estar presentes en su vecindad; como resultado de esto, la flotación de la partícula con las burbujas de aire que pueden estar presentes en su vecindad; como resultado de esto, la flotación de la partícula no es posible. Se ha demostrado, asimismo, que la capa hidratada posee un espesor definido, a la vez que un grado remarcable de estabilidad.

2.3.4. Adsorción de reactivos sobre las superficies minerales

Si una sustancia está presente en una concentración más alta

en la superficie de un líquido o fase sólida, comparada a su concentración en la masa de esa fase particular, entonces se dice que la sustancia va a ser adsorbida sobre la superficie de la fase. La adsorción puede tomar lugar tanto desde un gas como de un líquido y se debe a la naturaleza innata de la sustancia que permite la formación de enlaces con la fase sobre la cual se realiza la adsorción. Generalmente el fenómeno está limitado a la superficie de la fase por las siguientes razones:

1. Las fuerzas de enlace no son lo suficientemente fuertes para ocasionar que la sustancia entre a la masa de la fase propiamente dicha.
2. Las partículas son demasiado grandes para que por si solas, penetren a la celda de la fase adsorbente.

La ecuación de adsorción de Gibbs expresa la definición de adsorción dada arriba, en la siguiente forma matemática:

C= Concentración total en la solución promedio o íntegra.

R= Constante universal de los gases.

T= Temperatura absoluta en grados Kelvin.

= exceso de concentración del soluto por cm² de superficie comparada con la concentración total.

γ = Energía interfacial (tensión superficial).

La ecuación muestra que para que una sustancia

sea adsorbida en una interfase, ella debe originar una reducción en la energía superficial.

— Es decir: debe ser negativo.

A la adsorción generalmente se le identifica como uno de dos tipos física y química, a la última se le llama quemi-adsorción; la adsorción física se debe a las fuerzas de Van der Waalls, la cual se considera de bajo orden. Consecuentemente la desorción puede ocurrir fácilmente. Debido a que las fuerzas involucradas son de naturaleza molecular, también puede ocurrir la adsorción de capas multi-moleculares. La adsorción química se debe a las fuerzas interatómicas y más particularmente a las fuerzas interiónicas. Las fuerzas de enlace en la de capas multi-moleculares. La adsorción química se debe a las fuerzas interatómicas y más particularmente a las fuerzas interiónicas. Las fuerzas de enlace en la quemiadsorción son de 20 a 50 veces más grandes que aquellas de la adsorción física.

En la adsorción física, el reactivo adsorbido mantiene su identidad química; en quemiadsorción el reactivo forma nuevos compuestos mediante reacciones de los siguientes tipos:

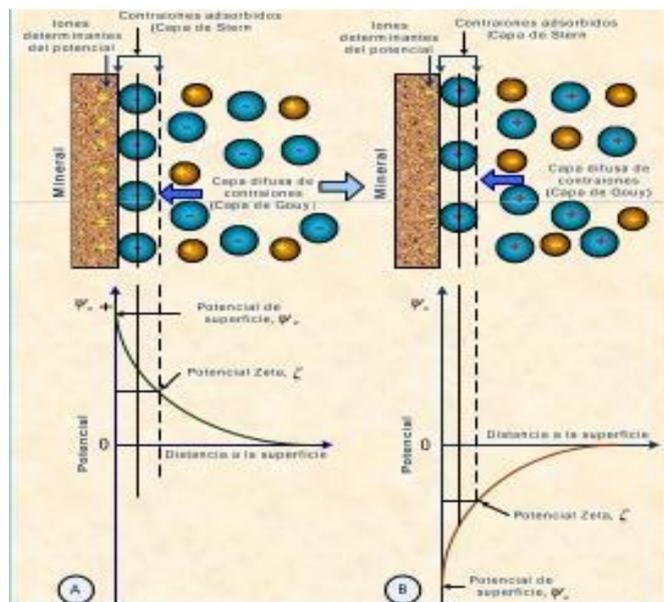
La quemiadsorción de un anión o catión, se favorece cuando ellos forman complejos insolubles con los cationes correspondientes de la celda de la partícula adsorbedora.

Es decir, los iones de azufre se adsorberán rápidamente sobre minerales que contienen cationes de metales pesados, para formar sulfuros insolubles del metal; los aniones cianuro se adsorben igualmente bien sobre las superficies de algunos sulfuros de metales pesados; puesto que con los cationes del metal ellos forman compuestos y/o complejos de muy baja solubilidad.

Los iones que tienen radios efectivos de aproximadamente el mismo tamaño que el radio de la celda cristalina, se adsorben mejor que los iones los cuales se diferencian apreciablemente en tamaño de la celda cristalina del adsorbente.

El intercambio de adsorción donde los iones en solución desplazan iones específicos en la superficie del mineral, puede tener gran importancia en la flotación.

Figura N° 2.3: Representación esquemática de la doble capa eléctrica en presencia de compuestos orgánicos activos en la superficie.



Fuente: Klassen y Mokrousov

- a) Adsorción como iones simples en bajas concentraciones de colector.
- b) Formación de hemicelas en concentraciones más altas.
- c) Coadsorción de iones colectores y moléculas neutras.

Este tipo de adsorción procede en la dirección en la que se formen compuestos más estables o menos solubles. En la quemiadsorción la cantidad total de iones que se adsorben sobre la capa exterior de la superficie del mineral, se determina principalmente por la carga sobre la superficie (desarrollada como consecuencia de la doble capa), puesto que las cargas eléctricas de ambas capas deben estar balanceadas.

2.3.5. Tension superficial de solidos.

La flotación de un sólido depende de la relativa absorción 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 interfacial es el factor decisivo. Cualquier superficie tal como la que separa el agua y el aire, se opone a su ampliación y se comporta exactamente como si se hallara en tensión. Esta tensión superficial es la que induce a las pequeñas masas de aire en el agua a adquirir forma esferoidal y se convierte 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. La suma de las fuerzas componentes de las tensiones superficiales debe ser

igual a cero.

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

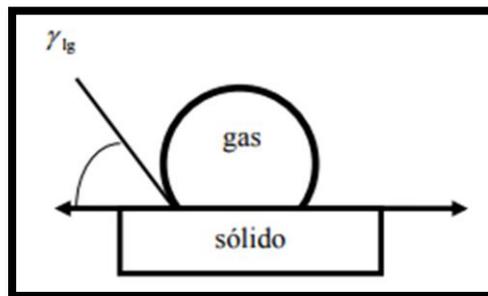
Ángulo de contacto

s = Sólido

g =
Gas

l =
Líquido

Figura N° 2.4: Diagrama de las tensiones superficiales que intervienen en el contacto de las fases gas, líquido y sólido.



**Fuente: Klassen y
Mokrousov**

2.3.6. Formación de burbujas mineralizadas.

La adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire es la base del proceso de flotación por espuma. Todas las operaciones tales como la cominución, clasificación por tamaños, tratamientos con reactivos, agitación de la pulpa de una celda de flotación, etc.; se efectúan con el propósito de producir las condiciones adecuadas para la rápida, selectiva y fuerte adherencia de una partícula mineral a una burbuja de aire.

La adherencia de las burbujas en la flotación, se obtiene mediante dos métodos: primero, las partículas se ponen en contacto con las burbujas que ya se encuentran formadas en la pulpa; y segundo, las burbujas de gas se precipitan de la solución sobre la superficie de las partículas. Ambos procesos se pueden estudiar por métodos termodinámicos y cinéticos; mediante el método termodinámico, se pueden estimar si es o no posible una mineralización de burbuja y el segundo método cinético se puede usar para establecer la naturaleza y velocidad del proceso.

2.3.7. Formas de partículas minerales-grupos de espuma.

Una gran variedad de grupos se forma en la pulpa por coalescencias de las burbujas y partículas minerales recubiertas con reactivos. En el caso más simple, un grupo consistirá de una sola burbuja y con una sola partícula adherida a ella. Cuando se incrementa el número de partículas flotantes, ellas forman una costra de flotación en la superficie más baja de la burbuja. Las partículas minerales ocuparán de 2% (en separaciones de bajo grado) a 20% (en flotación de carbón y en etapas de reconcentración en minerales sulfurados) de la superficie total disponible de la burbuja. En algunos casos las partículas grandes simples, se pueden flotar mediante un grupo de burbujas. En otros casos

los grupos de burbujas y partículas coalescen (unen) para formar flóculos de aire, los cuales se forman cuando la superficie mineral es altamente repelente al agua y cuando existe abundante aereación, pero no mucha agitación.

2.3.8. Reactivos de flotación.

Colectores. - Son sustancias que se usan en flotación para convertir a determinados minerales en repelentes al agua, por lo general los colectores son sustancias orgánicas.

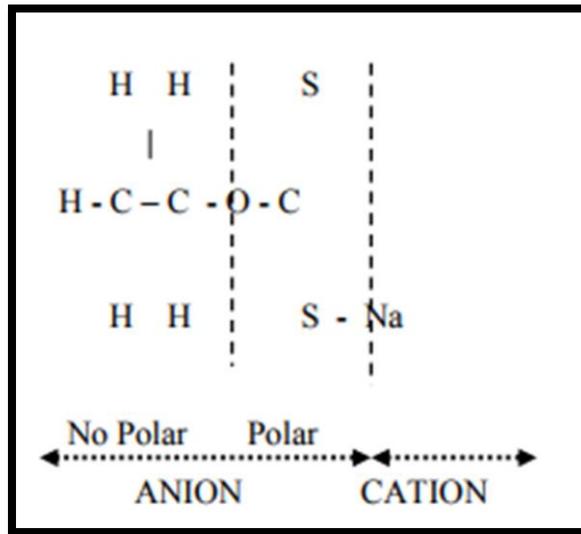
Los minerales se vuelven repelentes al agua, debido a la adsorción de iones o moléculas del colector sobre la superficie mineral.

Bajo estas condiciones, el nivel de energía de la superficie del mineral hidratado, se reduce a un punto donde es posible la formación de un perímetro de contacto de tres fases, al adherirse la partícula mineral a una burbuja. Los colectores son moléculas complejas que consisten de dos partes una polar y otra no-polar. En la adsorción de estos colectores la parte no polar se orienta a la fase agua y la parte polar hacia la fase mineral. Esta orientación hace a la superficie mineral repelente al agua.

Los colectores se clasifican en no iónicos y iónicos. Los iónicos a la vez se dividen aniónicos y catiónicos. Los colectores catiónicos son los más empleados para minerales sulfurados,

metales preciosos y sales oxidadas, por lo que nos ocuparemos de estos. Entre los principales colectores catiónicos tenemos a los xantatos y los ditiofosfatos (aerofloats).

Figura N° 2.5: Estructura de un xantato.

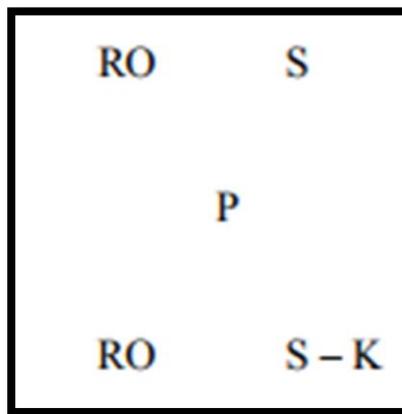


Fuente: Klassen y Mokrousov

Los xantatos, son sales del ácido cántico el cual a su vez es un producto de un alcohol y disulfuro de carbono. Estos son los colectores más ampliamente usados en la flotación de minerales sulfurados, metales preciosos, cobre nativo y sales oxidadas de cobre, plomo y zinc. Los xantatos son poco eficientes en flotar pirrotita y escalerita, pero este si puede flotar en forma selectiva después de activarse con iones de metales pesados (Cu, Pb). Tenemos al xantato amil de potasio (Z-6) y al xantato

isopropílico de sodio (Z-11) que es el más ampliamente usado por su bajo costo siendo un buen compromiso entre poder colector y selectividad. Los ditiofosfatos (Aerofloats), estos también llamados promotores, son de gran importancia en la flotación de sulfuros. Se diferencian de los xantatos porque ellos tienen fósforo pentavalente en lugar de carbón.

**Figura N° 2.6:
Ditiofosfato.**



**Fuente: Klassen y
Mokrousov**

Los ditiofosfatos es el producto de la reacción del pentasulfuro de fósforo y alcoholes y fenoles. Los ditiofosfatos son más selectivos que los xantatos, sin embargo, son más solubles que los xantatos, por lo tanto, los depresores los afectan más que a los otros colectores. Esta propiedad hace que se usen más en flotación primaria.

Entre los más usuales tenemos al Aerofloats 25 (A25) en forma ácida. Bueno para Ag, Pb, Cu y sulfuros activados de zinc. El Aerofloats 31 (A31) que está basado en el A25 contiene un

colector secundario. Especialmente efectivo para minerales de Pb y Pb/Ag y minerales de oro empañados. El Aerophine 3418 (A3418) es un nuevo colector basado en la química de la fosfina. Combina el fuerte poder colector de los xantatos para sulfuros de cobre, plomo y zinc con la selectividad contra los sulfuros de hierro de los promotores acuosos aerofloat. Es un excelente colector de plata y oro. Corto periodo de acondicionamiento.

Espumantes. - Cuando la superficie de una partícula mineral ha sido convertida repelente al agua por acción de un colector; a estabilidad de la adherencia de la partícula a la burbuja, depende de la eficiencia del espumante. Los espumantes son sustancias orgánicas heteropolares, activas sobre la superficie y que pueden ser adsorbidas sobre una interfase aire-agua. Los líquidos puros de estructura no polar, polar o heteropolar, por ejemplo, agua, kerosene, alcohol, no producen espumas estables cuando se agitan con aire. Las burbujas que allí se producen, se rompen fácil y rápidamente. Sin embargo, si una pequeña cantidad de una sustancia heteropolar activa en superficie tal como el alcohol, se adiciona al agua, se formará una espuma estable tan luego se introduzca aire disperso al sistema. Cuando las moléculas activas en superficie, reaccionan con el agua, los dipolos de agua reaccionan con los grupos polares y los hidratan; casi ninguna reacción ocurre con

los grupos de hidrocarburos no polares. El resultado es forzar al grupo hidrogenocarbonato dentro de la fase aire. En efecto la adsorción del espumante en la capa superficial del agua se ha efectuado y los grupos no polares están orientados hacia el aire.

Considere un sistema en el cual las moléculas heteropolaras de un líquido de baja tensión superficial han sido casi uniformemente dispersadas a través de agua. Las moléculas del heteropolar encuentran su camino a una interfase y permanecen allí causando una baja de la tensión en la interfase, produciendo espuma. La resistencia de la pared de la burbuja se incrementa por la intensa reacción entre el grupo polar del espumante y los dipolos de agua. Se requiere fuerzas considerables más grandes para destruir estas paredes por colisión de burbujas, que cuando las burbujas entran en contacto en ausencia de un espumante. Por ejemplo, si se ejerce una fuerte presión local sobre el recubrimiento de la burbuja, la distorsión superficial incrementará el área, con cierto decrecimiento de la concentración de espumante. Esto causa por lo tanto un incremento en la tensión superficial y mayor resistencia a colapsar. Los espumantes más comúnmente usados son los alcoholes, que son ligeramente solubles en agua. Tenemos los siguientes: los modernos son generalmente variedades de poliésteres o éster poliglicoles que

son completamente miscibles en agua. Entre estos tenemos al espumante Aerofroth 70 en base a alcoholes y el MIBC (metil isobutil carbinol). Ambos ocupan actualmente el 90% del mercado para flotación de menas metálicas. Los propilenglicol producen espumas más consistentes y de fácil rompimiento en las canaletas. Su completa solubilidad asegura una mejor difusión, selectividad y su dosificación es más controlada. Los Dowfroth son denominados por números que son proporcionales al peso molecular del polímero utilizado. Dow indica que a mayor peso molecular, el poder espumante es mejor. El metil isobutil carbinol tiene importancia en la flotación selectiva de minerales complejos. Se utiliza generalmente en la flotación de sulfuros. Muy útil en la flotación de minerales con muchas lamas.

Modificadores. - Los modificadores son reactivos usados en flotación, para controlar la acción de un colector sobre los minerales, con el objeto de intensificar o reducir su efecto repelente l agua de las superficies minerales. Los reguladores hacen la acción colectora más selectiva con respecto a los minerales, asegurando una precisión de separación razonable entre ellos. Cuando tal modificador se adiciona a la pulpa, el colector luego es capaz de convertir solo ciertos minerales repelentes al agua, sin resultar perceptible en los otros minerales.

La función del modificador involucra tanta reacción con el mineral, así como con los iones presentes en la pulpa; en muchos casos la reacción es de naturaleza química.

Activadores. - Son productos químicos cuyo uso permite la flotación de determinados minerales que sin ellos serían imposibles de flotar con el solo uso de colector y espumante. El sulfato de cobre es el mejor ejemplo de activador usado en la flotación del zinc. Es también un reactivador de minerales que fueron deprimidos con cianuro. Sus soluciones son muy corrosivas, por lo que se preparan en recipientes de plástico. La experiencia señala un consumo máximo de 70gr/TM por cada 1% de contenido de zinc en el mineral de cabeza. El sulfuro de sodio es usado para activar minerales no ferrosos oxidados como la cerusita, debido a la sulfidización que producen en la superficie de tales minerales.

El control debe ser estricto debido a que los minerales sulfuros son fácilmente oxidables, por ello es que previamente a su aplicación se prefiere flotar todos los sulfuros y dejar que sólo los óxidos sean sulfidizados.

Modificadores de pH. - Como la flotación es un fenómeno de superficie y que es extremadamente sensible al contenido de iones del agua de flotación, las sales solubles del mineral serán muy importantes a considerar ya que ellas estarán en la pulpa; definitivamente no se trata solo de modificar el pH, sino que el

modificador pueda variar el mismo neutralizando los iones que puedan afectar la flotación. El principal modificador de pH es la cal por asunto de costo. Se deprime la pirita y otros sulfuros de hierro.

Depresores. - Es un reactivo que inhibe o evita la adsorción de un colector por un mineral; por tanto, previene su flotación. El ion cianuro (cianuro de sodio o calcio) que deprime a los sulfuros de zinc (en combinación con sulfato de zinc), fierro, debido a que la estabilidad de los cianuros complejos de estos elementos es más estable que la de sus correspondientes tiolatos. Se debe tener presente los niveles de contaminación, utilizando en pequeña cantidad. El bisulfito de sodio en soluciones mayores al 10% controla la activación de zinc en el circuito de plomo. Es un excelente depresor de esfalerita cuando se tiene una flotación incontrolable y la causa de la activación del zinc no es mineralógica, sino de iones cobre presente en forma de sales solubles. Es de acción efectiva en pH neutro o ácido. La cal deprime sulfuros de hierro como pirita, zinc marmatítico y algunos minerales de cobre. La cal es usada en lechada, como óxido de calcio es mejor que sea con una pureza mayor a 70%. Si es de baja calidad, las impurezas generalmente son: exceso de insolubles y carbón. Los primeros afectarán una normal dosificación y posiblemente ensucien concentrados; los residuos de carbón pueden afectar los

consumos de xantatos y alterar la flotación.

2.3.9. El mecanismo de acción de los reactivos de flotación y el

efecto que se pretende depende de:

- Tipo de los reactivos de flotación, dosificación y orden de adición.
- Método de preparación de los reactivos de flotación.
- Uso independiente o como mezcla con otros reactivos de flotación.
- Tiempo de acondicionamiento de los reactivos de flotación con la pulpa.
- Puntos de adición de los reactivos de flotación.
- Tipo de minerales y tamaño de partículas.
- Presencia en el mineral de partículas finas, ultra finas, arcillas.
- Dureza del agua y tipo de maquinaria.
- Configuración del circuito y carga circulante.

Depresores

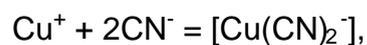
- NaHS.
- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (Metabisulfito de sodio) (pirosulfuros ácido, ácido disódico).
- Na_2S .
- NaCN (sodium cyanide).
- ZnSO_4 (Zinc sulfate).

- CuSO₄ (Copper sulfate).
- Agent Nokes.
- H₂SO₄ (Sulfuric acid).
- Ca(OH)₂.
- Na₂CO₃.
- Carboximetilcelulosa, CMC, carboxy methyl cellulose
(polímeros aniónicos).
- Almidón.
- (Guar gum) galactomannan.
- Zinc sulfato, monohidrat.

Existen 5 modos principales de acción de los depresores.

Modo 1.- Solución de colector anteriormente pegado en superficie de mineral. Por ejemplo, coerción de flotación de sulfuros de cobre (chalcopirita, covelina, calcosina y otros) por medio de los cianuros.

Se instala un equilibrio determinado entre solución y superficie. Al agregar los cianuros (NaCN o KCN) se vinculan los iones de cobre, que están en la solución:



Así disminuye la concentración de cobre en la solución, donde se rompe el equilibrio y el xantato de cobre se resuelve desde superficie de mineral.

Modo 2.- Sustitución de iones de colector por iones de depresante,

que forman un enlace hidrofílico con iones de metal, y es poco soluble en agua. Por ejemplo, sustitución de flotación de la galena por Na_2S . Así, iones de azufre sustituyen iones de xantato desde superficie de mineral, formando la siguiente reacción:

Modo 3.- Formación de enlaces hidrofílicos por reactivos depresantes en partes de superficie desocupadas de colectores (sin su sustitución). Por ejemplo, sustitución de flotación de galena por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Así, partes de galena menos hidrofílicas y desocupadas de colector se cubren por plomo sulfidohromaty más hidrofílicos. Hidración sumatoria de superficie se aumenta, y flotabilidad de galena disminuye.

Modo4. Vinculación de partículas hidrofílicas relativamente grandes de enlaces, formados por reactivos depresantes en resolución, sobre partes de superficie desocupados por colector, bloqueando moléculas de colector y sustituyendo la flotación. Por ejemplo, sustitución de flotación de esfalerita por sulfato de zinc en ambiente alcalino, creado por bicarbonato. Así, en esta solución se forman partículas hidrofílicas de carbonato de zinc básico, que se pegan a superficie de esfalerita, disminuyendo su flotación.

Modo 5.- Transformación de propiedades de reactivos- colectores que están en la fase líquida de pulpa, que empeora su fijación sobre superficie de minerales. Por ejemplo, unión de colectores en enlaces no solubles,

disminución de grado de disociación de colector con baja de concentración de aniones de colector activos en flotación, etc.

2.4. Definición de términos básicos.

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.

Tratamiento. - Es un conjunto de medios que se utilizan para aliviar u obtener resultados favorables o antagónicos.

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

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.

Flotación. - Es un proceso fisicoquímico de tres fases (sólido-líquido-gaseoso) que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire.

Reactivos de flotación. - Son sustancias orgánicas e inorgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo fisicoquímico del proceso de flotación de espumas de minerales, sean estos polares o apolares, sulfuros o no sulfuros; metálicas y no metálicas.

Depresores. - Los depresores son importantes tipos de reguladores estos evitan la flotación de un mineral determinado. Esto aumenta enormemente la posibilidad de lograr una flotación selectiva de un mineral con respecto a otro.

Circuitos de flotación y equipos. - La flotación es una operación destinada a seleccionar los sulfuros valiosos contenidos en la pulpa y rechazar la ganga como relave. Pero resulta casi imposible hacer esta operación en una sola celda y conseguir un concentrado limpio y un relave igualmente limpio; es necesario que las espumas de las primeras celdas pasen a un nuevo grupo de celdas que se encarguen de limpiar los elementos indeseables que hayan logrado flotar con la parte valiosa.

Funciones de las celdas de flotación. - Los equipos en los cuales se realizan los procesos de flotación se denominan celdas de flotación y son construidos de modo que favorezcan la realización del proceso.

Relave. - Es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga, (o sin valor

comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico.

2.5. Formulación de hipótesis:

2.5.1. Hipótesis general

Si evaluamos metalúrgicamente a los minerales sulfurados entonces podemos mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

2.5.2. Hipótesis específicos

1. Si identificamos los minerales sulfurados problema entonces podemos mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal.
2. Si determinamos la dosificación de los reactivos entonces podemos mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal.
3. Si realizamos el balance metalúrgico del concentrado de plomo y zinc entonces podemos correr pruebas metalúrgicas en la Sociedad Minera el Brocal.

2.6. Identificación de variables

2.6.1. Variable dependiente

Mejoramiento del concentrado de plomo y zinc

2.6.2. Variable independiente

Evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados

2.6.3. Variables intervinientes

- Minerales sulfurados
- Reactivos de flotación
- Tamaño de partículas
- Tiempo de flotación
- Porcentaje de recuperación de plomo y zinc

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de Investigación, por tener una naturaleza de carácter práctico, ha sido objeto del empleo del método **Aplicativo**, a fin de conocer sobre la evaluación metalúrgica de los minerales sulfurados con la finalidad de mejorar el concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal, así como también el tamaño de las partículas, elementos presentes. Y por último realizar el estudio correspondiente de las variables independiente y dependiente.

Es una investigación aplicada y experimental hecho en laboratorio.

3.2. Metodos de investigación

El diseño empleado en la presenta Investigación es el de carácter **experimental**; metodología que permite establecer la relación existente en la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados, investigación que está contenida en la variable independiente con la finalidad de mejorar la recuperación del plomo y zinc, 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**.

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

3.3. Diseño 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 a la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados con la finalidad de mejorar la recuperación del concentrado de plomo y zinc en la Sociedad Minera El Brocal para ello vamos describiendo y explicando las causas y efectos, traducidos en resultados obtenidos

para identificar las operaciones.

3.4. Población y muestra

El Brocal realiza trabajos de explotación en las minas contiguas Tajo Norte y Marcapunta Norte, cuya vida de mina conjunta es de 12 años. La extracción de mineral es enviada para ser procesada a las dos plantas concentradoras que posee la compañía minera; estas últimas cuentan con una capacidad instalada de tratamiento conjunta de 10 000 TMD (con un permiso de producción de 11 235 TMD).

Tabla N° 3.1: Recursos y reservas – Mina Tajo Norte

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
RECURSOS MINERALES (TMS)							
Medidos + Indicados	2 339 600	2 339 600	76 934 000	7 499 756	21 662 530	12 758 675	12 127 615
Inferidos	9 800 000	9 800 000	1 492 000	1 492 000	19 644 000	14 988 517	14 435 745
Ley % Pb	0,95	0,95	0,72	0,73	0,52	0,46	0,47
Ley % Zn	2,52	2,52	2,18	2,20	1,76	1,60	1,65
Ley Oz Ag/TM	1,10	1,10	0,88	0,89	0,46	0,45	0,45
RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES							
Reservas (TMS)	44404000	43272087	69751000	68507244	5745500	45926000	43621946
Ley % Pb	0,9	0,83	0,74	0,73	0,80	0,86	0,86
Ley % Zn	2,72	2,31	2,24	2,23	2,4	2,53	2,53
Ley Oz Ag/TM	1,41	1,31	0,92	0,89	0,84	0,92	0,90

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

La sociedad Minera El Brocal tiene recursos minerales que están siendo exploradas, encontrándose bolsónada de cobre en Marcapunta Norte.

Tabla N° 3.2: Recursos y Reservas – Marcapunta Norte

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
RECURSOS MINERALES (TMS)							
Medidos + Indicados	21561798	21561798	33841763	7499756	10034000	10304000	17725250
Inferidos	31944032	31944032	9675250	1492000	40889000	40889000	33200443
Ley % Pb	0,30	0,30	0,26	0,26	0,43	0,43	0,43
Ley % Zn	0,59	0,59	0,56	0,56	0,52	0,52	0,54
Ley % Cu	1,99	1,99	1,85	1,85	1,71	1,71	1,56
Ley Oz Ag/TM	0,79	0,79	0,56	0,56	0,63	0,63	0,67
RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES							
Reservas (TMS)	7534296	7534296	8047247	7207181	5600627	18158528	21990603

Ley % Pb	0,43	0,45	0,43	0,42	0,41	0,35	0,39
Ley % Zn	0,77	0,79	0,78	0,72	0,74	0,58	0,65
Ley % Cu	2,47	2,57	2,4	2,38	1,95	1,99	2,26
Ley Oz Ag/TM	0,51	0,53	0,49	0,49	0,53	0,52	0,60

Fuente: Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como muestra de estudio es la recolección de muestras en la tolva de finos y en la descarga del molino de la Sociedad Minera El Brocal, este muestreo es por conveniencia toda vez que se trata de identificar experimentalmente dichos componentes. Y poder sugerir su adición de reactivos con la finalidad de mejorar la recuperación de plomo y zinc después de un tratamiento en bach.

Para llevar a cabo la investigación se ha tenido que recolectar muestras de las celdas de flotación para poder identificar el mineral sulfurado problema, así como también se ha tenido que desarrollar pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio para determinar el reactivo colector que mejor resultado nos pueda dar en la concentración de plomo y zinc dando como mayor preferencia y el cobre fue tratado como un elemento aparte.

3.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos

1. Evaluación de colectores (mezclas de dos o más colectores) para incrementar recuperación de plomo y plata adicionalmente mejorar la selectividad y cinética.
 - Colectores similares a aerofina.
 - Los proveedores propondrán (se está enviando muestras

para que puedan hacer pruebas y proponer su mejor colector).

2. Evaluación de Grado de remolienda.

- Se fijará los puntos de acuerdo a la microscopía – grado de liberación.

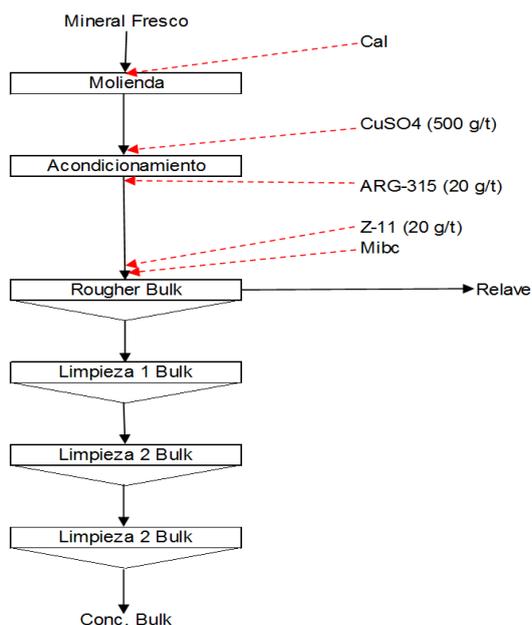
3. Evaluación de depresores de Zn Para en la etapa de separación (incremento de recuperación de plata).

- Mezclas, nuevos depresores de Zn ($ZnSO_4$ monohidratado, MIX, Complex etc.).

4. Evaluación de flow sheet y puntos de dosificación de reactivos (simulados con la celda automática).

- En el flow sheet iremos variando los puntos de dosificación de los reactivos con la finalidad de incrementar la recuperación del plomo y zinc en la planta concentradora.

Figura N° 3.1: Diagrama de flujo de las pruebas metalúrgicas a realizar



Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama anterior se ha corrido pruebas de flotación con la finalidad de controlar inicialmente la dosificación de los reactivos para luego hacer un balance metalúrgico y poder analizar cuál fue la ley de cabeza y cuanto tenemos en la calidad y su recuperación respectiva.

Tabla N° 3.3: Balance metalúrgico por el control de reactivos inicial

Producto	Peso %	Ensayes					Recuperación				
		Ag Oz/TM	Pb%	Zn%	Cu%	Fe%	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Bulk Tri Cl Conc	4,3	8,2	18,0	41,5	0,19	6,0	67,3	67,1	61,5	25,0	1,3
Bulk medio 3	2,2	1,4	5,8	16,7	0,06	22,7	6,0	11,1	12,8	4,2	2,6
Bulk medio 2	0,8	0,8	4,8	3,5	0,05	19,9	1,3	3,4	1,0	1,3	0,8
Bulk medio 1	5,4	1,6	0,5	1,8	0,10	11,0	17,0	2,4	3,4	16,0	3,1
Pb Conc Ro	12,7	3,7	7,6	17,8	0,41	11,9	91,6	84,0	78,8	46,5	7,8
Relave	87,3	0,1	0,21	0,7	0,02	20,6	8,4	16,0	21,2	53,5	92,2
Cabeza calculada	100,0	0,5	1,14	2,9	0,03	19,5	100	100	100	100	100
Cabeza (Assay)											

Fuente:
Elaboración propia

El Concentrado bulk bajo las condiciones del esquema 1 ensaya 18

% de plomo y 41% de zinc las recuperaciones se estiman en 84,0 %

de plomo y 78,8 %
de zinc.

Como podemos observar en la tabla N° 3.3, balance metalúrgico la planta viene operando con recuperaciones que aparentemente están bien, pero se puede recuperar más, es por ello que se va tener que plantear otros puntos de dosificación de reactivos y variando las cantidades o desplazando otros reactivos, lo que nos permite plantear

un nuevo diagrama de flujo y obtener muestras para que sean analizadas en el laboratorio químico para saber cómo puede variar la concentración de plomo y zinc en el rougher o en cualquiera de las celdas de flotación.

Figura N° 3.2: Diagrama de flujo dosificación de reactivo desde el alimento a la molienda y circuito de flotación

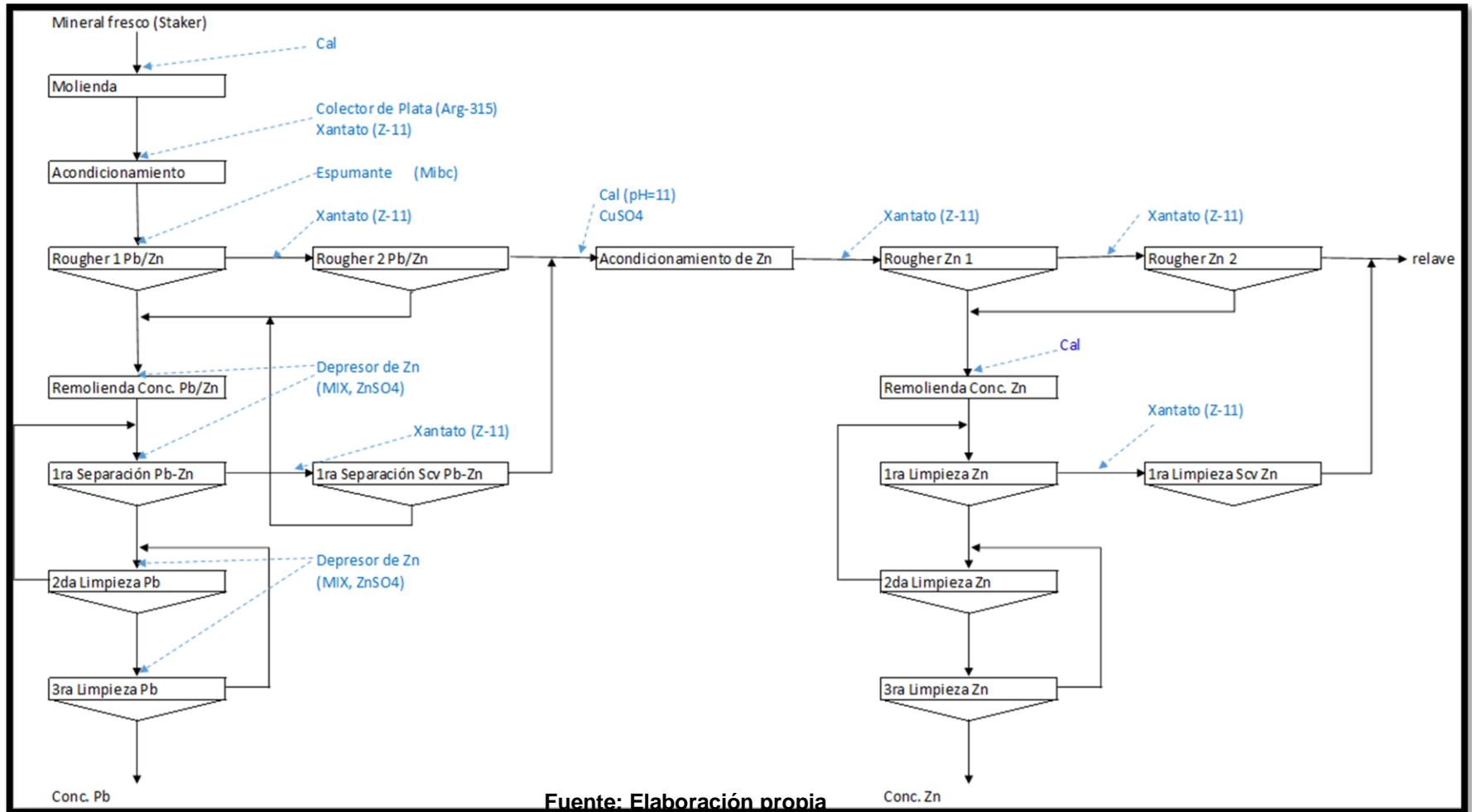


Tabla N° 3.4: Balance metalúrgico cambiando los puntos de dosificación de reactivos

Producto	Peso %	RC	Ensayes				% Distribución			
			Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Fe %	Ag	Pb	Zn	Fe
Cabeza calc	100	77,88	0,4	0,93	2,27	20,15	100	100	100	100
Conc Pg/Ag	1,8	40,42	14,2	49,6	4,3	7,5	42,4	68,7	2,4	0,5
Conc Zn	2,47		5,3	3,18	50,4	7,3	30,6	8,5	54,9	0,9
Relave	96,4		0,1	0,22	1,01	20,7	27,1	22,8	42,7	96,6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 3.4, se observa que se tiene altos radios se concentración para el plomo y para el zinc, así mismo podemos observar que la calidad del concentrado es alta pero la recuperación es baja, lo que significa que se tiene que aumentar las celdas de limpieza para incrementar la recuperación y bajar la calidad del concentrado.

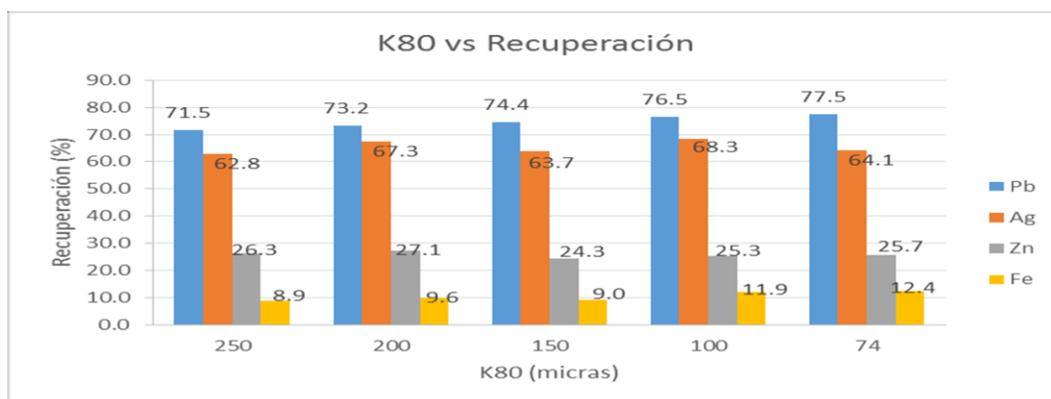
Tabla N° 3.5: pruebas de exploración - flotación bulk (sin depresores) variando granulometría

Pru	Producto	K80 μ	Tiem Min	Peso %	Ensayes				% Recuperación				Observación
					Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Fe %	Ag	Pb	Zn	Fe	
1	Conc Ro Pb	150	8	8,6	1,7	7,1	2,9	17,8	39,2	66,5	10,7	7,7	Cond. actual
2	Conc Ro Pb	250	8	9,6	2,5	7,0	6,4	18,0	62,8	71,5	26,3	8,9	Sin depresor
3	Conc Ro Pb	200	8	10,4	2,5	6,6	5,8	18,4	67,3	73,2	27,1	9,6	Sin depresor
4	Conc Ro Pb	150	8	9,7	2,8	7,1	5,7	18,7	68,7	74,4	24,3	9,0	Sin depresor
5	Conc Ro Pb	100	8	12,4	2,3	5,5	4,6	19,1	68,3	76,5	25,3	11,9	Sin depresor
6	Conc Ro Pb	74	8	12,6	2,2	5,3	4,5	19,6	64,1	77,5	25,7	12,4	Sin depresor

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 3.5, la presencia del zinc en el concentrado de plomo es altísimo esto es debido a que no se ha agregado el depresor que es el sulfato de zinc, la recuperación del plomo está por debajo de la recuperación inicial es decir de 84,4 % bajó a 77,5 flotación gruesa.

Figura N° 3.3. K80 versus Recuperación



Fuente:
Elaboración propia

En la figura se aprecia los porcentajes de recuperación del plomo junto con la plata y la presencia del zinc hace que baje las recuperaciones hay que dosificar el sulfato de zinc para bajar la presencia del cinc en el concentrado de plomo-plata.

3.7. Tratamiento estadístico

La segunda semana de junio del 2018 se recibió en el laboratorio de metalurgia 06 muestras de mineral signadas de la siguiente manera:

Tabla N° 3.6: Recibimiento de muestras de mineral sulfurado

N° Muestra	Fecha	Flanco	Tipo de Muestra	Este	Norte	Nivel	Descripción
GMQ301	29/05/2017	La Pampa	FM	361505	8811755	4256	Zona mineral de 40 m
GMQ302	30/05/2017	Chocayoc N	FM	361675	8811605	4150	Zona mineral de 25 m
GMQ303	03/06/2017	Chocayoc N	FM	361510	8812004	4276	Zona mineral de 25m
GMQ304	05/06/2017	Chocayoc S	FM	361626	8811134	4304	Zona mineral de 35 m
GMQ305	06/06/2017	La Llave	FM	361810	8811760	4270	Zona mineral de 30 m
GMQ306	07/06/2017	Mercedes	FM	361560	8811060	4280	Zona mineral de 30 m
GMQ307	07/06/2017	Principal	FM	360758	8810835	4300	Zona mineral de 30 m

Fuente: Elaboración propia

Las muestras fueron enviadas por el Ing. Jorge Zapata

en coordinación con el Ing. Iván Huallpayunca del departamento de geología.

El propósito de las muestras es ensayar las cabezas de cada una de ellas y luego realizar pruebas de flotación a condiciones estándar para determinar su comportamiento metalúrgico.

Para asemejarse al proceso en planta el mineral se tuvo que lavar previamente y las pruebas se realizaron con la fracción gruesa (+635M).

Ensaye de Cabeza.- Una muestra representativa de cada una de las muestras ensaya como sigue:

Tabla N° 3.7: Determinación de la ley de cabeza de las muestras

N° Muestra	Flanco	Ensayes							
		Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	PbO %	ZnO %	S %
GMQ301	La Pampa	0,29	0,91	3,95	<0,01	20,38	0,14	0,05	---
GMQ302	Chocayoc N	0,12	0,52	2,32	<0,01	18,02	0,10	0,07	---
GMQ303	Chocayoc N	1,84	2,11	1,20	0,06	23,23	1,03	0,06	0,13
GMQ304	Chocayoc S	1,04	1,19	1,63	<0,01	16,95	0,34	0,09	1,71
GMQ305	La Llave	0,41	1,47	2,78	<0,01	33,20	0,12	0,15	0,39
GMQ306	Mercedes	3,27	1,38	1,45	<0,01	12,37	0,50	0,08	3,01
GMQ307	Principal	1,24	0,48	0,06	0,04	13,32	0,17	0,01	0,68

Fuente: Elaboración propia

Los datos muestran que la plata varía su valor de 0,12 a 3,27 oz/tm siendo el de más valor el flanco mercedes, el plomo varía de 0,48% a 2,1% y el zinc varía de 0,06% a 3,95%.

El contenido de PbO es variable llegando hasta un 50% de Pb Total.

Resultado de Las Pruebas.- Los resultado de las pruebas de flotación se muestra a continuación (Balance Proyectado):

Tabla N° 3.8 Balance metalúrgico de las muestras de mineral

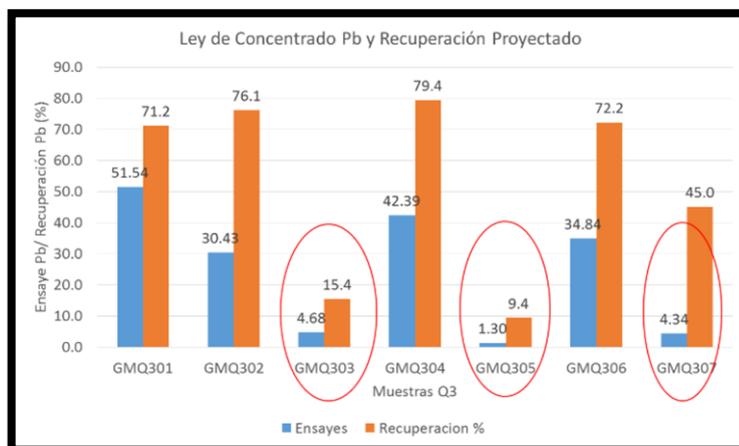
Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación %		
			Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ301	Conc. Pb	1,2	9,97	51,54	2,92	44,7	71,2	0,9
F. La Pampa	Conc. Zn	8,8	0,80	0,66	31,5	22,2	7,0	71,3
	Relave	69,4	0,03	0,20	1,03	33,0	21,8	27,9
GMQ302	Conc. Pb	1,3	1,60	30,43	2,37	26,2	76,1	1,4
F. Chocayoc N	Conc. Zn	4,1	0,83	0,62	30,8	28,1	7,0	61,7
	Relave	56,1	0,07	0,10	0,78	45,8	16,9	36,9
GMQ303	Conc. Ro Pb	7,0	5,61	4,68	1,37	21,8	15,4	8,2
F. Chocayoc N	Conc. Ro Zn	3,6	2,69	2,03	1,36	5,4	3,4	4,2
	Relave	89,5	1,46	1,93	1,14	72,8	81,2	87,6
Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación %		
			Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ304	Conc. Pb	2,2	21,43	42,39	25,83	46,7	79,4	33,8
F. Chocayoc S	Conc. Ro Zn	12,0	1,17	0,38	1,60	15,2	3,8	11,7
	Relave	72,0	0,23	0,21	0,49	38,1	16,8	54,6
GMQ305	Conc. Ro Pb	11,1	1,04	1,30	2,45	22,7	9,4	9,6
F. La Llave	Conc. Ro Zn	12,2	0,49	1,32	2,55	11,9	10,5	11,0
	Relave	76,8	0,43	1,59	2,93	65,4	80,0	79,4
GMQ306	Conc. Pb	2,5	178,69	34,84	24,21	61,1	72,2	41,0
F. Mercedes	Conc. Ro Zn	6,3	3,25	0,98	1,84	3,6	4,5	7,7
	Relave	81,8	0,64	0,33	0,41	35,3	23,4	51,3
GMQ307	Conc. Ro Pb	1,5	27,30	4,34	1,20	40,3	45,0	
F. Principal	Relave	98,5	0,85	0,22	0,05	59,7	55,0	

Fuente: elaboración propia

Los datos muestran que las muestra GMQ301, GMQ302, GMQ304 y GMQ306 presentan una buena flotabilidad de plomo y plata y las muestras GMQ301 y GMQ302 presentan una buena flotabilidad de zinc y la muestra GMQ304 y GMQ306 flotabilidad de zinc parcial.

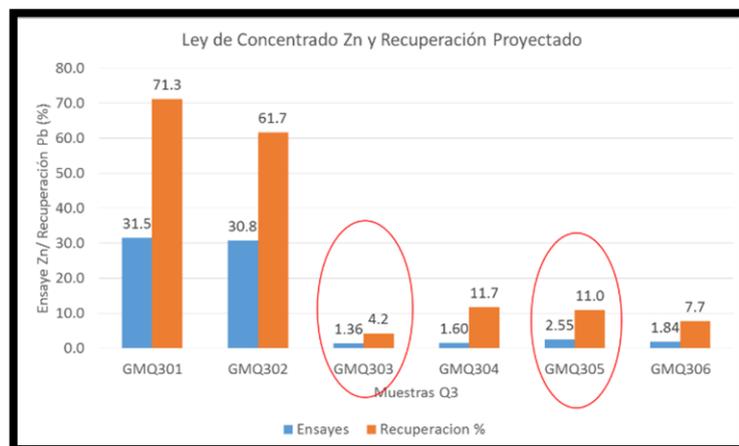
Se va a mostrar unas figuras para analizar el comportamiento de las leyes del concentrado con una proyección de su recuperación del plomo y del zinc.

Figura N° 3.4: Ley de concentrado de Pb y recuperación proyectada



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.5: Ley de concentrado de Zn y recuperación proyectada



Fuente: Elaboración propia

En el caso de GMQ 304 hay desplazamiento de Zn al concentrado de Pb.

Se recomienda en lo posible evitar el envío de los frentes GMQ303, GMQ305 y GMQ 307 a planta por su negativa frente al proceso de flotación actual y el contenido.

Salvo que se tenga que realizar una flotación en grueso el plomo y evitar el desplazamiento del zinc en el plomo.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Preparación y lavado de muestra.- Previo a las pruebas de flotación se realizó el lavado (malla de referencia 635M) y preparación de cada una de las muestras donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 3.9: Distribución Mineral lavado de plomo y zinc

N° Muestra	Flanco	Peso Kg			Peso en %		
		Grueso (+635M)	Fino (-635M)	Total	Grueso (+635M)	Fino (-635M)	Total
GMQ301	La Pampa	15,1	5,5	20,6	73,3	26,7	100,0
GMQ302	Chocayoc N	38,0	5,6	43,6	87,2	12,8	100,0
GMQ303	Chocayoc N	20,3	2,1	22,4	90,8	9,2	100,0
GMQ304	Chocayoc S	20,2	1,6	21,7	92,8	7,2	100,0
GMQ305	La Llave	15,3	2,6	17,9	85,5	14,5	100,0
GMQ306	Mercedes	21,1	0,2	21,3	99,3	0,7	100,0
GMQ307	Principal	20,2	0,4	20,6	97,9	2,1	100,0

Fuente: Elaboración propia

En promedio el % finos (-635M) es 10%

Tabla N° 3.10: Pruebas de Flotación de gruesos

Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación		
			% Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ301 F. La Pampa	Conc. Pb	1,2	9,97	51,54	2,92	40,1	65,2	0,9
	Conc. Ro Pb	10,7	1,73	6,45	2,93	63,9	75,0	7,8
	Conc. Zn	8,8	0,80	0,66	31,50	24,2	6,3	69,1
	Conc. Ro Zn	19,9	0,41	0,46	14,90	27,8	10,0	74,2
GMQ302 F. Chocayoc N	Relave	69,4	0,03	0,20	1,03	8,3	15,1	17,9
	Conc. Pb	1,3	1,60	30,43	2,37	14,5	72,0	1,4
	Conc. Ro Pb	19,6	0,28	2,31	1,95	37,4	80,1	16,7
	Conc. Zn	4,1	0,83	0,62	30,80	22,9	4,5	54,6
	Conc. Ro Zn	24,3	0,21	0,23	6,09	35,1	10,0	64,3
	Relave	56,1	0,07	0,10	0,78	27,5	9,9	19,0

Fuente: Elaboración propia

Se ha corrido pruebas de flotación para determinar el comportamiento del mineral en grueso y fino de las diversas muestras que han llegado al laboratorio químico metalúrgico.

Tabla N° 3.11: Pruebas de Flotación de finos

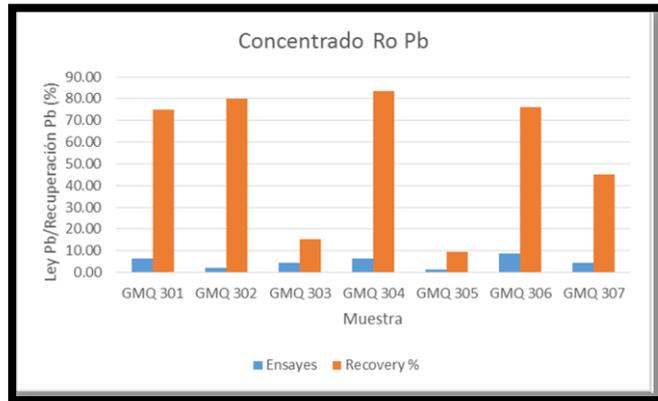
Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación		
			% Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ303	Conc. Ro Pb	7,0	5,61	4,68	1,37	21,8	15,4	8,2
F. Chocayoc N	Conc. Ro Zn	3,6	2,69	2,03	1,36	5,4	3,4	4,2
	Relave	89,5	1,46	1,93	1,14	72,8	81,2	87,6
	Conc. Pb	2,2	21,43	42,39	25,83	50,0	76,2	33,8
GMQ304	Conc. Ro Pb	15,9	3,87	6,28	6,92	66,7	83,6	66,9
F. Chocayoc S	Conc. Ro Zn	12,0	1,17	0,38	1,60	15,2	3,8	11,7
	Relave	72,0	0,23	0,21	0,49	18,1	12,6	21,4
GMQ305	Conc. Ro Pb	11,1	1,04	1,30	2,45	22,7	9,4	9,6
F. La Llave	Conc. Ro Zn	12,2	0,49	1,32	2,55	11,9	10,5	11,0
	Relave	76,8	0,43	1,59	2,93	65,4	80,0	79,4
	Conc. Pb	2,5	178,69	34,84	24,21	79,2	64,0	41,0
GMQ306	Conc. Ro Pb	11,9	42,01	8,82	8,80	87,3	76,0	69,9
F. Mercedes	Conc. Ro Zn	6,3	3,25	0,98	1,84	3,6	4,5	7,7
	Relave	81,8	0,64	0,33	0,41	9,1	19,6	22,4
GMQ307	Conc. Ro Pb	1,5	27,30	4,34	1,20	40,3	45,0	
F. Principal	Relave	98,5	0,85	0,22	0,05	59,7	55,0	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla podemos observar que el plomo y el zinc tienen casi las mismas recuperaciones, es decir hay un desplazamiento del zinc en el concentrado de plomo.

Asimismo observamos que en el relave se tiene altas concentraciones de plomo y zinc todo esto sucede en finos. Pero estos minerales se van a recuperar en la planta concentradora en la sección de rougher en las celdas primera y segunda ya que han sido acondicionadas.

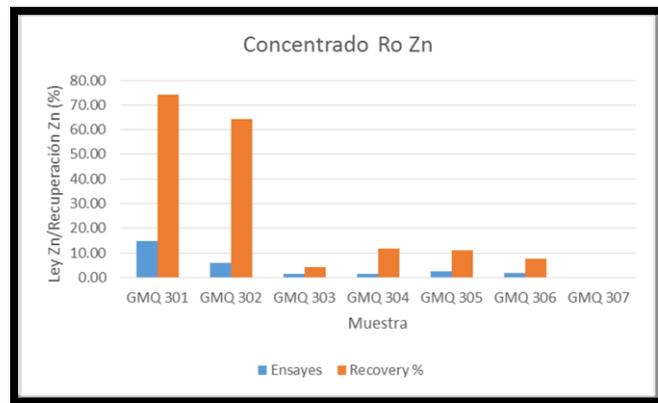
Figura N° 3.6: Concentrado de plomo gruesos



Fuente: Elaboración propia

Leyes bajas y altas recuperaciones en el plomo grueso (rougher).

Figura N° 3.7. Concentrado de zinc en grueso



Fuente: Elaboración propia

Las leyes del zinc es baja o controlada las recuperaciones son altas en las muestras GMQ301, GMQ302, mientras que en las otras muestras las leyes y la recuperaciones son muy bajas se tiene que observar que mineral está absorbiendo los reactivos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

A solicitud del Ing. David Malqui, Departamento de Planeamiento Mina, en la cuarta semana de Junio del 2018 se recibió en el laboratorio de metalurgia 05 sacos de mineral, con la codificación e identificación siguiente:

- Celda 9, Compósito 1
- Celda 9, Compósito 2
- Celda 11, Compósito 1
- Celda 11, Compósito 2
- Celda 11, Compósito 3

El propósito de las muestras es la identificación de la confiabilidad y viabilidad de tratamientos por los procesos metalúrgicos en las concentradoras de nuestra unidad; así mismo para la ejecución de las pruebas metalúrgicas, se realizaron los ensayos químicos a las cabezas de los compositos enviados y luego con la identificación de dichas leyes se viabiliza las pruebas metalúrgicas de flotación a condiciones estándar para determinar su comportamiento metalúrgico.

Todas las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio son referenciales para el escalamiento y vitalización de tratamiento a nivel industrial, considerando características de mineral (sulfuros) y leyes de cabezas referenciales económicas.

Para asemejarse al proceso industrial el mineral es deslamado (secciones de arcilla por lavado de mineral) y luego las pruebas se realizaron con la fracción gruesa (+635M).

4.1.1. Ensayo de cabeza

Recibida las muestras del departamento de geología, hacemos un compósito para obtener una muestra representativa de cada una de las muestras para realizar el ensayo correspondiente como sigue:

Tabla N° 4.1: leyes de cabeza de las diferentes muestras

Muestra	Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	PbO %	ZnO %
Cabeza Celda 9 – Compósito 1	3,80	1,54	1,53	0,41	10,45	0,58	0,17
Cabeza Celda 9 – Compósito 2	2,76	1,43	1,28	0,69	10,54	0,82	0,14
Cabeza Celda 11 – Compósito 1	1,61	0,42	1,10	0,60	7,75	0,10	0,15
Cabeza Celda 11 – Compósito 2	3,17	0,79	1,98	0,84	8,25	0,27	0,18
Cabeza Celda 11 – Compósito 3	2,16	0,61	2,00	0,59	8,50	0,18	0,23

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Resultados

Los compósitos de las celdas 9 y 11, presentan:

- Variabilidad en su concentración de Ag y con seccionamiento de sulfosales de plata.
- Presencia de concentraciones del mineral de Cu, en las secciones polimetálicas Pb y Zn, esto con la presencia de sulfosales puede disminuir la flotabilidad.
- El contenido de PbO y ZnO en promedio es 37% y 11% de ZnO

En estas muestras se observa contenidos de cobre como sulfuro y parte como óxido (al plateo) este último podría afectar considerablemente en la activación del Zn en el circuito de plomo y los sulfuros podrían afectar al concentrado de plomo bajándole su calidad y su recuperación ya que se tendrá zinc en plomo. El cobre estará presente en el plomo y en el zinc debido a que al activar el zinc en su circuito arrastrará cobre.

4.1.3. Resultado de las pruebas

Los resultados de las pruebas de flotación se

muestran a continuación (Balance Proyectado):

Tabla N° 4.2: Pruebas de flotación proyectado

Muestra	Peso %	Ensayes					Recuperación %				
		Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Celda 9 Comp 1	0,5	76,9	50,2	7,5	4,1	10,0	26,4	19,3	2,3	5,1	0,4
Celda 9 Comp 2	0,4	72,6	43,0	4,3	7,1	9,6	25,7	15,7	1,1	4,2	0,3
Celda 11 Comp 1	1,7	27,5	17,9	4,1	3,8	14,3	43,4	56,8	6,6	10,9	3,1
Celda 11 Comp 2	1,1	55,0	25,0	7,3	6,8	16,7	44,6	57,9	4,0	14,7	2,4
Celda 11 Comp 3	1,1	31,6	26,0	5,9	5,0	12,7	37,7	46,7	3,1	10,6	1,7

Fuente: elaboración propia

Interpretación

- La celda 9, presenta buena concentración en Ag y Pb, pero bajo % Recuperación por la alta alteración de óxidos de plomo (40% a 50%) y sulfosales de plata.
- La celda 11, tienen menor concentración de calidad en los concentrados Ag y Pb, pero mayor % recuperación; el efecto negativo de esta muestra se debe principalmente a la presencia de Cu, que para una mejor selectividad requiere un alto grado de molienda, por lo cual requiere una molienda fina ($\pm 50\mu$).
- Durante la prueba se presentó activación masiva de pirita, pero a nivel Ro I-Zn estaría en promedio de 60%.

4.1.4. Desarrollo experimental

Preparación y lavado de muestra.- Previo a las pruebas de flotación se realizó el lavado (malla de referencia 635M) y preparación de cada una de las

muestras donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 4.3: Balance metalúrgico de Flotación Mineral Grueso

Muestra	Producto Recuperación	Peso %	Ensayes								
			Ag oz/tm %	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	Zn	Cu	Fe	
Celda 9	Conc. Pb	0,5	76,9	50,2	7,5	4,1	10,0	10,3			
14,6	2,3	5,1	0,4								
Compósito 1	Conc. Ro Pb	13,3	13,4	2,7	5,4	1,7	16,6	52,7	22,8	47,7	
62,7	21,1										
	Conc. Ro Zn	7,3	5,7	1,5	1,7	0,5	11,2				
		12,4	6,8	8,5	9,3				7,8		
	Relave	79,3	1,5	1,4	0,8	0,1	9,4	34,9	70,4	43,9	
		27,9	71,1								
Celda 9	Conc. Pb	0,4	72,6	43,0	4,3	7,1	9,6	9,7			
11,1	1,1	4,2	0,3								
Compósito 2	Conc. Ro Pb	12,3	11,0	2,0	5,2	3,8	13,7	51,5	18,5	47,3	
76,9	15,2										
	Conc. Ro Zn	7,4	5,7	1,8	2,7	0,5	11,2	16,2	9,8		
		14,9	5,8	7,5							
	Relave	80,3	1,1	1,2	0,6	0,1	10,7	32,4	71,7	37,7	
		17,3	77,4								
Celda 11	Conc. Pb	1,7	27,5	17,9	4,1	3,8	14,3	32,7	55,0	6,6	
10,9	3,1										
Compósito 1	Conc. Ro Pb	18,7	6,7	2,1	2,9	2,2	23,0	86,9	71,0	50,0	
67,5	54,5										
	Conc. Ro Zn	6,5	1,1	0,5	4,0	0,6	9,0	4,8	6,1		
		24,2	6,5	7,4							
	Relave	74,8	0,2	0,2	0,4	0,2	4,0	8,3	22,9	25,8	
		26,0	38,1								
Celda 11	Conc. Pb	1,1	55,0	25,0	7,3	6,8	16,7	28,8	46,6	4,0	
14,7	2,4										
Compósito 2	Conc. Ro Pb	18,3	10,7	2,4	3,3	1,8	24,0	89,2	72,4	28,7	

62,9	54,8										
		Conc. Ro Zn	6,5	1,1	0,5	9,9	0,6	9,0	3,2	5,5	
			31,2	7,4	7,3						
		Relave	75,2	0,2	0,2	1,1	0,2	4,0	7,6	22,1	40,1
			29,7	37,9							
Celda 11		Conc. Pb	1,1	31,6	26,0	5,9	5,0	12,7	17,6	43,6	3,1
10,6			1,7								
Compósito 3		Conc. Ro Pb	29,0	5,0	1,3	3,0	1,3	12,7	75,5	58,4	42,7
72,0	46,0										
		Conc. Ro Zn	14,4	2,1	0,6	3,0	0,6	7,0	15,4	13,4	21,0
			15,8	12,6							
		Relave	56,6	0,3	0,3	1,3	0,1	5,9	9,1	28,2	36,3
			12,2	41,5							

**Fuente:
Elaboración
propia**

4.2. Presentacion, analisis e interpretacion de resultados

Geología envía muestras de Marcapunta que es mineral de cobre para iniciar el proceso de investigación desde la sección de chancado encontrando material fino (arcillas), el cual debe ser a la sección de lavado para minimizar este contenido en el material investigado.

4.2.1. Chancado de cobre

El departamento de geología en la reunión diaria da a conocer que se va a explotar una sección en Marcapunta y que es necesario realizar pruebas de geometalurgia para analizar el tamaño de partícula. El tonelaje húmedo diario procesado durante la presente semana en la Planta de Chancado de Cu, así como su proporción de material económico y marginal y las leyes de cabeza reportadas por Geología fueron:

Tabla N° 4.4: Ley de cabeza del tipo de yacimiento

Fecha	TMH Chancado	GEOLOGÍA			
		Económico (%)	Marginal (%)	Ley Cu (%)	Ley Fe (%)
04/06/18	7 800	40	60	2,11	16,94
05/06/18	7 175	36	64	2,08	16,95
06/06/18	6 550	29	71	2,11	15,93
07/06/18	2 450	29	71	2,11	15,93
08/06/18	3 550	27	73	2,11	16,02
09/06/18	2 950	25	75	2,12	16,23
10/06/18	8 125	25	75	2,12	16,23
Total	38 600	31	69	2,10	16,42

Fuente: Elaboración propia

Respecto al tonelaje seco alimentado diariamente a los molinos primarios de la Planta Concentradora N° 01, así como sus leyes promedio durante la semana fueron:

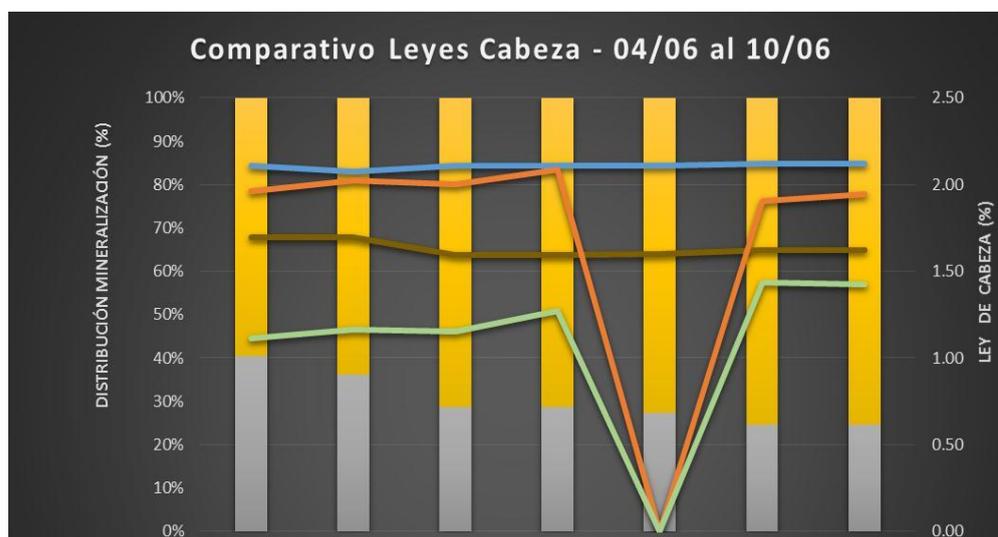
Tabla N° 4.5: Leyes de cabeza promedio a la semana

Fecha	TMS Planta 1	Cabeza Cu (%)	Cabeza Fe (%)
04/06/18	7,634	1,96	11,12
05/06/18	8,044	2,20	11,62
06/06/18	7,557	2,00	11,54
07/06/18	538	2,09	12,73
08/06/18	0	0,00	0,00
09/06/18	1,317	1,90	14,37
10/06/18	5,601	1,95	14,24
Total	30,691	1,98	12,09

Fuente: Elaboración propia

Realizando un comparativo entre las leyes de cabeza reportadas por Geología y Planta, tenemos:

Figura N° 4.1: Leyes de cabeza comparativo durante la semana



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Marginal (%)	60	64	71	71	73	75	75
Económico (%)	40	36	29	29	27	25	25
Ley Cu Geo (%)	2,11	2,08	2,11	2,11	2,11	2,12	2,12
Ley Fe Geo/10 (%)	1,69	1,70	1,59	1,59	1,60	1,62	1,62
Cabeza Cu (%)	1,96	2,02	2,00	2,09	0,00	1,90	1,95
Cabeza Fe/10 (%)	1,11	1,16	1,15	1,27	0,00	1,44	1,42

Fuente: Elaboración propia

OBSERVACIÓN: Con fines de mejor visualización de las cabezas en la gráfica, se ha considerado trabajar con la ley de Fe dividida entre 10.

4.2.2. Flotación de cobre

El departamento de metalurgia coordina con los ingenieros para llevar a cabo el proceso de investigación y manifiesta que

se debe de tener presente la dosificación de reactivos y tamaño de partícula. En especial se debe tener cuidado en el tamaño de espuma.

Por otro lado, se ha recogido muestras a las 7 am y 7 pm todos los días de las celdas de flotación con la finalidad de ser analizados en el laboratorio, los resultados metalúrgicos diarios obtenidos en la flotación de Cu durante la semana fueron:

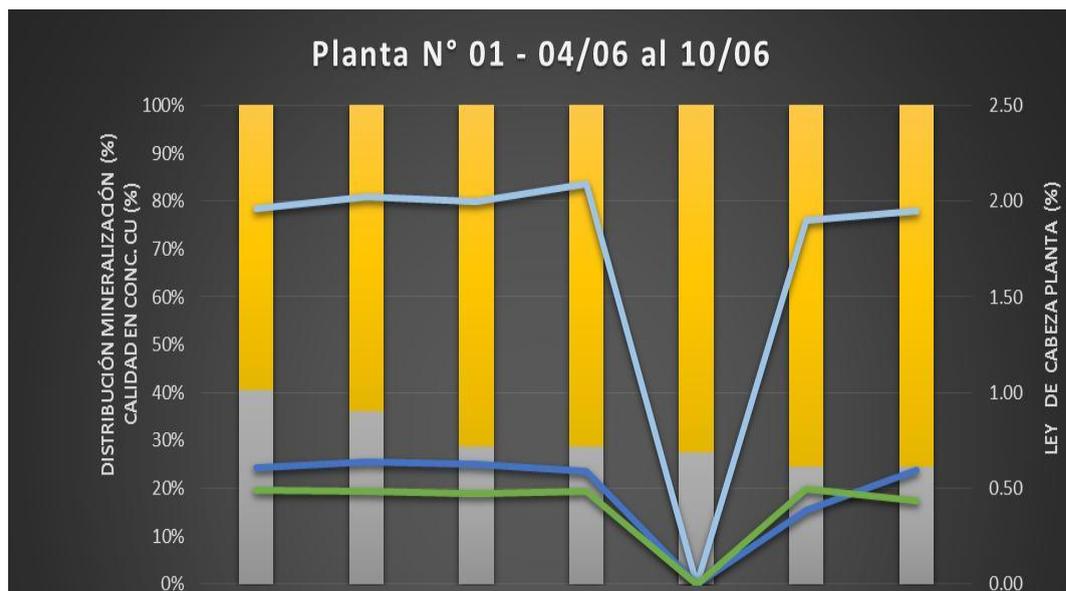
Tabla N° 4.6: Flotación de cobre calidad y recuperación en la semana

Fecha	TMS Conc. Cu	Rec Cu (%)	Calidad Cu (%)	Calidad Fe (%)
04/06/18	588	95,46	24,31	19,70
05/06/18	613	96,03	25,49	19,29
06/06/18	580	96,22	25,08	18,88
07/06/18	45	94,79	23,63	19,44
08/06/18	0	0,00	0,00	0,00
09/06/18	153	94,04	15,42	19,82
10/06/18	436	95,24	23,82	17,42
Total	2,414	95,69	24,13	18,99

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Figura N° 4.2: Leyes de cabeza, calidad y recuperación de cobre



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Marginal (%)	60	64	71	71	73	75	75
Económico (%)	40	36	29	29	27	25	25
Cabeza Cu (%)	1,96	2,02	2,00	2,09	0,00	1,90	1,95
Calidad Cu (%)	24,31	25,49	25,08	23,63	0,00	15,42	23,82
Calidad Fe(%)	19,70	19,29	18,88	19,44	0,00	19,82	17,42
Recuperación Cu (%)	95,46	96,03	96,22	94,79	0,00	94,04	95,24

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Comentarios

Chancado Cu:

- Durante la semana se chancaron 38 600 TMH con una proporción promedio en mineral económico y marginal de 31% y 69% respectivamente y ley de cabeza promedio reportada por geología de 2,10% en Cu y 16,42% en Fe.
- Por otro lado, el mineral alimentado a Planta 1 presenta una ley cabeza promedio de 1,98% en Cu y 12,09% en Fe, comparada con la ley de geología presenta una variación de - 6,10% en Cu y – 35,77% en Fe.
- Se sigue observando variación entre ley de cabeza reportada por geología y Planta 1, esto se debe al desfase que hay entre mineral chancado y alimentado a molienda. Sin embargo, cabe resaltar que durante esta semana las variaciones en Cu y Fe son elevadas.

Flotación de Cu

- Al 10 de junio como promedio mensual de lo procesado por planta 1 se tiene:

- **Ley de cabeza**

- Cu: 2,00% (117 % del forecast: 1,71%).
 - As: 0,65% (114% del forecast: 0,57%).
 - Ag: 0,63 oz/TM (103% del forecast: 0,61 oz/TM).
 - Au: 0,60 g/TM (113% del forecast: 0,53 g/TM).

- **Recuperación**

- Cu: 95,75% (103% del forecast: 93,24%).
 - As: 96,33% (101% del forecast: 95,03%).
 - Ag: 67,53% (103% del forecast: 65,41%).
 - Au: 58,15% (103% del forecast: 56,20%).

- **Calidad**

- Cu: 24,97% (96% del forecast: 26,00%)
 - As: 8,12% (92% del forecast: 8,83%)
 - Ag: 5,57 oz/TM (86% del forecast: 6,50 oz/TM)
 - Au: 4,10 g/TM (98% del forecast: 4,17 g/TM)

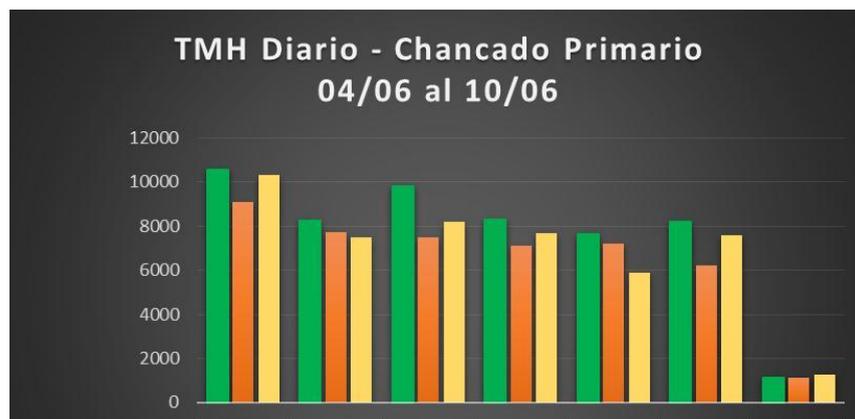
- Durante la semana Planta 01 procesó 30 691 TMS de mineral, obteniéndose 2 414 TMS de concentrado con una recuperación promedio de Cu de 95,69%, y una calidad de concentrado promedio de 24,13% en Cu y 18,99% en Fe.
- Durante toda la semana las recuperaciones de Cu obtenidas son mayores al 94%.

- Como todas las semanas, se sigue observando la relación inversa existente entre la calidad de Cu y Fe en el concentrado final, por lo que es de suma importancia controlar las etapas cleaner en la flotación.

4.2.4. Chancado – lavado

A continuación se muestra el tonelaje húmedo diario (considerando guardia de mina: de 07:00 a.m. a 07:00 p.m. del día siguiente) procesado por Planta de Chancado – Lavado y registrado por Procesos (balanza de la Faja 2A), Topografía Superficial (levantamiento topográfico) y Operaciones Mina (conteo de camiones).

Figura N° 4.3: Tratamiento diario sección chancado primario

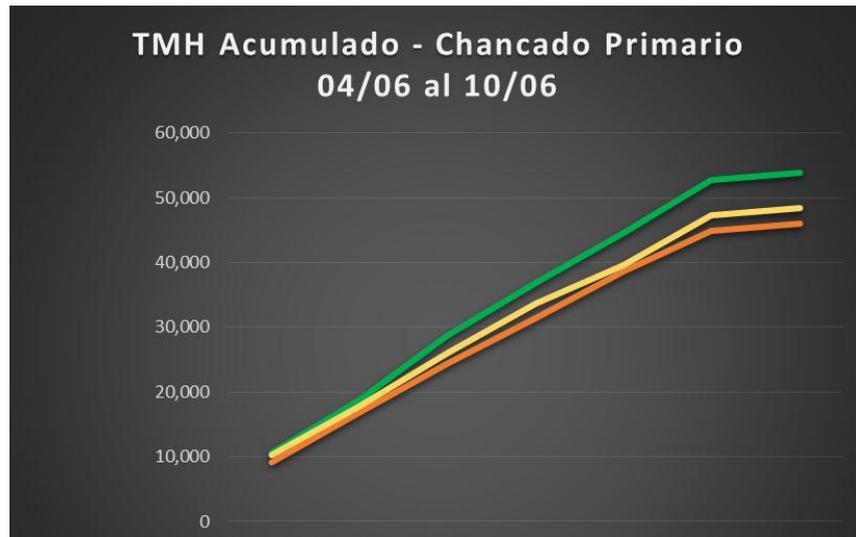


	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Faja 2	10 563	8 226	9 817	8 310	7 625	8 199	1 121
Topografía	9 084	7 739	7 508	7 121	7 213	6 214	1 136
Mina (camiones)	10 320	7 500	8 220	7 680	5 910	7 590	1 260

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica se muestra el comparativo de los tres registros de tonelajes húmedos diarios mencionados líneas arriba de manera acumulativa durante la semana:

Figura N° 4.4: Tratamiento en toneladas métricas húmedas sección chancado

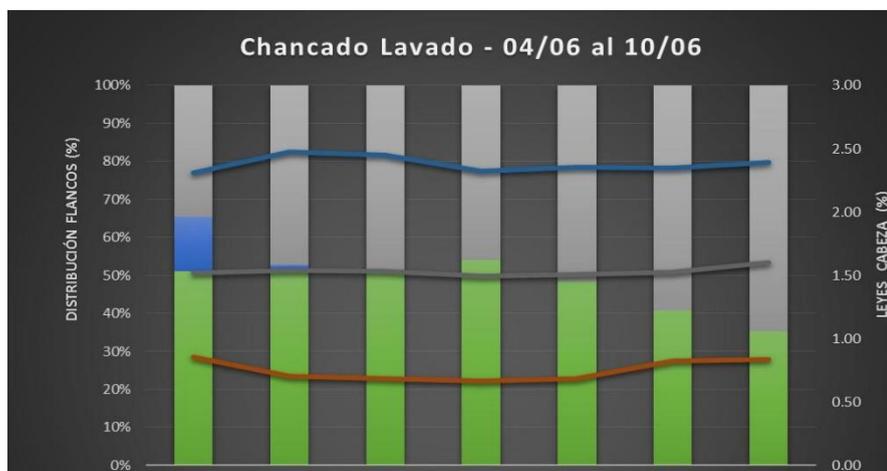


	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Faja 2	10 563	18 789	28 606	36 916	44 541	52 740	53 861
Topografía	9 084	16 823	24 332	31 453	38 666	44 880	46 016
Mina (camiones)	10 320	17 820	26 040	33 720	39 630	47 220	48 480

Fuente: Elaboración propia

La distribución por flancos del mineral alimentado diariamente (considerando guardias de Planta) al Chancado Primario durante la semana y las leyes de cabeza promedio reportada por geología fueron:

Figura N° 4.5: Leyes de cabeza en la sección chancado lavado



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Zinc	2,31	2,47	2,45	2,32	2,35	2,35	2,39
Plomo	0,86	0,70	0,68	0,67	0,68	0,83	0,84
Fe/10	1,52	1,54	1,53	1,49	1,51	1,53	1,60

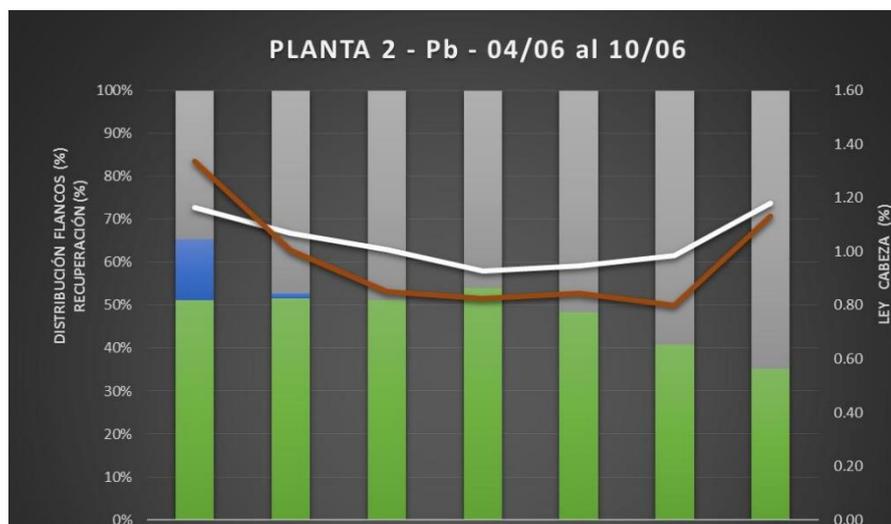
Fuente: Elaboración propia

OBSERVACIÓN: Con fines de mejor visualización de las cabezas en la gráfica, se ha considerado trabajar con la ley de Fe dividida entre 10.

4.3.5. Flotación de Pb/Zn

Durante la semana se ha estado alimentando a molienda primaria el mineral fresco del stacker. Por ello, haciendo el comparativo entre la distribución por flancos del mineral alimentado con los resultados metalúrgicos obtenidos en los distintos circuitos de flotación (Planta 2, Planta de Finos y Planta de Lamas) se obtuvo:

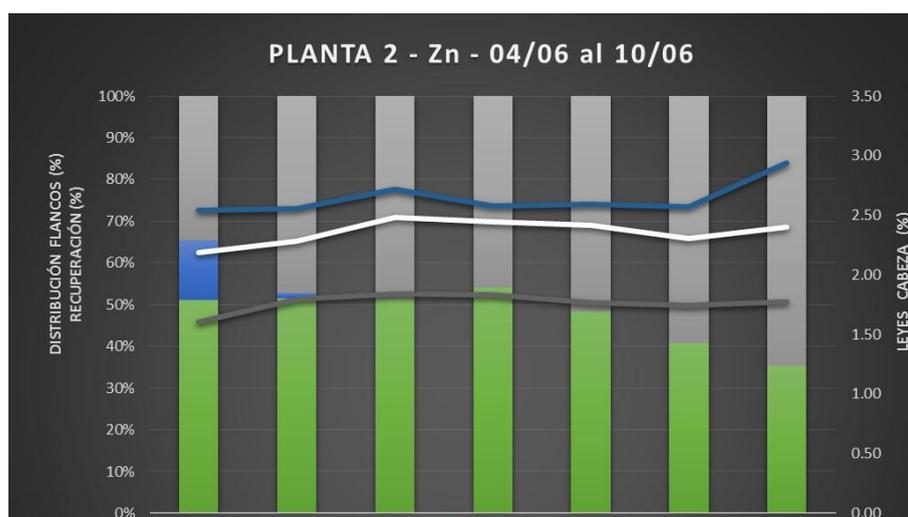
Figura N° 4.6: Leyes de cabeza y recuperación de Pb



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Pb	72,75	66,76	62,90	58,04	59,26	61,53	73,83
Plomo	1,34	1,01	0,85	0,83	0,84	0,80	1,13

Fuente: Elaboración propia

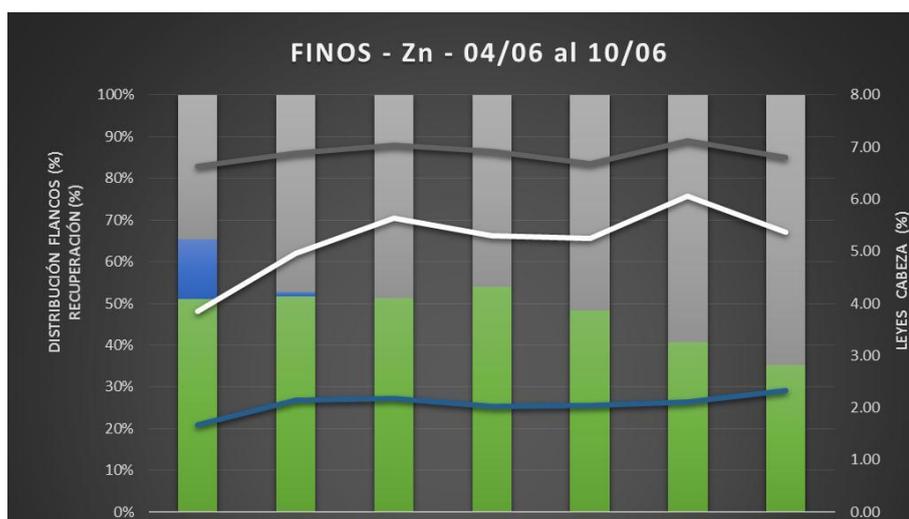
Figura N° 4.7: Leyes de cabeza y recuperación de Pb



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Zinc	62,54	65,25	71,02	69,92	68,93	65,86	68,68
Zinc	2,54	2,56	2,72	2,58	2,59	2,57	2,94
Fe/10	1,60	1,79	1,84	1,83	1,77	1,74	1,78

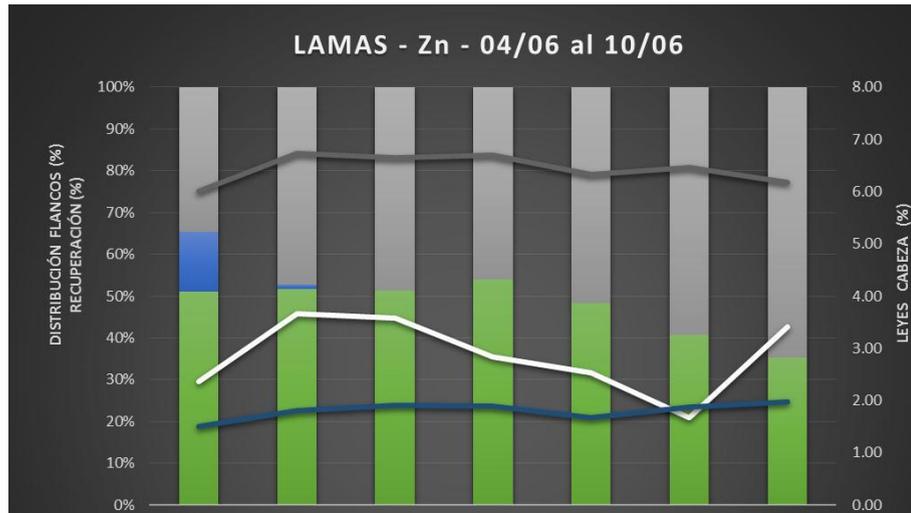
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.8: Flotación de finos de zinc



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Zinc	48,05	61,98	70,48	66,23	65,55	75,64	67,03
Zinc	1,67	2,15	2,17	2,03	2,04	2,12	2,33
Fe/10	6,63	6,88	7,03	6,93	6,69	7,13	6,80

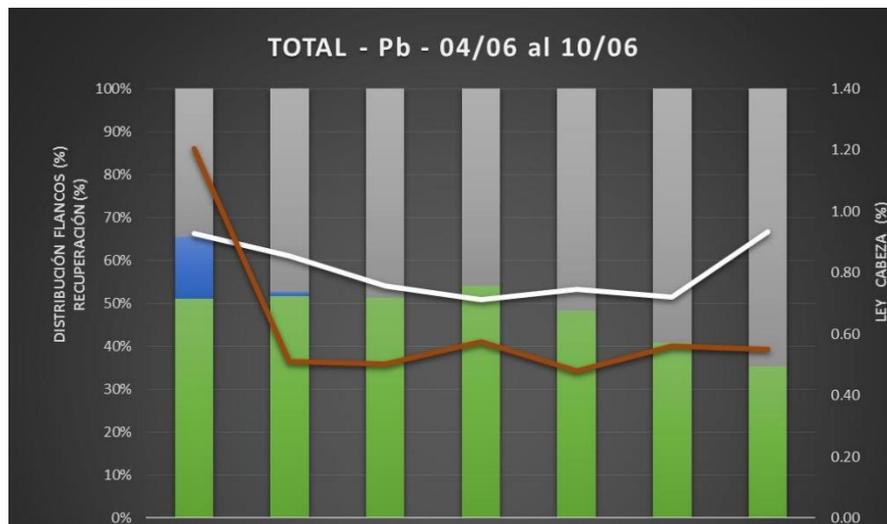
Tabla N° 4.9: Flotación de zinc en lamas



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Zinc	29,61	45,78	44,76	35,37	31,76	21,03	42,62
Zinc	1,51	1,81	1,91	1,89	1,67	1,87	1,98
Fe/10	6,01	6,73	6,65	6,70	6,32	6,46	6,17

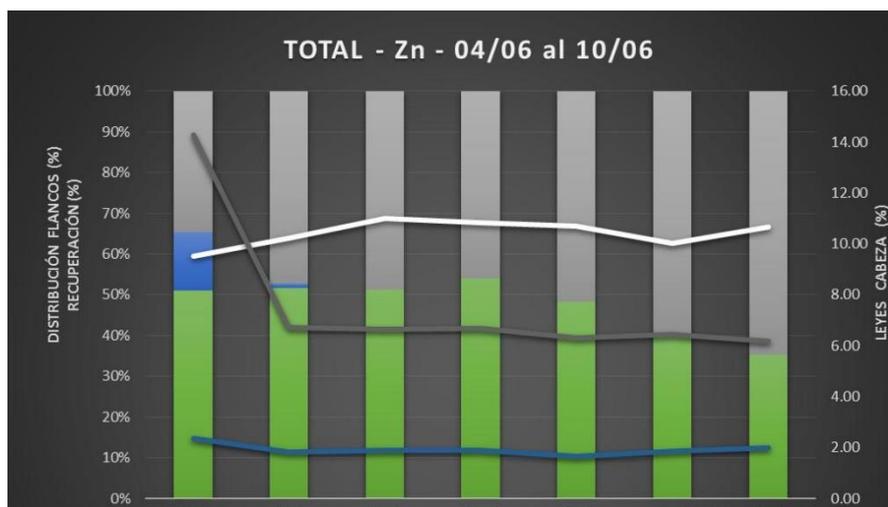
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.10: Flotación de plomo



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Pb	66,17	61,08	53,98	50,94	53,23	51,42	66,58
Plomo	1,20	0,51	0,50	0,57	0,48	0,56	0,55

Figura N° 4.11: Flotación de zinc



	04/06/18 (%)	05/06/18 (%)	06/06/18 (%)	07/08/18 (%)	08/06/18 (%)	09/06/18 (%)	10/06/18 (%)
Chacayoc	35	47	49	46	5,2	59	65
La Llave	0	0	0	0	0	0	0
La Pampa	14	1	0	0	0	0	0
Stock	51	52	51	54	48	41	35
Recuperación Zinc	59,58	63,86	68,71	67,62	66,87	62,57	66,75
Zinc	2,37	1,81	1,91	1,89	1,67	1,87	1,98
Fe/10	14,26	6,73	6,65	6,70	6,32	6,46	6,17

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Comentarios

Chancado – Lavado

- Comparando tonelajes húmedos reportados diariamente (7am a 7pm) se observa que salvo los días 05, 08 y 10 de junio lo reportado por Mina es más cercano a lo registrado en la balanza de la faja 2.

Tabla N° 4.7: Toneladas diarias reportado por mina

Fecha	Diario	
	F2 vs Topo %	F2 vs Mina %
04/06/18	14,00	2,30
05/06/18	5,92	8,82
06/06/18	23,52	16,27
07/06/18	14,30	7,58
08/06/18	5,41	22,49
09/06/18	24,20	7,42
10/06/18	-1,30	-12,36

- Las variaciones de tonelaje húmedo acumulado diariamente (7 am a 7 pm) en la semana reportado por Topografía y Mina (cuenta camiones) respecto a faja 2 son:

Tabla N° 4.8: Tonelaje húmedo de topografía y mina

Fecha	Acumulado	
	F2 vs Topo %	F2 vs Mina %
04/06/18	14,00	2,30
05/06/18	10,46	5,16
06/06/18	14,94	8,97
07/06/18	14,80	8,66
08/06/18	13,19	11,03
09/06/18	14,90	10,47
10/06/18	14,56	9,99

Fuente: Elaboración propia

- Al final de semana la variación entre Faja 2 y Mina es menor (9,99%) a la variación entre Faja 2 y Topografía (14,56%).
- Cabe resaltar, desde que se está presentando el actual reporte, la variación entre Faja 2 y Mina era menor al 5%, sin embargo, en las últimas tres semanas estos valores han sido mayores (11,89%, 8,43% y 9,99%). Por otro lado, el rango de valores de la variación entre Faja 2 y Topografía es muy amplio, esto se debe a que Topografía siempre una densidad de 2,1 para cualquier mineral del

Tajo independientemente de su mineralogía.

- Considerando guardias de Planta, durante la semana se abasteció 55522 TMH a Chancado Primario con una distribución promedio por flancos de:
 - Chocayoc: 48 %
 - La Pampa: 3 %
 - Stock: 49 %

Además las leyes de cabeza promedio alimentadas a Chancado Primario según lo reportado por geología fueron:

- Pb: 0,74 %
- Zn: 2,38 %
- Ag: 0,81 oz/ton
- Fe: 15,23 %

4.3. Prueba de hipótesis

- Desde el 07 de mayo en la guardia "A" el molino 20 x 30 salió de operación, por lo que actualmente solo se tiene como molienda primaria al molino 9 ½ x 14.
- Al 10 de junio como promedio mensual de lo procesado por planta

2 se tiene:

- **Ley de cabeza**

- Ag: 1,23 oz/TM (97% del forecast: 1,27 oz/TM)
- Pb: 1,00 % (98% del forecast: 1,02%)
- Zn: 2,39 % (96% del forecast: 2,48%)

- **Concentrado Pb**
 - Ag: 46,96 oz/TM (76 % del forecast: 62,13 oz/TM).
 - Pb: 45,44 % (95 % del forecast: 48,00%).
 - Rec Ag: 47,81 % (112% del forecast: 42,65%).
 - Rec Pb: 57,18 % (140% del forecast: 40,92%).
- **Concentrado Zn**
 - Ag: 10,45 oz/TM (148 % del forecast: 7,08 oz/TM).
 - Zn: 48,39 % (97 % del forecast: 50,00%).
 - Rec Ag: 26,31 % (162% del forecast: 16,23%).
 - Rec Zn: 62,75 % (107% del forecast: 58,53%).
- Se procesó 39,962 TMS en Planta 2 cuyas recuperaciones promedio obtenidas durante la semana fueron:
 - Pb: 65,19 %
 - Ag en Pb: 48,32 %
 - Zn: 67,18 %
 - Ag en Zn: 30,81 %
- Se procesó 4164 TMS en Planta de Finos cuyas recuperaciones promedio obtenidas durante la semana fueron:
 - Zn: 65,66 %
 - Ag: 34,42 %
- Se procesó 4677 TMS en Planta de Lamas cuyas recuperaciones promedio obtenidas durante la semana fueron:
 - Zn: 34,43 %
 - Ag: 19,92 %

En los circuitos de Finos y Lamas se observa que a mayor ley de Fe en la cabeza se verá afectada la recuperación de Zn.

La segunda semana de Junio del 2017 se recibió en el laboratorio de metalurgia 06 muestras de mineral signadas de la siguiente manera:

Tabla N° 4.9: Muestras de mineral recibidas de Geología

N° Muestra	Fecha	Flanco	Tipo de Muestra	Este	Norte	Nivel	Descripción
GMQ301	29/05/2018	La Pampa	FM	361505	8811755	4256	Zona mineral de 40 m
GMQ302	30/05/2018	Chocayoc N	FM	361675	8811605	4150	Zona mineral de 25 m
GMQ303	03/06/2018	Chocayoc N	FM	361510	8812004	4276	Zona mineral de 25m
GMQ304	05/06/2018	Chocayoc S	FM	361626	8811134	4304	Zona mineral de 35 m
GMQ305	06/06/2018	La Llave	FM	361810	8811760	4270	Zona mineral de 30 m
GMQ306	07/06/2018	Mercedes	FM	361560	8811060	4280	Zona mineral de 30 m
GMQ307	07/06/2018	Principal	FM	360758	8810835	4300	Zona mineral de 30 m

Fuente:
Elaboración propia

Las muestras fueron enviadas por el Ing. Jorge Zapata en coordinación con el Ing. Iván Huallpayunca del departamento de geología. El propósito de las muestras es ensayar las cabezas de cada una de ellas y luego realizar pruebas de flotación a condiciones estándar para determinar su comportamiento metalúrgico. Para asemejarse al proceso en planta el mineral se tuvo que lavar previamente y las pruebas se realizaron con la fracción gruesa (+635M).

4.3.1. Ensayo de cabeza

Una muestra representativa de cada una de las muestras ensaya como sigue:

Tabla N° 4.10: Cálculo de la ley de cabeza

N° Muestra	Flanco	Ensayes							
		Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	PbO %	ZnO %	S %
GMQ301	La Pampa	0,29	0,91	3,95	<0,01	20,38	0,14	0,05	---
GMQ302	Chocayoc N	0,12	0,52	2,32	<0,01	18,02	0,10	0,07	---
GMQ303	Chocayoc N	1,84	2,11	1,20	0,06	23,23	1,03	0,06	0,13
GMQ304	Chocayoc S	1,04	1,19	1,63	<0,01	16,95	0,34	0,09	1,71
GMQ305	La Llave	0,41	1,47	2,78	<0,01	33,20	0,12	0,15	0,39
GMQ306	Mercedes	3,27	1,38	1,45	<0,01	12,37	0,50	0,08	3,01
GMQ307	Principal	1,24	0,48	0,06	0,04	13,32	0,17	0,01	0,68

Fuente:
elaboración propia

Los datos muestran que la plata varía su valor de 0,12 a 3,27 oz/tm siendo el de más valor el flanco mercedes, el plomo varía de 0,48% a 2,1% y el zinc varía de 0,06% a 3,95%.

El contenido de PbO es variable llegando hasta un 50% de Pb Total.

4.3.2. Resultado de las pruebas

Los resultado de las pruebas de flotación se muestra a continuación (Balance Proyectado):

Tabla N° 4.11: Balance metalúrgico para cada muestra

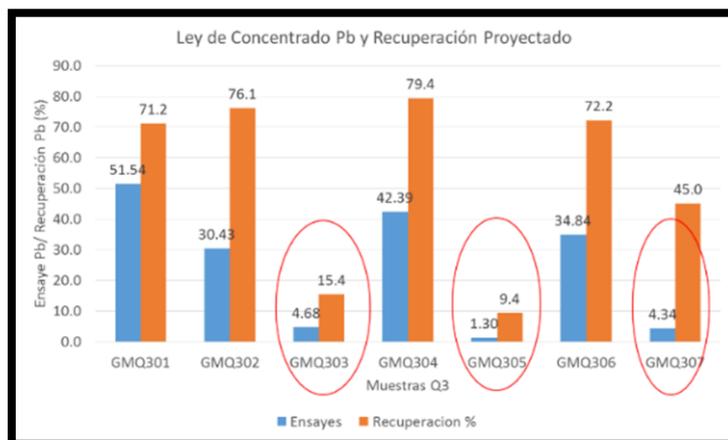
Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación %		
			Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ301	Conc. Pb	1,2	9,97	51,54	2,92	44,7	71,2	0,9
F. La Pampa	Conc. Zn	8,8	0,80	0,66	31,50	22,2	7,0	71,3
	Relave	69,4	0,03	0,20	1,03	33,0	21,8	27,9
GMQ302	Conc. Pb	1,3	1,60	30,43	2,37	26,2	76,1	1,4
F. Chocayoc N	Conc. Zn	4,1	0,83	0,62	30,80	28,1	7,0	61,7
	Relave	56,1	0,07	0,10	0,78	45,8	16,9	36,9
GMQ303	Conc. Ro Pb	7,0	5,61	4,68	1,37	21,8	15,4	8,2
F. Chocayoc N	Conc. Ro Zn	3,6	2,69	2,03	1,36	5,4	3,4	4,2
	Relave	89,5	1,46	1,93	1,14	72,8	81,2	87,6
Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación %		
			Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ304	Conc. Pb	2,2	21,43	42,39	25,83	46,7	79,4	33,8

F. Chocayoc S	Conc. Ro Zn	12,0	1,17	0,38	1,60	15,2	3,8	11,7
	Relave	72,0	0,23	0,21	0,49	38,1	16,8	54,6
GMQ305	Conc. Ro Pb	11,1	1,04	1,30	2,45	22,7	9,4	9,6
F. La Llave	Conc. Ro Zn	12,2	0,49	1,32	2,55	11,9	10,5	11,0
	Relave	76,8	0,43	1,59	2,93	65,4	80,0	79,4
GMQ306	Conc. Pb	2,5	178,69	34,84	24,21	61,1	72,2	41,0
F. Mercedes	Conc. Ro Zn	6,3	3,25	0,98	1,84	3,6	4,5	7,7
	Relave	81,8	0,64	0,33	0,41	35,3	23,4	51,3
GMQ307	Conc. Ro Pb	1,5	27,30	4,34	1,20	40,3	45,0	
F. Principal	Relave	98,5	0,85	0,22	0,05	59.,7	55,0	

Fuente: Elaboración propia

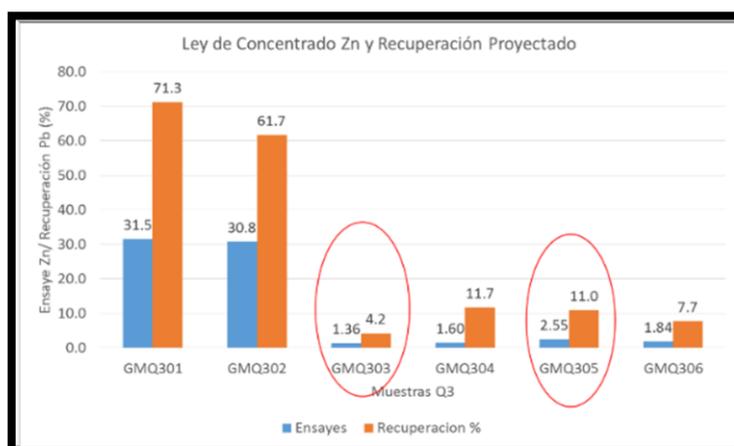
Los datos muestran que las muestra GMQ301, GMQ302, GMQ304 y GMQ306 presentan una buena flotabilidad de plomo y plata y las muestras GMQ301 y GMQ302 presentan una buena flotabilidad de zinc y la muestra GMQ304 y GMQ306 flotabilidad de zinc parcial.

Figura N° 4.12: Ley de concentrado de plomo y recuperación proyectada



Fuente: elaboración propia

Figura N° 4.13 Ley de concentrado de zinc y recuperación proyectada



Fuente: elaboración propia

En el caso de GMQ 304 hay desplazamiento de Zn al concentrado de Pb. Se recomienda en lo posible evitar el envío de los frentes GMQ303, GMQ305 y GMQ 307 a planta por su negativa frente al proceso de flotación actual y el contenido

4.4. Discusión de resultados

Preparación y lavado de muestra.- Previo a las pruebas de flotación se realizó el lavado (malla de referencia 635M) y preparación de cada una de las muestras donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 4.12: Distribución Mineral lavado

N° Muestra	Flanco	Peso Kg			Peso en %		
		Grueso (+635M)	Fino (-635M)	Total	Grueso (+635M)	Fino (-635M)	Total
GMQ301	La Pampa	15,1	5,5	20,6	73,3	26,7	100,0
GMQ302	Chocayoc N	38,0	5,6	43,6	87,2	12,8	100,0
GMQ303	Chocayoc N	20,3	2,1	22,4	90,8	9,2	100,0
GMQ304	Chocayoc S	20,2	1,6	21,7	92,8	7,2	100,0
GMQ305	La Llave	15,3	2,6	17,9	85,5	14,5	100,0
GMQ306	Mercedes	21,1	0,2	21,3	99,3	0,7	100,0
GMQ307	Principal	20,2	0,4	20,6	97,9	2,1	100,0

Fuente: elaboración de propia

En promedio el % finos (-635M) es 10%

Tabla N° 4.13: Pruebas de Flotación

Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación		
			% A oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ301 F. La Pampa	Conc. Pb	1,2	9,97	51,54	2,92	40,1	65,2	0,9
	Conc. Ro Pb	10,7	1,73	6,45	2,93	63,9	75,0	7,8
	Conc. Zn	8,8	0,80	0,66	31,50	24,2	6,3	69,1
GMQ302 F. Chocayoc N	Conc. Ro Zn	19,9	0,41	0,46	14,90	27,8	10,0	74,2
	Relave	69,4	0,03	0,20	1,03	8,3	15,1	17,9
	Conc. Pb	1,3	1,60	30,43	2,37	14,5	72,0	1,4
GMQ302 F. Chocayoc N	Conc. Ro Pb	19,6	0,28	2,31	1,95	37,4	80,1	16,7
	Conc. Zn	4,1	0,83	0,62	30,80	22,9	4,5	54,6
	Conc. Ro Zn	24,3	0,21	0,23	6,09	35,1	10,0	64,3
	Relave	56,1	0,07	0,10	0,78	27,5	9,9	19,0

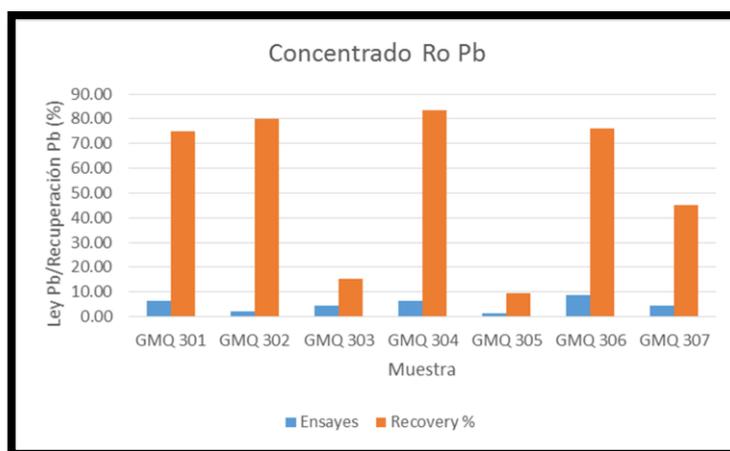
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.14: Pruebas de Flotación (cont.)

Muestra	Producto	Peso %	Ensayes			Recuperación %		
			Ag oz/tm	Pb %	Zn %	Ag	Pb	Zn
GMQ303	Conc. Ro Pb	7,0	5,61	4,68	1,37	21,8	15,4	8,2
F. Chocayoc N	Conc. Ro Zn	3,6	2,69	2,03	1,36	5,4	3,4	4,2
	Relave	89,5	1,46	1,93	1,14	72,8	81,2	87,6
	Conc. Pb	2,2	21,43	42,39	25,83	50,0	76,2	33,8
GMQ304	Conc. Ro Pb	15,9	3,87	6,28	6,92	66,7	83,6	66,9
F. Chocayoc S	Conc. Ro Zn	12,0	1,17	0,38	1,60	15,2	3,8	11,7
	Relave	72,0	0,23	0,21	0,49	18,1	12,6	21,4
GMQ305	Conc. Ro Pb	11,1	1,04	1,30	2,45	22,7	9,4	9,6
F. La Llave	Conc. Ro Zn	12,2	0,49	1,32	2,55	11,9	10,5	11,0
	Relave	76,8	0,43	1,59	2,93	65,4	80,0	79,4
	Conc. Pb	2,5	178,69	34,84	24,21	79,2	64,0	41,0
GMQ306	Conc. Ro Pb	11,9	42,01	8,82	8,80	87,3	76,0	69,9
F. Mercedes	Conc. Ro Zn	6,3	3,25	0,98	1,84	3,6	4,5	7,7
	Relave	81,8	0,64	0,33	0,41	9,1	19,6	22,4
GMQ307	Conc. Ro Pb	1,5	27,30	4,34	1,20	40,3	45,0	
F. Principal	Relave	98,5	0,85	0,22	0,05	59,7	55,0	

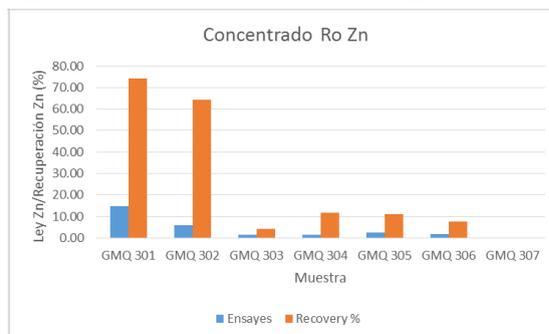
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.14: Concentrado rougher de plomo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.15: Concentrado roughre de zinc



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. Los minerales sulfurados identificados en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. son: galena, esfalerita, esfalerita con contenidos de hierro, cobre.
2. Los resultados obtenidos son:

Muestra	Ag Oz/TM	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	PbO %	ZnO %
Cabeza Celda 9 – Compósito 1	3,80	1,54	1,53	0,41	10,45	0,58	0,17
Cabeza Celda 9 – Compósito 2	2,76	1,43	1,28	0,69	10,54	0,82	0,14
Cabeza Celda 11 – Compósito 1	1,61	0,42	1,10	0,60	7,75	0,10	0,15
Cabeza Celda 11 – Compósito 2	3,17	0,79	1,98	0,84	8,25	0,27	0,18
Cabeza Celda 11 – Compósito 3	2,16	0,61	2,00	0,59	8,50	0,18	0,23

Leyes de cabeza, que se debe conocer con amplitud para iniciar el proceso de concentración de minerales.

- La celda 9, presenta buena concentración en Ag y Pb, pero bajo % Recuperación por la alta alteración de óxidos de plomo (40% a 50%) y sulfosales de plata.

3. Mineral de cobre

○ Ley de cabeza

- Cu: 2,00% (117 % del forecast: 1,71%).
- As: 0,65% (114% del forecast: 0,57%).
- Ag: 0,63 oz/TM (103% del forecast: 0,61 oz/TM).
- Au: 0,60 g/TM (113% del forecast: 0,53 g/TM).

○ Recuperación

- Cu: 95,75% (103% del forecast: 93,24%).
- As: 96,33% (101% del forecast: 95,03%).

- Ag: 67,53% (103% del forecast: 65,41%).
- Au: 58,15% (103% del forecast: 56,20%).

4. Flotación de Plomo - Zinc

Al 10 de junio como promedio mensual de lo procesado por planta 2 se tiene:

a. Ley de cabeza

- i. Ag: 1,23 oz/TM (97% del forecast: 1,27 oz/TM)
- ii. Pb: 1,00 % (98% del forecast: 1,02%)
- iii. Zn: 2,39 % (96% del forecast: 2,48%)

b. Concentrado Pb

- i. Ag: 46,96 oz/TM (76 % del forecast: 62,13 oz/TM).
- ii. Pb: 45,44 % (95 % del forecast: 48,00%).
- iii. Rec Ag: 47,81 % (112% del forecast: 42,65%).
- iv. Rec Pb: 57,18 % (140% del forecast: 40,92%).

c. Concentrado Zn

- i. Ag: 10,45 oz/TM (148 % del forecast: 7,08 oz/TM).
- ii. Zn: 48,39 % (97 % del forecast: 50,00%).
- iii. Rec Ag: 26,31 % (162% del forecast: 16,23%).
- iv. Rec Zn: 62,75 % (107% del forecast: 58,53%).

RECOMENDACIONES

1. La presencia del arsénico en la flotación de minerales sulfurados es un contaminante que se debe de reducir en la flotación por lo que se debe de buscar un reactivo que ayude a minimizar la presencia del arsénico en el concentrado de cobre.
2. Se debe de continuar investigando en el incremento de la recuperación de los concentrados de cobre, plomo y zinc.
3. En la flotación de finos se debe de realizar más investigación para recuperar los minerales que están presentes en forma de lamas, esto es debido a la explotación que realizan los mineros.
4. Se debe de investigar usando nuevos reactivos a solicitud de laboratorio químico – metalúrgico.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Cyanamid Company, (1988) “manual de productos químicos” para minería” impreso en México. Traducido por: Elena Saucedo Loya, A. Giraldez y J.A.Gutierrez.
2. Azañero A. (2008), “Flotación de minerales polimetálicos sulfurados de Pb, Cu y Zn”, UNMSM.
3. Bermejo F., De la Torre G., Solorzano E., “Flotación en la descarga de la molienda primaria: una alternativa para mejorar la performance metalúrgica en la Compañía Minera Raura”, Trabajo Técnico XXVII Convención Minera.
4. Criterios de Diseño Volcan. (2009), Volcan_RelavesCota4265_3M-CerroPasco\4 Informe de Parámetros de Diseño, Proyectos\2009\4100-Geotecnia\089-415-1093.
5. Concha J., Coleman R., Rinne A. (2009), “Flotation Mechanism Design for Improved Metallurgical and Energy Performance”, Outotec.
6. Esteban M. (2012), Estudio Mineralógico N° IL- 003LA0101A-030-50-178.
7. Hilario Juan. (2012), Informes de Investigación Metalúrgica, Laboratorios Plenge.
8. Manzaneda, Villegas, (2010), “Flotación rápida de Galena desde Molienda”, Informe Técnico Compañía Minera Atacocha.
9. Manzaneda J. (2002), “Aplicación de microscopía en el Procesamiento de minerales por Flotación”, Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería.

ANEXOS

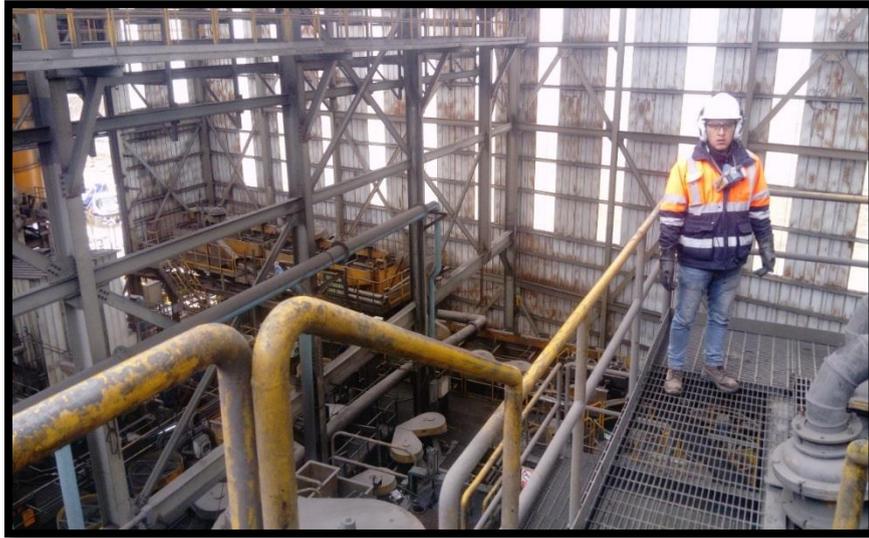


Fig. trabajos en planta concentradora EL BROCAL



Fig. el platico de mineral de cobre para recolectar datos