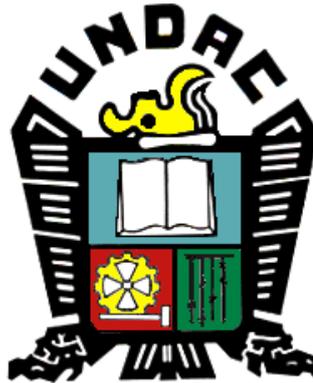


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**



**“EVALUACIÓN METALÚRGICA A LOS MINERALES
DE DIFERENTES ZONAS PARA LA
RECUPERACIÓN DEL COBRE, PLOMO Y ZINC EN
HUARON DE PAN AMERICAN SILVER S.A. –
PASCO - 2018”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

Bach. **CLINDER AQUINO ROBLES**

CERRO DE PASCO – PERU

2018

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



TESIS
“EVALUACIÓN METALÚRGICA A LOS MINERALES DE
DIFERENTES ZONAS PARA LA RECUPERACIÓN DEL
COBRE, PLOMO Y ZINC EN HUARON DE PAN AMERICAN
SILVER S.A. – PASCO - 2018”

Bach. CLINDER AQUINO ROBLES

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS:

Mg. Eusebio Roque Huamán
Presidente

Mg. Marco Antonio Surichaqui Hidalgo
Miembro

Mg. Manuel Antonio Huamán De La Cruz
Miembro

Mg. Cayo Palacios Espíritu
Asesor

RESUMEN

El presente informe está referido a las pruebas metalúrgicas y estudios mineragráficos realizados al Mineral Mariana Ramal 1 Labor SN 127 B, cuyo contenido de valores son; plata 152,74 gr/ton, cobre 1,62%, plomo 1,72%, zinc 1,37% hierro 17,3%, arsénico 0,22%, manganeso 2,84%, el 25% de plomo se presenta como óxidos, el 23,36% del zinc ensayado se presenta como óxidos. De acuerdo a los resultados de work index comparativo se tiene un valor de **13,43 Kw-h/TM**, siendo un valor habitual para nuestros procesos.

Los resultados de las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio muestran una baja performance metalúrgica, la calidad de cobre (27,27)% afectada por la presencia de hierro (19%), la relación Cu/Pb en la cabeza afecta la performance del concentrado de plomo 36,20% de calidad, 59,63% de recuperación por la mala respuesta al método con Bicromato, el concentrado de zinc muestra 29.97% de calidad y 41.12% recuperación y debido al alto contenido de hierro y a la presencia de óxidos que afectan la recuperación, el alto contenido de plata y cobre en este concentrado se debe a la presencia de esfaleritas del tipo 2 y 5, dicha información es corroborada con las regresiones de interacciones Ag-Cu correlación 98,8% t-student de 13,10, Ag-As correlación 97,2% t-student 8,28, Ag-Sb correlación 99,1 t-student 14,61, Zn-Ag correlación de 88,3% t-student de 3,88, Zn-Cu correlación 94% t-student 5,73, Zn-Pb

correlación 96,5 t-student 7,39. Los estudios minerográficos muestran alta presencia de calcopirita, pirita, sulfosales de plata evidenciando presencia de cobres grises en concentrado de cobre, en el concentrado de plomo se observa partículas mixtas de sulfosales de plata – calcopirita – pirita, inclusiones de sulfosales de plata en pirita la presencia de galena libre es menor, el concentrado de zinc muestra una alta presencia de de esfaleritas del tipo 2 y 5 aportando valores de cobre y plata a este concentrado.

La baja performance metalúrgica de este mineral está originada por su mineralogía, la presencia de óxidos, la relación Cu/Pb afecta la separación por el método con bicromato, debiéndose evaluar el método de separación inversa, el concentrado de zinc muestra una mayor complejidad debido a la presencia de esfaleritas del tipo 2 y 5 incluidas en gangas y piritas arrastrando estos valores al relave.

DEDICATORIA

**A MIS PADRES QUE GRACIAS A SU SABIDURÍA
INFLUYERON EN MI MADUREZ PARA LOGRAR
TODOS LOS OBJETIVOS EN LA VIDA.**

**ESTA TESIS ES PARA MIS PADRES EN
AGRADECIMIENTO POR TODO SU AMOR Y
CONFIANZA.**

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente expreso mis sinceros agradecimientos a:

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

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	x

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. OBJETIVOS	
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.4.1. Importancia	5
1.4.2. Limitaciones	5
1.5. JUSTIFICACIÓN	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. UBICACIÓN DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN	9
2.3. BASES TEÓRICAS	11
2.3.1. Plata	11
2.3.2. Plomo	13
2.3.3. Cobre	14
2.3.4. Zinc	15
2.3.1. Conceptos fundamentales de análisis granulométrico	16
2.3.2. Análisis químico	19
2.3.3. Mineralogía	20
2.3.4. Preparación de muestras	21
2.3.5. Molienda	22
2.3.6. Minerales de plomo y zinc	23
2.3.7. Pruebas de flotación	27
2.3.8. Pruebas metalúrgicas	29
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	31
2.5. HIPÓTESIS	
2.5.1. Hipótesis General	32
2.5.2. Hipótesis específicos	32
2.6. VARIABLES	
2.6.1. Variable Dependiente	32
2.6.2. Variable Independiente	33
2.6.3. Variables Intervinientes	33

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	34
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	35
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.4.1. Población	36
3.4.2. Muestra	40
3.5. MINERALOGÍA ÓPTICA	40
3.6. INSPECCIÓN EN ÁREA DE REACTIVOS	45
3.7. MOLIENDABILIDAD	48
3.8. WORK INDEX COMPARATIVO	50

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. EVALUAR Y DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA MUESTRA DE MINERAL ZONA SUR NIVEL 180 ESTRUCTURA MARIANA RAMAL 1 LABOR SN 127 BAJO CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS ESTÁNDAR	52
4.1.1. Trabajos	53
4.1.2. Identificación del mineral	53
4.1.3. Determinación del work index comparativo	54
4.1.4. Flotación de sulfuros	55
4.1.5. Resultados metalúrgicos	56

4.1.6. Regresiones entre elementos químicos	58
4.1.7. Estudios de microscopía óptica	61
4.2. MINERAL SAN FRANCISCO ZONA SUR NIVEL 500	
TAJO 555	69
4.2.1. Trabajos	69
4.2.2. Ensayos químicos de la muestra	71
4.2.3. Pruebas de moliendabilidad	71
4.2.4. Prueba de determinación de work index comparativo	74
4.2.5. Cinética de flotación selectiva Ag, Pb, Cu, Zn	74
4.2.6. Condiciones de flotación	74
4.2.7. Resultados metalúrgicos	75
4.2.8. Regresiones entre elementos químicos	77
4.2.9. Microscopía cualitativa cinética selectiva	79
4.3. MICROSCOPIA DEL CONCENTRADO BULK	80
4.3.1. Microscopia del concentrado medio bulk	81
4.3.2. Microscopía del concentrado medios Zinc	83
4.3.3. Microscopia de los medios bulk	84
4.3.4. Microscopía del relave final	86
4.3.5. Pruebas de flotación para balance metalúrgico	
Proyectado.	88
4.3.6. Condiciones de flotación – prueba de flotación batch	88
4.3.7. Balance metalúrgico proyectado	89

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Con frecuencia, el estudio que se realiza para la valoración de un depósito mineral implica tan sólo el estudio genérico de las leyes de los elementos que se espera puedan ser interesantes en el tipo de depósito, obviando el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. No obstante, un estudio detallado de la mineralogía no tiene tan sólo connotaciones académicas como a veces se cree, sino que puede ayudar a incrementar el valor añadido de la explotación, e incluso por sí sólo puede ayudar a descartar o confirmar el interés del yacimiento. Teniendo en cuenta el bajo costo de los análisis mineralógicos, cuando se comparan con otros métodos, no deja de ser sorprendente este comportamiento erróneo de muchas empresas. El objetivo es el de ofrecer una revisión de las técnicas de caracterización mineral más usuales, así como valorar la incidencia de los estudios mineralógicos en la exploración, valoración y explotación de yacimientos minerales. Las técnicas han sido clasificadas en 2 grupos. El primer grupo incluye a las técnicas de mayor uso, de un costo económico relativamente bajo, las cuales podemos denominar “técnicas convencionales”:

- (i) Difracción de polvo de rayos X y difracción cuantitativa de rayos X
- (ii) Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM-EDS)

- (iii) Catodoluminiscencia
- (iv) Microsonda electrónica (EMP)

El segundo grupo abarca un grupo de técnicas menos accesibles, y mucho más caras, las cuales denominamos en este trabajo “técnicas no convencionales”:

- (i) Particle Induced X-Ray Emission (Micro-PIXE)
 - (ii) Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS)
 - (iii) Laser-Ablation- Inductively Coupled PlasmaMass Spectrometry (LA-ICP-MS)
- La mayor parte de esta compilación está dedicada a las técnicas convencionales (DRX, SEM-EDS y EMP), las cuales pueden ser de mayor impacto en el campo de la pequeña minería.

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 de la planta concentradora, la caracterización de los minerales.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que si es factible realizar, así mismo captar la información necesaria para realizar las pruebas metalúrgicas mediante la caracterización de dos zonas de explotación minera.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, en este capítulo se ha considerado la caracterización de los minerales de dos zonas de explotación la de Mariana y San Francisco.

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

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

En los años del 2010 al 2013 el mercado internacional daba mayor interés a la compra de los concentrados de plomo, zinc, cobre y plata, haciendo que éstos productos incrementen su valor y el país ve reflejado en un sostenimiento económico aceptable y creíble, cada vez con mayores incrementos en la caja fiscal. Pero a partir del 2014 se vio afectado con la disminución de los precios de dichos concentrados, en el cual las empresas mineras se ven obligadas a realizar investigaciones para incrementar el tonelaje de sus concentrados. La duración de la empresa es de carácter indefinido, limitado a la disposición de reservas de mineral, lo cual a

su vez puede variar en función de las inversiones que la compañía efectúe en exploraciones y a los resultados de éstas.

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

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

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

- Granulometría del mineral de alimentación.
- Dosificación de reactivos.
- pH del mineral.
- Tipos de celdas de flotación.
- Velocidad de agitación.
- Porcentaje de sólidos.
- Densidad de pulpa.
- Mineralogía del mineral de alimento.
- Mineralogía de la pulpa que va hacia el relave.

El problema general del presente estudio está en determinar, cuales son las variables más influyentes e importantes que presentan los minerales en el proceso de concentrar los minerales en estudio. Por lo tanto el trabajo de investigación tiene por finalidad, evaluar metalúrgicamente el efecto que tienen los minerales en las variables que afectan la recuperación del cobre, plomo, zinc a escala industrial.

La muestra en estudio son minerales sulfurados cuyas especies mineralógicas presentes con leyes de cabeza: 6,00 % de Zn; 1,71 % de Pb; 0,17 % de Cu y 4,70 oz de Ag/TM.

Por lo tanto el objetivo general de la investigación está orientado en determinar las mejores condiciones de operación para un circuito de flotación primaria (rougher), para controlar las variables principales del proceso, como son: Granulometría del mineral, velocidad de agitación del impulsor, dosis de los reactivos y el pH de la pulpa.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Evaluación metalúrgica a los minerales que existe en diferentes zonas para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuál es la granulometría del mineral de cobre, plomo y zinc en la descarga del molino para la recuperación del cobre, plomo y zinc?
2. ¿Cómo hacer la caracterización a los minerales de diferentes zonas para la recuperación del cobre, plomo y zinc en la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar metalúrgicamente a los minerales que existe en diferentes zonas para recuperar cobre, plomo y zinc en la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la granulometría del mineral de cobre, plomo y zinc en la descarga del molino para la recuperar el cobre, plomo y zinc.
2. Caracterizar a los minerales que existe en diferentes zonas para recuperar el cobre, plomo y zinc en la planta

concentradora de la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA:

El presente estudio de investigación nos conllevará a evaluar metalúrgicamente a los minerales que existen en diversas zonas y plantear su recuperación del cobre, plomo y zinc en la planta concentradora de la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver, y que la empresa sea favorecida económicamente en beneficio de sus trabajadores.

1.4.2. LIMITACIONES

La investigación a realizarse tendrá como limitaciones la evaluación metalúrgica a la identificación de los minerales mediante su caracterización y obtener la recuperación del cobre, plomo y zinc teniendo en cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enmarcada en la evaluación metalúrgica de los minerales de la zona sur Nivel 180 y del mineral San Francisco para la recuperación del cobre, plomo y zinc. Es una investigación de índole tecnológico y preservando el medio ambiente.

En su factibilidad económica podremos decir que sí es posible llevar a cabo esta evaluación toda vez que se mantiene el precio del cobre, plomo y zinc y de los demás metales en el mundo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente estudio de investigación se desarrollara con el uso adecuado del laboratorio metalúrgico de la planta concentradora de la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

2.1. ANTECEDENTES

Con frecuencia, el estudio que se realiza para la valoración de un depósito mineral implica tan sólo el estudio genérico de las leyes de los elementos que se espera puedan ser interesantes en el tipo de

depósito, obviando el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. No obstante, un estudio detallado de la mineralogía no tiene tan sólo connotaciones académicas como a veces se cree, sino que puede ayudar a incrementar el valor añadido de la explotación, e incluso por sí sólo puede ayudar a descartar o confirmar el interés del yacimiento. Teniendo en cuenta el bajo costo de los análisis mineralógicos, cuando se comparan con otros métodos, no deja de ser sorprendente este comportamiento erróneo de muchas empresas. El objetivo es el de ofrecer una revisión de las técnicas de caracterización mineral más usuales, así como valorar la incidencia de los estudios mineralógicos en la exploración, valoración y explotación de yacimientos minerales. Las técnicas han sido clasificadas en 2 grupos. El primer grupo incluye a las técnicas de mayor uso, de un costo económico relativamente bajo, las cuales podemos denominar “técnicas convencionales”:

- (i) Difracción de polvo de rayos X y difracción cuantitativa de rayos X
- (ii) Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM-EDS)
- (iii) Catodoluminiscencia
- (iv) Microsonda electrónica (EMP)

El segundo grupo abarca un grupo de técnicas menos accesibles, y mucho más caras, las cuales denominamos en este trabajo “técnicas no convencionales”:

- (i) Particle Induced X-Ray Emission (Micro-PIXE)

(ii) Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS)

(iii) Laser-Ablation- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) La mayor parte de esta compilación está dedicada a las técnicas convencionales (DRX, SEM-EDS y EMP), las cuales pueden ser de mayor impacto en el campo de la pequeña minería.

2.2. UBICACIÓN DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN

Huarón está ubicada en distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, en la vertiente de los andes, zona central del país, a 4534 metros sobre el nivel del mar.

Las vías de acceso son:

- La carretera central: Lima - La Oroya - Junín - La Villa Pasco (desvío a Huayllay).
- La carretera Lima - Canta - La Viuda - Huarón - Huayllay.
- La carretera central: Lima - La Oroya - Junín - Cerro de Pasco- Huayllay.

Figura N° 2.1: Ubicación de la Cía. Minera Huarón



Fuente: Google Map

El distrito de Huayllay se remonta a la época de la independencia; según el censo del 2005 cuenta con una población de 9592 habitantes en una superficie de 1026,87 kilómetros cuadrados.

La minería es la actividad principal de esta localidad, seguido de la ganadería. Su potencial minero es sostenido por los yacimientos de plata, zinc, cobre y otros minerales de menor valor.

La actividad agrícola está restringida por el medio geográfico, ya sea por solicitud y el clima (su temperatura oscila entre 13, 8 °C y -8 °C), por ello la agricultura no es una actividad exclusiva, aunque un cultivo que sí está repuntando los últimos años es el de la maca.

Por su parte, la ganadería de Huayllay es extensiva e intensiva, debido a que el ganado es criado a campo abierto, alimentándose de

pastos naturales (ichu). Algunos poseen ganado camélidos sudamericanos (llamas, alpacas, etc.) y muy pocos ganados vacuno, a ello se agrega a la crianza de cuyes, ganado caprino, porcino y equino. En tanto, la producción pecuaria es individual y empresarial a través de la cría de ganado ovino.

Asimismo, la veta de arcilla en gran cantidad y calidad ha permitido que la cerámica se desarrolle con destreza y aprecio. Estos productos artísticos se trasladan a otros lugares para su comercialización. También tiene competencia en este rubro la confección de productos textiles a base de hilos y civiles como mantas, frazadas, alfombras, alforjas, fajas y ponchos.

De otro lado, el turismo está cobrando repunte en esa parte del país pues aquí se encuentran el Santuario nacional Bosque de Piedras de Huayllay, considerado el bosque geológico más grande y alto del mundo, que es visitado por miles de turistas nacionales y extranjeros. En el mes de septiembre el gobierno regional organiza el festival ecoturístico de comunidades rurales y turistas Ruraltur Huayllay, donde se presentan bailes folklóricos, caminatas y campeonatos de deportes de aventura.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. PLATA

La plata es un metal de acuñar muy dúctil y maleable, presenta un brillo blanco metálico susceptible al pulimento. Se encuentra en la naturaleza formando parte de distintos minerales (generalmente en forma de sulfuro) o como plata libre. Es muy escasa en la naturaleza, de la que representa una parte en 10 millones de corteza terrestre. La mayor parte de su producción se obtiene como subproducto del tratamiento de las minas de cobre, cinc, plomo y oro. La pureza de la plata de mejor grado contiene al menos 99,9% de plata pudiéndose alcanzar purezas del 99,999%. Actualmente el mayor productor mundial de plata es el Perú, país que produjo 1181,3 millones de onzas de plata en el año 2018 desplazando a México que mantenía un liderazgo en producción por los últimos 2 siglos. Tiene una de las más altas conductividades eléctricas de todos los metales, incluso superior a la del cobre —el conductor por excelencia— pero su mayor precio ha impedido que se utilice de forma masiva en aplicaciones eléctricas. De la producción mundial de plata, aproximadamente el 70% se usa con fines monetarios, buena parte de este metal se emplea en orfebrería, y en menores cantidades en la industria fotográfica, química y eléctrica.

Top 20 países productores de plata en 2016

1	Perú	118,3
2	México	104,2
3	China	82,8
4	Australia	61,9
5	Chile	44,9
6	Polonia	38,9
7	Rusia	36,1
8	EUA	36,0
9	Bolivia	35,8
10	Canadá	21,5
11	Kazakhstan	20,2
12	Turquía	10,1
13	Argentina	9,9
14	Suecia	8,4
15	Indonesia	8,0
16	Marruecos	7,8
17	India	7,1
18	Guatemala	3,2
19	Irán	3,2
20	Sudáfrica	2,7

Fuente: Memoria anual de Huarón

2.3.2. PLOMO

El plomo es un metal suave, de color azul-grisáceo, suave, denso y dúctil. El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental. Se presenta comúnmente como sulfuro de plomo en la galena. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Los minerales comerciales pueden contener tan poco plomo como el 3%, pero lo más común es un contenido de poco más o menos del 10%. Los minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40% o más antes de fundirse o ceder ante la presencia de fuentes de calor extremo. El uso

más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilo de plomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave, municiones, plomadas para pesca y también en la fabricación desde soldaditos de juguete hasta para hacer tubos de órganos musicales. Durante mucho tiempo se ha empleado el plomo como pantalla protectora para las máquinas de rayos X. En virtud de las aplicaciones cada vez más amplias de la energía atómica, se han vuelto cada vez más importantes las aplicaciones del plomo como blindaje contra la radiación.

2.3.3. COBRE

Fue uno de los primeros metales en ser utilizado por el ser humano en la prehistoria. Aunque su uso perdió importancia relativa con el desarrollo de la siderurgia, el cobre y sus aleaciones siguieron siendo empleados para hacer objetos tan diversos como monedas, campanas y cañones. A partir del siglo XIX, concretamente con la invención del generador eléctrico en 1831 por Faraday, el cobre se convirtió de nuevo en un metal estratégico, al ser la materia prima principal de cables e instalaciones eléctricas. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico, se caracteriza por ser un buen conductor de electricidad. Gracias a su alta

conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos. El cobre forma parte de una cantidad muy elevada de aleaciones que generalmente presentan mejores propiedades mecánicas, aunque tienen una conductividad eléctrica menor. Las más importantes son conocidas con el nombre de bronce y latones. Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas. El cobre es el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del acero y el aluminio. La producción mundial de cobre refinado se estimó en 15,8 Mt en el 2006, con un déficit de 10,7% frente a la demanda mundial proyectada de 17,7 Mt.

2.3.4. ZINC

Es un metal de color blanco azulado que arde en aire con llama verde azulada. El zinc es el 23^o elemento más abundante en la corteza terrestre. Las minas más ricas contienen cerca de un 10% de hierro y entre el 40 y 50% de zinc. Las reservas mundiales demostradas cuya explotación es económica ascienden a casi 220 millones de toneladas, repartiéndose más de la mitad a partes iguales entre EE. UU., Australia, China y

Kazajistán. Las reservas conocidas (incluyendo aquéllas cuya explotación no es hoy día económica) rozan los 2000 millones de toneladas. La producción minera mundial fue en el 2003, según datos de la agencia de prospecciones geológicas estadounidense (US Geological Survey) de 8,5 millones de toneladas, liderada por China con el 20% del total y Australia con el 19%. Se estima que cerca de un tercio del zinc consumido es reciclado (secundario). El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. La principal aplicación del zinc, cerca del 50% del consumo anual es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión, protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio. Otros usos incluyen:

- Baterías de Zn-AgO usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas espaciales por su óptimo rendimiento por unidad de peso y baterías zinc-aire para computadoras portátiles.
- Piezas de fundición inyectada en la industria de automoción.
- Metalurgia de metales preciosos y eliminación de la plata del plomo.

2.3.5. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El concepto de tamaño de la partícula que, por lo común, tiene forma irregular, es muy importante. La dimensión de la partícula se determina rigurosamente por una magnitud, el diámetro, si la misma tiene forma de esfera, o por uno de los lados, si tiene forma de cubo. En todos los demás casos, el tamaño de las partículas se caracteriza por una magnitud media, o equivalente. Por dimensión de la partícula se opta: valor medio de tres dimensiones (longitud, anchura y espesor), d_1 ; la longitud del lado de un cubo equivalente según su volumen, d_2 ; el diámetro equivalente de una esfera cuyo volumen es igual al de la partícula; d_3 ; el diámetro de una partícula esférica, calculado a partir de la velocidad de sedimentación de la partícula sometida a estudio, d_4 (el denominado diámetro de Stokes); el diámetro de una esfera cuya superficie equivale a la de la partícula sujeta a estudio, d_5 ; el diámetro de un círculo cuya área equivale a la proyección de la partícula en el plano, en posición de su máxima estabilidad, d_6 ; el lado del cuadrado o diámetro del orificio del tamiz, cuya área equivale a la partícula, correspondiente a sus dos tamaños lineales más pequeños, d_7 .

Aplicando uno u otro método de análisis granulométrico (de dispersión) de minerales, se determinan distintas magnitudes que caracterizan el tamaño de la partícula. Por ejemplo, en el análisis de cribado, d_7 ; en el de sedimentación, d_4 ; en el microscopio, d_6 y rara vez d_1 , d_2 y d_3 ; y en la medición de superficies, d_5 .

Por eso los resultados de los análisis granulométricos, obtenidos por diferentes métodos, son a menudo incompatibles, mientras que algunos métodos de análisis granulométrico solo resultan aplicables para las partículas de forma relativamente regular. Antes de elegir el método de análisis es conveniente observar las partículas al microscopio. Las características del mineral clasificado las partículas según su tamaño, suelen ser suficiente. También es necesario determinar el contenido de acompañantes valiosos en las diversas clases de tamaño. Por ello, los más admisibles son aquellos métodos con los que se esperan diversas fracciones de la mena en cantidades suficientes para determinar el contenido de minerales valiosos.

El medio de dispersión ejerce influencia sobre los resultados del análisis. Algunos minerales pueden dispersarse en agua u otro líquido, y otros, al contrario, coagulan o floculan. La

concentración de la fase de dispersión no debe pasar de 0,05 - 0,1%, a fin de reducir la probabilidad de choque de las partículas entre sí durante el análisis. Para determinar los agregados de partículas, es recomendable emplear dispersantes de suspensiones: sales inorgánicas, ácidos, bases o tenso-activos. En cada caso concreto el dispersante se elige individualmente. Al elegir de un modo correcto el dispersante, el rendimiento de la clase fina es máximo. En una serie de casos, cuando es necesario conocer la composición de dispersión, el análisis se realiza en un medio cuya composición se aproxima máximamente al medio práctico. La densidad del medio debe ser menor que la de los minerales o la mena.

El análisis granulométrico por tamizado consiste en cernir una muestra a través de un juego de tamices estandarizados, y en determinar el porcentaje de masa acumulado en cada uno de estos respecto a la masa de la muestra inicial. Los juegos de tamices estándares se muestran en la tabla. Lo más común se utiliza el juego de tamices estándar elaborado por Taylor, en que el tamaño de la malla de la tela metálica anterior se diferencia del tamaño de la tela metálica posterior en $\sqrt{2} = 1,4142$ veces.

El tiempo de tamizado de la muestra se elige empíricamente respecto a la muestra sometida a estudio. El tamizado se considera concluido cuando el aumento del peso del residuo en el más fino de los tamices, durante el tiempo de tamizado, constituye no más del 5%.

2.3.6. ANÁLISIS QUÍMICO

Es una de las técnicas de análisis más comúnmente utilizada para los minerales y técnicas espectroscópicas son utilizadas para Análisis cualitativos de rutina, análisis cuantitativos de impurezas, análisis cuantitativo de elementos en sistemas que no pueden ser analizados por análisis químicos.

Preparación de muestras Geológicas y Metalúrgicas.

Pruebas de Chancado y Molienda.

Pruebas de Concentración.

- Flotación de Minerales (Metales y No Metálicos).
- Flotación Batch Abiertas.
- Flotación de Ciclo Cerrados.

Gravimétrica.

Magnética.

Pruebas de Lixiviación y Cianuración.

- Por agitación en Botellas.
- Por agitación en Tanques.

- Por percolación en Columnas.

Pruebas de sedimentación y filtrado.

Estudios de Microscopía de Minerales

Desarrollo de Proyectos.

- Estudio Conceptual.
- Estudio de Pre Factibilidad.
- Pilotaje.
- Auditoria de Plantas.

Diseño y fabricación de equipos para Minería y Metalurgia.

Planta Piloto de Molienda - Flotación.

Laboratorio Químico

Investigación Metalúrgica Aplicada.

2.3.7. MINERALOGIA

La clave para solucionar un problema es conociendo realmente al problema. Por tal motivo la caracterización mineralógica es el inicio de los estudios metalúrgicos, para la optimización de los procesos. Nuestro laboratorio, emplea el microscopio de luz polarizada y combina técnicas de observaciones cualitativas y cuantitativas de los minerales presentes en las muestras de estudio. De ser necesario, utiliza otros equipos de nuestro medio, tales como microscopia electrónica, difracción de rayos X y otros, con la finalidad de complementar los estudios y

brindar un servicio completo, de acuerdo a las necesidades del cliente. Nuestros servicios están orientados a:

- Determinación de la mineralogía de cabezas, colas y concentrados de una planta y/o muestras de mina,
- Estudios de liberación de minerales en molienda, remolienda y flotación.

2.3.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras procesadas en nuestro laboratorio, provienen de perforaciones diamantinas o muestras de campo recolectadas por personal de exploraciones o mina y otras corresponden a muestras del proceso de planta. Las muestras son seleccionadas y tratadas de acuerdo a los requerimientos del cliente.

Las principales actividades de la sección de preparación de muestras son:

- Chancado, clasificación y cuarteo de muestras, para las etapas siguientes de pruebas metalúrgicas.
- Pulverizado y homogenizado de sub-muestras para análisis químicos.
- Análisis granulométricos. Nuestro laboratorio cuenta con procedimientos y sistemas de calidad, que aseguran la confiabilidad de los resultados.

2.3.9. MOLIENDA

La etapa de molienda, es una de las etapas muy importantes en una planta de procesamiento de minerales, en costos de energía y medios de molienda, por lo que la caracterización de minerales, es la base para el diseño de plantas y la optimización de operaciones existentes.

La conminución se inicia en la mina con la voladura y continua en la planta con chancado y molienda.

Los principales servicios en molienda son:

- Determinación de Work Index de Bond (Impacto y Bolas)
- Determinación del índice de Abrasión de minerales y aceros.
- Determinación de tiempos de molienda.
- Investigación y desarrollo de molienda fina y ultrafina.
- Optimización y simulación de circuitos de molienda y clasificación.

2.3.10. MINERALES DE PLOMO-ZINC

La separación y recuperación por flotación de concentrados de Plomo y Zinc de minerales que contienen galena (PbS) y esfalerita (ZnS) está bien establecida y normalmente se logra

con bastante eficacia. La plata proporciona a menudo un valor económico altamente significativo, si no es que el valor mayor, con la plata más a menudo asociada con la mineralización de la galena que es un hecho casual ya que las fundiciones pagan más por plata en el plomo contra concentrados de zinc. Los materiales sin valor incluyen sulfuros como la piritita y la pirrotita que, aunque son a menudo flotables, pueden ser controlados. Siderita, un mineral de carbonato de hierro, también a menudo se asocia en por lo menos en alguna mínima cantidad.

Marmatita (Zn,Fe)S es una esfalerita rica en hierro lo que en consecuencia resulta en grados de bajo contenido de zinc. Concentrados de marmatita tienen un nivel bajo de zinc debido a la dilución de los minerales de hierro. Las separaciones son posibles por la hidrofobicidad inherente natural y debido al hecho de que la esfalerita como un mineral no es fácilmente recogido por los reactivos de flotación. Se emplea un proceso de flotación secuencial de dos etapas bien establecido:

Un importante primer paso implica asegurar que la superficie de la esfalerita no está activada con iones de metal disueltos, que a su vez hace a la esfalerita no flotable.

El sistema establecido de procesamiento por flotación de plomo-zinc es agregar sulfato de zinc ($ZnSO_4$) al molino para controlar la activación de los iones metálicos (depresión de esfalerita). A menudo se agregan metalbisulfito u otros químicos de sulfuración con el sulfato de zinc para depresión de mineral de sulfato de hierro.

El colector de flotación de plomo y el espumante están acondicionados antes de la flotación del plomo que se lleva a cabo normalmente a un pH casi neutro a ligeramente elevado el cual puede incrementarse en el circuito de limpieza para asegurar el rechazo del sulfuro de hierro. Algunas veces el cianuro, si puede utilizarse, se agrega para ayudar en la depresión de sulfuros de hierro. Porque la plata esta típicamente asociada mineralógicamente con la galena, la mayoría de los valores de plata son arrastradas con y se incorporan en el concentrado de galena.

La esfalerita que es rechazada dentro de los residuos de flotación del plomo es luego flotada en una segunda etapa de flotación después de la activación con sulfato de cobre. Los iones de cobre remplazan a los átomos de zinc en la superficie de la esfalerita creando una cubierta superficial de mineral de cobre falso el cual entonces se recoge usando colectores de tipo flotación de cobre.

Dado que la mayoría de los sulfuros de hierro también se incorporan con los residuos de flotación del plomo y por lo tanto alimentan el circuito de flotación del zinc, normalmente se usa cal para elevar el pH para depresión de sulfuro de hierro. Los colectores de flotación usados en la flotación de la esfalerita tienden a ser menos poderosos porque en esta etapa la esfalerita por lo general flota fácilmente y usar colectores más agresivos puede llevar a que más minerales no-esfalerita floten.

Metalurgia concentrada y recuperaciones óptimas de plomo se logran generalmente utilizando una combinación de xantato y ditiofosfato. Si la superficie de la galena está ligeramente oxidada (manchada), la inclusión de mercaptobenzotiazol (MBT) a menudo se hace parte del juego colector para maximizar las recuperaciones de galena. Los espumantes usados en la flotación de galena tienden a ser del tipo más débil, tal como el MIBC, porque la galena es fácilmente flotable y tiene una cinética de alta flotación. Sin embargo, por la cinética de alta flotación y la alta densidad del mineral de galena, la capacidad de acarreo de la espuma de mineral puede requerir el uso de una espuma ligeramente más fuerte o

una combinación con un componente de espuma más potente para alcanzar óptimos resultados metalúrgicos.

La práctica normal de flotación de esfalerita es elevar el pH de flotación a 10-12 para mejorar el rechazo de minerales de sulfuro de hierro hacia los residuos de flotación de esfalerita. Muchos operadores prefieren usar espumantes del tipo alcohol en flotación de esfalerita para maximizar su selectividad de flotación. Un xantato de menor peso molecular como el xantato de sodio isopropílico (SIPX) se usa en combinación con un colector de flotación de ditofosfato menos poderoso, y en casos raros, un reactivo de flotación de tionocarbamato.

En circunstancias excepcionales, las consideraciones de respuesta de mineralogía y metalúrgica requieren un concentrado inicial a granel de plomo-zinc con los minerales de plomo y zinc posteriormente separados en un paso de flotación selectiva. Bajo este esquema, un concentrado de flotación a granel de galena y esfalerita es producido a un pH de 6,5 (modificado con H_2SO_4) con la adición de algunos sulfatos de cobre para asegurar una activación completa de la esfalerita. El concentrado a granel es posteriormente acondicionado con hidróxido de sodio para alcanzar un pH de aproximadamente 11,5 y la adición de un colector desde el cual un concentrado

de plomo es flotado. El concentrado de zinc es en realidad el residuo de este paso de separación a granel. El residuo de flotación es concentrado de zinc. Si la plata está asociada con la galena, la plata se reporta al concentrado de plomo.

Mientras que la pirita es relativamente fácil de deprimir con cal, la pirrotita es más difícil de deprimir. Una alternativa para la depresión de metabisulfito es oxigenar la lechada la cual, si la pirrotita se reactiva, puede hacer que el sulfuro de hierro sea menos flotable. En casos de desafíos mayores de depresión de sulfuro de hierro, el concentrado de zinc puede ser limpiado por flotación inversa del concentrado tratándolo primero con SO_2 para reducir el pH a 5-5,5 y entonces calentar la pulpa a 60-70 °C. La ganga se flota con la esfalerita y se incorpora a los residuos.

2.3.11. PRUEBAS DE FLOTACIÓN

Con el objeto de no incurrir en error de evaluación y dar a todos los reactivos en prueba la misma oportunidad de demostrar sus propiedades, las pruebas tienen que ser efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM,

remoción de espumas etc. En el momento de la flotación es de suma importancia que la técnica empleada durante la flotación estándar sea la misma para las demás pruebas.

Esto es lo referente a: inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de espumas, frecuencia de lavado etc. tratando de eliminar en lo posible el error experimental, que podría ocasionar conclusiones erróneas.

Un método de conocer el grado de error que uno es capaz de cometer durante una prueba de flotación es realizar la prueba estándar por triplicado. Si la prueba está bien trabajada, los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí, esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sea efectuada cuidadosamente. Sólo después de alcanzar ese nivel de exactitud, se estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación.

En caso de evaluar uno o más reactivos, para cuantificar su calidad estos se deben comparar con otro reactivo de marca y calidad reconocida al cual denominaremos reactivo patrón.

2.3.12. PRUEBAS METALÚRGICAS

En una etapa inicial es recomendable hacer las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio con flotaciones rougher, rougher-scavenger, por ser estos rápidos y económicos para esta etapa de trabajo, posteriormente ya con el reactivo seleccionado se puede ir a pruebas más elaboradas donde se incluyan etapas de limpieza y/o pruebas cerradas.

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

Es conveniente dar preferencia a la práctica de flotación, hasta correr una prueba por triplicado, partiendo de 1 Kg. de muestra se debe obtener casi la misma cantidad de concentrado, con variaciones en un gramo como tolerancia mínima. La evaluación de reactivo será en base a recuperación, ratio de concentración, ratio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad forma y tamaño de espumas y otros criterios metalúrgicos que uno crea conveniente, como gráficos, etc.

A veces es necesario realizar análisis mineralógico de los productos a fin de obtener una idea de la naturaleza y la proporción de los diferentes tipos de partículas presentes.

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

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

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

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

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

Operación Planta Concentradora.- Las operaciones de las Plantas Concentradora de minerales requieren en la mayoría de los casos de

una preparación previa de los minerales que conllevan a la liberación de las partículas valiosas de su ganga acompañante. Con las diversas etapas de trituración, molienda, flotación, espesamiento y filtrado se conseguirá completar el grado de liberación necesario para el concentrado de Minerales.

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

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

Análisis.- Tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Granulometría.- A la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos

Recuperación.- del latín recuperatio, es la acción y efecto de recuperar o recuperarse (volver en sí o a un estado de normalidad, volver a tomar lo que antes se tenía, compensar.

2.5. HIPÓTESIS:

2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si Evaluamos metalúrgicamente a los minerales que existen en diferentes zonas entonces podemos recuperar el cobre, plomo y zinc en la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

2.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

1. Si determinamos la granulometría del mineral de cobre, plomo y zinc en la descarga del molino entonces podemos recuperar el cobre, plomo y zinc.
2. Si caracterizamos a los minerales que existe en diferentes zonas entonces podemos recuperar el cobre, plomo y zinc en la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

2.6. VARIABLES

2.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Recuperación de cobre, plomo y zinc en la planta concentradora de la Compañía Minera Huaron de Pan American Silver.

2.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación metalúrgica a los minerales que existen en diferentes zonas

2.6.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Variable independiente

- Análisis granulométrico
- Análisis químico.
- Análisis mineralógico

Variable dependiente

- Cobre
- Plomo
- Zinc

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

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

Es de cuidado las muestras para no contaminarlas.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

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

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

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los Objetivos de la Investigación y la naturaleza del Problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el Tipo de Investigación **cuasi experimental**, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo la caracterización sobre la evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados en la planta de beneficio de la Compañía Minera Huarón de Pan American Silver., describiendo y explicando las causas y

efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Pan American realiza perforaciones de relleno y cerca de la mina durante gran parte del año y actualiza las estimaciones de recursos minerales sobre una base anual luego de las revisiones de las tendencias de los precios de los metales, el desempeño operacional y los costos experimentados en el año anterior, y los pronósticos de producción y costos durante la vida útil de la mina. La fecha de corte de los datos de sondajes para el inicio de la interpretación geológica y la estimación del recurso mineral fue el 31 de diciembre de 2017. Aparte de los cambios normales en los precios de los metales, que fluctúan de vez en cuando, no se dispone de información material nueva entre junio 30 de 2018 y la fecha de la firma que figura en los certificados de las personas calificadas. Las estimaciones de recursos minerales son preparadas anualmente por personal panamericano bajo la supervisión y revisión de Michael Steinmann, P. Geo., Vicepresidente Ejecutivo, Desarrollo Corporativo y Geología de

Pan American Silver, que es una persona calificada según la norma NI43-101. No se conocen factores o riesgos ambientales, de permisos, legales, de títulos, impuestos, socioeconómicos, de mercadeo, políticos u otros que puedan afectar de manera importante el desarrollo de los recursos minerales. Los recursos minerales que no son reservas minerales no han demostrado viabilidad económica. Los recursos minerales reportados aquí son adicionales a las reservas minerales. Los recursos minerales para Huaron al 30 de junio de 2018 se presentan en la Tabla 1.1. Esta tabla incluye material clasificado como medido, indicado e inferido, utilizando precios de metal de \$ 22 por onza de plata, \$ 1,950 por tonelada de plomo, \$ 1,850 por tonelada de zinc y \$ 6,800 por tonelada de cobre. Los recursos minerales se estimaron al 31 de diciembre de 2017 y se agotaron para la minería al 30 de junio de 2018.

Tabla N° 3.1. Recursos minerales de Huaron al 30 de junio de 2018

Clasificación	Toneladas	Ag ppm	Contenido de Ag	% Cu	% Pb	% Zn
Medio	1,5	162	7,9	0,20	1,85	3,06
Indicado	1,0	166	5,2	0,24	1,89	3,22
Medio + indicado	2,5	164	13,2	0,21	1,86	3,13
inferido	8,5	161	44,0	0,29	1,61	2,72

Fuente: Departamento de Geología

Notas: Los recursos minerales no han demostrado viabilidad económica. Los totales pueden no coincidir debido al redondeo. Las estimaciones de recursos minerales se

prepararon bajo la supervisión de o fueron revisadas por Michael Steinmann, P. Geo., Vicepresidente Ejecutivo, Desarrollo de Negocios y Geología de Pan American. Los precios de los metales utilizados para la estimación del recurso mineral fueron de \$ 22 por onza de plata, \$ 1,950 por tonelada de plomo, \$ 1,850 por tonelada de zinc y \$ 6,800 por tonelada de cobre. Los recursos minerales se suman a las reservas minerales.

Pan American actualiza las estimaciones de reservas minerales anualmente, luego de las revisiones de las tendencias de los precios de los metales, el desempeño operacional y los costos experimentados en el año anterior, y los pronósticos de producción y costos durante la vida útil de la mina. Aparte de los cambios normales en los precios de los metales, que fluctúan de vez en cuando, no se dispone de nueva información material entre el 30 de junio de 2018 y la fecha de la firma que figura en los certificados de las personas calificadas. Las estimaciones de la reserva de minerales fueron preparadas por el personal técnico de Pan American bajo la supervisión de Martin Wafforn, P. Eng., Vicepresidente, Servicios Técnicos de Pan American, quien es una persona calificada según la norma NI 43-101. Las estimaciones de reservas minerales se basan en supuestos que incluyen parámetros mineros, metalúrgicos, de infraestructura, permisos, impuestos y económicos. Los

costos e impuestos crecientes y los precios más bajos de los metales tendrán un impacto negativo en la cantidad de reservas minerales estimadas. No hay otros factores conocidos que puedan tener un impacto material en la estimación de las reservas minerales en Huaron. Se entregan reservas minerales para Huaron al 30 de junio de 2018, que comprenden material clasificado como reservas probadas y probables que usan precios de metales de \$ 22 por onza de plata, \$ 1,950 por tonelada de plomo, \$ 1,850 por tonelada de zinc y \$ 6,800 por tonelada de cobre. En la tabla 1.2. Las reservas minerales se estimaron al 31 de diciembre de 2017 y se agotaron para la minería al 30 de junio de 2018.

Tabla N° 3.2: Reservas minerales de Huaron al 30 de junio de 2018.

Clasificación	Toneladas	Ag ppm	Contenido de Ag	% Cu	% Pb	% Zn
Probado	6,5	170	35,5	0,42	1,44	2,98
Probable	4,7	163	24,9	0,42	1,50	2,89
Probado-probable	11,2	167	60,4	0,42	1,46	2,94

Fuente: Departamento de Geología

Notas: Los totales pueden no sumar. Al redondeo. Las estimaciones de la reserva de minerales se prepararon bajo la supervisión de Martin Wafforn, P. Eng., Vicepresidente, Servicios Técnicos de Pan American, o fueron revisadas por ellos. Los precios de los metales utilizados para la estimación de la reserva mineral fueron de \$ 22 por onza de plata, \$ 1,950 por tonelada de plomo, \$ 1,850 por tonelada

de zinc y \$ 6,800 por tonelada de cobre. Las reservas minerales se suman a los recursos minerales.

3.4.2. MUESTRA

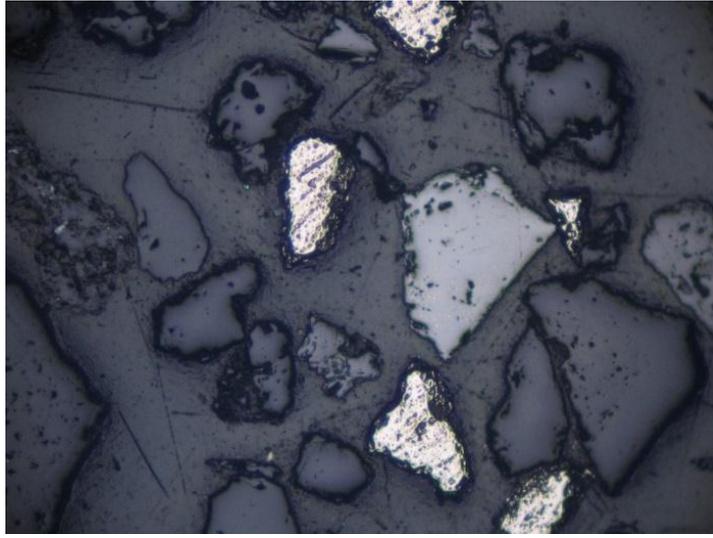
Como muestra de estudio es la recolección de minerales sulfurados en una cantidad aproximada de 80 kilos en un muestro aleatorio por mallas del cual utilizaremos diez kilos para realizar su tratamiento metalúrgico.

3.5. MINERALOGÍA ÓPTICA

Es parte de las geociencias educativas y de la mineralogía en sí, donde la descripción, clasificación y nomenclatura de distintas rocas y minerales se lo debe hacer de manera precisa, utilizando criterios de texturas y composición que solo pueden ser observables con el microscopio óptico y estudiada por la microscopía óptica. Un microscopio petrográfico se utiliza para identificar rocas y minerales en secciones delgadas. Es un microscopio óptico estándar que está equipado con una platina circular giratoria 360 ° de rotación, objetivos libres de tensión, un polarizador para generar luz polarizada y un segundo polarizador (llamado "analizador") que se encuentra entre la muestra y la visión por el ocular. Los microscopios petrográfico también están equipados con la llamada "lente de Bertrand", que es centrable y permite ampliar la figura de

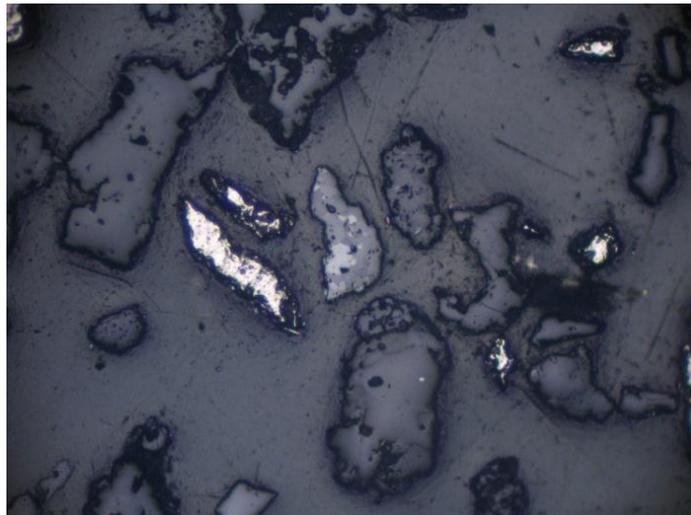
interferencia que es proyectada en el plano focal posterior del objetivo, Los microscopios petrográficos cuentan también con filtros especiales de lambda.

Figura N° 3.1. Muestra de mineral con presencia de Pb, Zn



Fuente: Elaboración propia

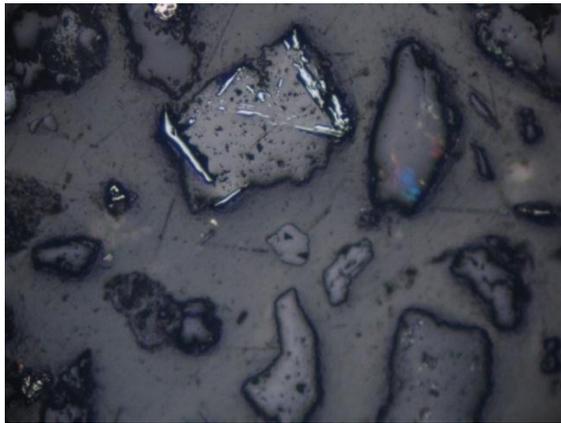
Figura N° 3.2: Muestra de mineral con presencia de sulfosales



Fuente: Elaboración propia

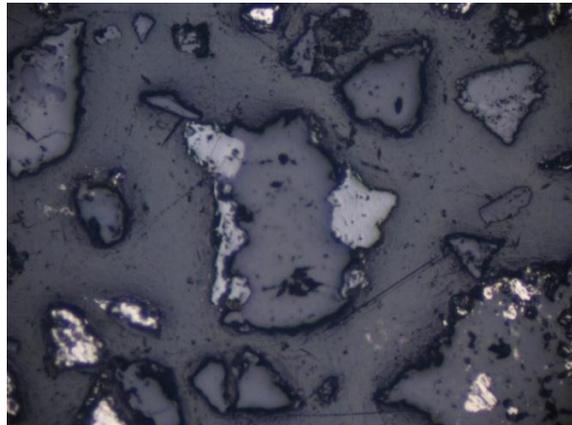
Se ha preparado la muestra para que sea analizado por medio de la microscopía óptica, identificando la presencia de los minerales y sulfosales.

Figura N° 3.3: Trazos de pirita y chacopirita



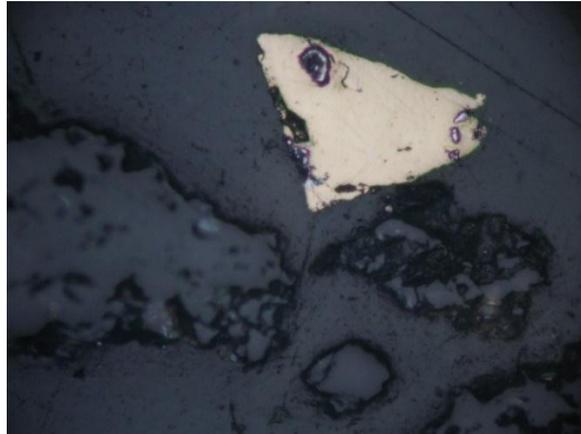
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.4: Presencia carbonatos, óxidos y arcillas



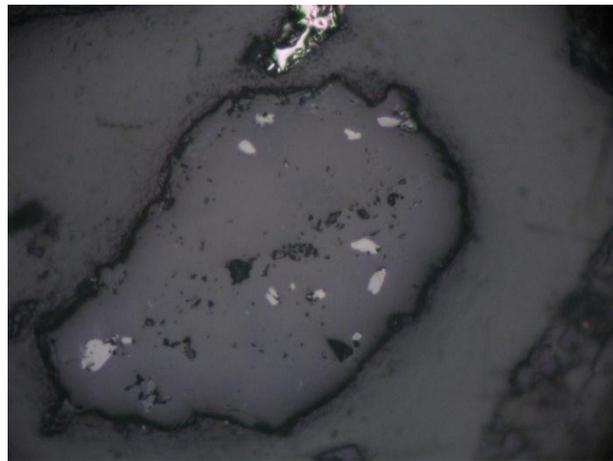
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.5: Presencia de pirita con sulfosales



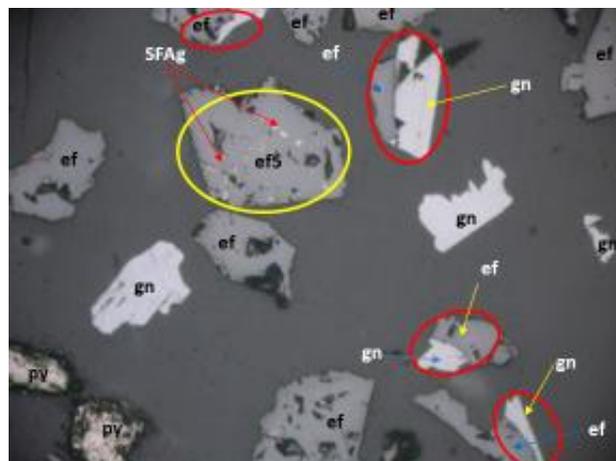
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.6: Presencia de zinc sobre una superficie de cuarzo



Fuente: Elaboración propia

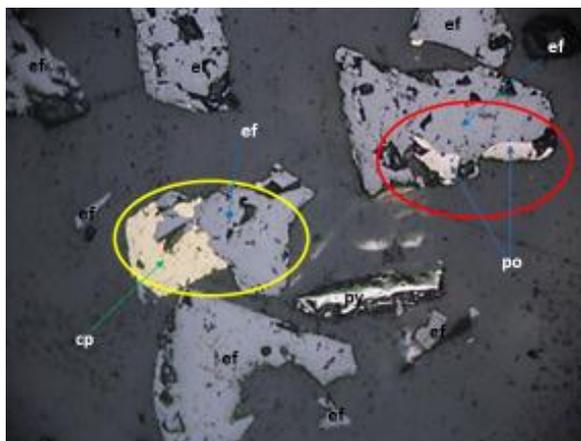
Figura N° 3.7: Concentrado Bulk Primer Minuto Malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se puede observar dentro del círculo amarillo una partícula de esfalerita del tipo 5 (finas inclusiones de sulfosal de plata en esfalerita) y dentro del círculo rojo un mixto de galena – esfalerita normal, necesita mayor tiempo de molienda para tener mayor grado de liberación. Completando la vista se observa partículas de galena, esfalerita normal y pirita.

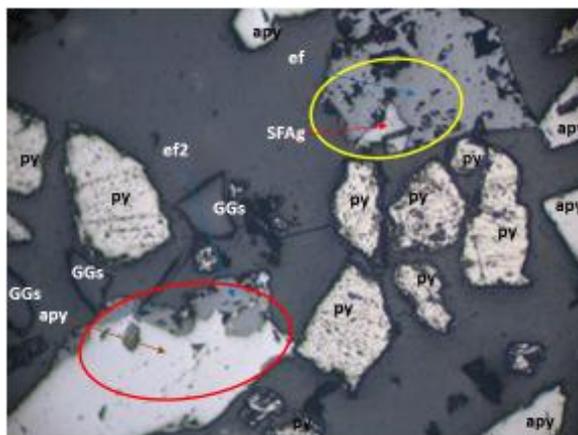
Figura N° 3.8: Espumas Primer Minuto Malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se puede observar dentro de del círculo amarillo una partícula mixta de calcopirita – esfalerita normal y dentro del círculo rojo esfalerita – pirrotita, necesita mayor tiempo de molienda para tener mayor grado de liberación. Completando la vista se observa partículas libres esfalerita normal y pirita.

Figura N° 3.9: Relave Final Malla +400



Fuente: Elaboración propia

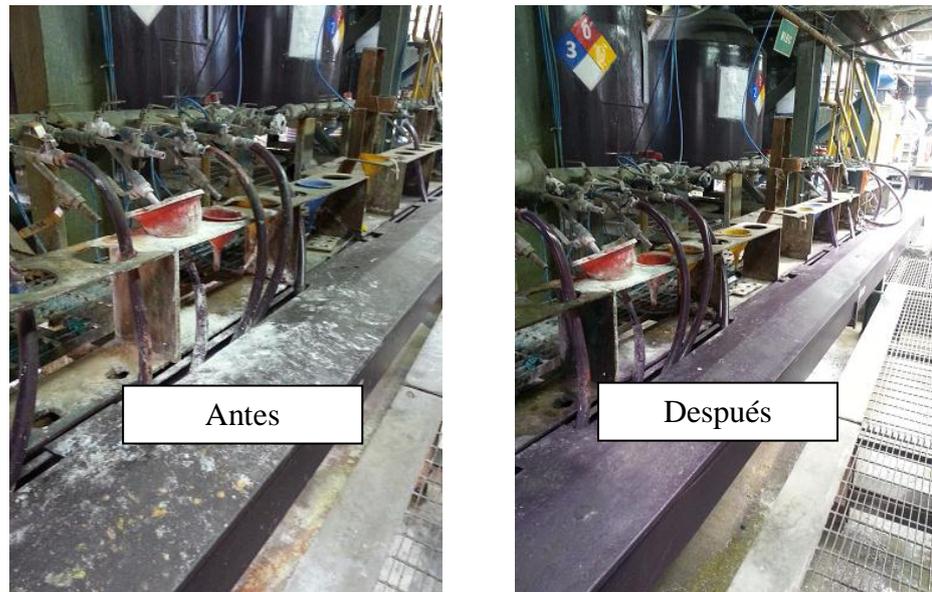
En la imagen se observa dentro del círculo amarillo una partícula de sulfosal de plata asociado a la esfalerita normal y dentro del círculo rojo un mixto de arsenopirita – esfalerita del tipo 2, es claro que la plata está ligado al cobre por lo que en la flotación bulk se debe tratar de recuperar estas partículas y evitar su desplazamiento al zinc. Completando la vista se observa partículas libres de arsenopirita, pirita y ganga

3.6. INSPECCIÓN EN ÁREA DE REACTIVOS

a) Tuberías y bandeja de reactivos:

Se observa derrame de reactivos sobre la bandeja y tuberías de alimentación de reactivos en general falta de limpieza de lugar, se coordinó con el encargado para la limpieza y pintado de las líneas y bandejas.

Figura N° 3.10 Tanques de dosificación de reactivos



Fuente: Elaboración propia

b) Tanque de preparación y dosificación:

Se observa tanques de reactivos sucios, se coordinó el pintado de todos los tanques tanto de preparación como de distribución.

Figura 3.11: Tanques de dosificación de reactivos



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.12: Tanque de MIBC



Después

Después

Fuente: Elaboración propia

c) Rombos NFPA y MSDS:

Se observa falta de hojas MSDS en el tanque de 1661 y se observa rombos en mal estado de diferentes tanques, se procedió al cambio de rombos y se colocó las hojas MSDS.

Figura N° 3.13: identificación de tanques



Fuente: elaboración propia

Figura N° 3.14: Tanque de complejo



Fuente: Elaboración propia

3.7. MOLIENDABILIDAD

Determinación del tiempo de molienda

Tabla N° 3.2: análisis granulométrico del mineral San Francisco

Mineral San Francisco						
Tiempo: 0 minutos				F(80) 176634 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	86,89	17,38	17,38	82,62	1766,34
12	1680	18,28	3,66	21,03	78,97	0,00
16	1190	53,62	10,72	31,76	68,24	0,00
20	841	35,25	7,05	38,81	61,19	0,00
30	595	31,92	6,38	45,19	54,81	0,00
40	400	30,26	6,05	51,24	48,76	0,00
50	297	24,66	4,93	56,18	43,82	0,00
70	210	23,87	4,77	60,95	39,05	0,00
100	149	22,06	4,41	65,36	34,64	0,00
140	105	19,25	3,85	69,21	30,79	0,00
200	74	17,05	3,41	72,62	27,38	0,00
270	53	15,71	3,14	75,76	24,24	0,00
325	45	8,71	1,74	77,51	22,49	0,00
400	37	3,06	0,61	78,12	21,88	0,00
-400		109,41	21,88	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			1766,34

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 3.3. Análisis granulométrico del mineral San Francisco

Mineral San Francisco

Tiempo: 10 minutos				F(80) 231,16 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	1,89	0,19	0,19	99,81	0,00
12	1680	0,85	0,09	0,27	99,73	0,00
16	1190	3,39	0,34	0,61	99,39	0,00
20	841	5,99	0,60	1,21	98,79	0,00
30	595	14,72	1,47	2,68	97,32	0,00
40	400	38,13	3,81	6,50	93,50	0,00
50	297	63,91	6,39	12,89	87,11	231,16
70	210	96,80	9,68	22,57	77,43	0,00
100	149	105,11	10,51	33,08	66,92	0,00
140	105	97,89	9,79	42,87	57,13	0,00
200	74	81,39	8,14	51,01	48,99	0,00
270	53	72,40	7,24	58,25	41,75	0,00
325	45	39,00	3,90	62,15	37,85	0,00
400	37	11,84	1,18	63,33	36,67	0,00
-400		366,69	36,67	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			231,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.4: Análisis granulométrico del mineral san Francisco

Mineral San Francisco						
Tiempo: 15 minutos				F(80) 146,26 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	0,39	0,04	0,04	96,96	0,00
12	1680	0,08	0,01	0,05	99,95	0,00
16	1190	0,39	0,04	0,09	99,91	0,00
20	841	0,52	0,05	0,14	99,86	0,00
30	595	1,45	0,15	0,28	99,72	0,00
40	400	6,38	0,64	0,92	99,08	0,00
50	297	21,41	2,14	3,06	96,94	0,00
70	210	59,77	5,98	9,04	90,96	0,00
100	149	102,59	10,26	19,30	80,70	146,26
140	105	122,73	12,27	31,57	68,43	0,00
200	74	102,47	10,25	41,82	58,18	0,00
270	53	90,92	9,09	50,91	49,09	0,00
325	45	47,55	4,76	55,67	44,34	0,00
400	37	13,49	1,35	57,01	42,99	0,00
-400		429,86	42,99	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			146,26

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.5: Análisis granulométrico del mineral San Francisco

Mineral San Francisco						
Tiempo: 20 minutos				F(80) 112,24 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	0,19	0,02	0,02	99,88	0,00
12	1680	0,02	0,00	0,02	99,98	0,00
16	1190	0,07	0,01	0,03	99,97	0,00
20	841	0,15	0,02	0,04	99,96	0,00

30	595	0,20	0,02	0,06	99,94	0,00
40	400	1,33	0,13	0,20	99,80	0,00
50	297	6,38	0,64	0,83	99,17	0,00
70	210	27,38	2,74	3,57	96,43	0,00
100	149	70,73	7,07	10,65	89,36	112,24
140	105	114,09	11,41	22,05	77,95	0,00
200	74	115,23	11,52	33,58	62,42	0,00
270	53	110,01	11,00	44,58	55,42	0,00
325	45	54,04	5,40	49,98	50,02	0,00
400	37	17,39	1,74	51,72	48,28	0,00
-400		482,79	48,28	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			112,24

-m200	tiempo	Mineral	Tiempo (min)	-m200
27,38	0	San Francisco	13,63	55,00
48,99	10		16,16	60,00
58,18	15		18,89	65,00
66,42	20			

Fuente. Elaboración propia

3.8. WORK INDEX COMPARATIVO

Determinación del Work Index comparativo con cuarzo

Tabla N° 3.6. Análisis granulométrico de mineral cuarzo

Mineral Cuarzo						
Tiempo: 0 minutos				F(80) 1936,29 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
8	2380	59,44	12,67	12,67	87,33	0,00
10	2000	30,70	6,54	19,21	80,79	1936,29
12	1680	19,61	4,18	23,39	76,61	0,00
16	1190	56,02	11,94	35,32	64,68	0,00
20	841	41,33	8,81	44,13	55,87	0,00
30	595	38,33	8,17	52,30	47,70	0,00
40	400	37,48	7,99	60,28	39,72	0,00
50	297	30,91	6,59	66,87	33,13	0,00
70	210	30,04	6,40	73,27	26,73	0,00
100	149	26,84	5,72	78,99	21,01	0,00
140	105	22,92	4,88	83,87	16,13	0,00
200	74	18,97	4,04	87,92	12,08	0,00
270	53	16,83	3,59	91,50	8,50	0,00
325	45	8,20	1,75	93,25	6,75	0,00
400	37	2,15	0,46	93,71	6,29	0,00
-400		29,53	6,29	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			1936,29

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.7: Análisis granulométrico de mineral de cuarzo

Mineral Cuarzo

Tiempo: 15 minutos				F(80) 221,97 μm		
Malla	μm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
8	2380	0,12	0,01	0,01	99,99	0,00
10	2000	0,13	0,01	0,03	99,98	1936,29
12	1680	0,07	0,01	0,03	99,97	0,00
16	1190	0,27	0,03	0,06	99,94	0,00
20	841	0,71	0,07	0,13	99,87	0,00
30	595	3,22	0,32	0,45	99,55	0,00
40	400	19,85	1,99	2,44	97,56	0,00
50	297	61,37	6,14	8,57	91,43	0,00
70	210	134,34	13,43	22,01	77,99	0,00
100	149	154,42	15,44	37,45	62,55	0,00
140	105	148,58	14,86	52,31	47,69	0,00
200	74	103,81	10,38	62,69	37,31	0,00
270	53	84,64	8,46	71,15	28,85	0,00
325	45	39,28	3,93	75,08	24,92	0,00
400	37	12,60	1,26	76,34	23,66	0,00
-400		236,71	23,66	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			221,97

Fuente Elaboración propia

Tabla N° 3.8: Análisis granulométrico de mineral San Francisco

Mineral San Francisco						
Tiempo: 0 minutos				F(80) 176634 μm		
Malla	μm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	86,89	17,38	17,38	82,62	1766,34
12	1680	18,28	3,66	21,03	78,97	0,00
16	1190	53,62	10,72	31,76	68,24	0,00
20	841	35,25	7,05	38,81	61,19	0,00
30	595	31,92	6,38	45,19	54,81	0,00
40	400	30,26	6,05	51,24	48,76	0,00
50	297	24,66	4,93	56,18	43,82	0,00
70	210	23,87	4,77	60,95	39,05	0,00
100	149	22,06	4,41	65,36	34,64	0,00
140	105	19,25	3,85	69,21	30,79	0,00
200	74	17,05	3,41	72,62	27,38	0,00
270	53	15,71	3,14	75,76	24,24	0,00
325	45	8,71	1,74	77,51	22,49	0,00
400	37	3,06	0,61	78,12	21,88	0,00
-400		109,41	21,88	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			1766,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.9: Análisis granulométrico de mineral San Francisco

Mineral San Francisco						
Tiempo: 15 minutos				F(80) 146,26 μm		
Malla	μm	Peso	% Peso	Ac +	Ac -	F(80)
10	2000	0,39	0,04	0,04	96,96	0,00
12	1680	0,08	0,01	0,05	99,95	0,00
16	1190	0,39	0,04	0,09	99,91	0,00
20	841	0,52	0,05	0,14	99,86	0,00
30	595	1,45	0,15	0,28	99,72	0,00

40	400	6,38	0,64	0,92	99,08	0,00
50	297	21,41	2,14	3,06	96,94	0,00
70	210	59,77	5,98	9,04	90,96	0,00
100	149	102,59	10,26	19,30	80,70	146,26
140	105	122,73	12,27	31,57	68,43	0,00
200	74	102,47	10,25	41,82	58,18	0,00
270	53	90,92	9,09	50,91	49,09	0,00
325	45	47,55	4,76	55,67	44,34	0,00
400	37	13,49	1,35	57,01	42,99	0,00
-400		429,86	42,99	100,00	0,00	0,00
Total		500,00	100,00			146,26
Descripción		F80	P80			
Cuarzo		1936,29	221,97			
Mineral		1766,34	146,26			

Teniendo los análisis se determina el índice de trabajo

$$W_i \text{ cuarzo} = 10,25 \text{ Kw-h/TC}$$

$$W_i \text{ mineral} = 11,30 \text{ kw-h/TC}$$

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. EVALUAR Y DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA MUESTRA DE MINERAL ZONA SUR NIVEL 180 ESTRUCTURA

MARIANA RAMAL 1 LABOR SN 127 B, BAJO CONDICIONES FISICOQUÍMICAS ESTÁNDARES.

El día 09 de enero se recepciona la muestra del Mineral Zona Sur Nivel 180 Estructura Mariana Ramal 1 Labor SN 127 B, con el objetivo de evaluar el comportamiento metalúrgico y estudiar las características mineralógicas bajo condiciones fisicoquímicas estándares, justificando dicha evaluación en los aportes de este mineral al proceso.

4.1.1. TRABAJOS

- Secado y chancado de muestra a 100% malla -6 ASTM.
- Ensayes químicos.
- Determinación del work index comparativo.
- Determinación del tiempo de molienda para alcanzar 60% malla -200 ASTM.
- En la etapa de flotación de trabajo en celda de 4,3 litros a un porcentaje de sólidos de 32,5% con los reactivos estándares a dosificaciones estándares.
- Obtenidos los productos de flotación secos estos son enviados para sus ensayes químicos a laboratorio químico.
- Con los resultados de los ensayes químicos se elaboró el balance metalúrgico correspondiente.

4.1.2. IDENTIFICACIÓN DEL MINERAL

Ensayes químicos de la muestra

Se prepara la muestra para realizar el análisis químicos en el laboratorio químico – metalúrgico de la planta concentradora.

Tabla N° 4.1: Ensayes Químicos

Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Mn	%Bi	%Sb	%PbOx	%ZnOx
152,74	1,62	1,72	1,37	17,3	0,22	2,84	0,01	0,27	0,43	0,32

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior merecen el siguiente comentario:

- El contenido de cobre se encuentra por encima de los valores habituales.
- Los valores de plata y plomo se encuentran dentro de los valores habituales de tratamiento.
- Se tiene una baja presencia de zinc.
- El contenido de óxidos de plomo y zinc representan el 25% y 23,36% de los valores totales ensayados.
- El contenido de hierro en este mineral se encuentra por encima de los valores habituales.

4.1.3. DETERMINACIÓN DEL WORK ÍNDEX COMPARATIVO.

Para caracterizar la dureza del mineral o Índice de Trabajo se usó el método comparativo con cuarzo que tiene un Índice de Trabajo de 13.6 kwh-h/TC. Para este mineral se determinó el tamaño de alimentación promedio F80 (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 luego de la molienda, para ambas muestras (Cuarzo y Pozo D Ramal Norte) el tiempo de molienda fue de 15 minutos, los siguientes datos son resultados del análisis granulométrico:

- F80 cuarzo = 1834 micrones (100% malla -6)
- P80 cuarzo = 222 micrones
- F80 mineral = 1948 micrones (100% malla -6)
- P80 mineral = 160 micrones

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

$$13,6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{cuarzo}}} \right) = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{mineral}}} \right)$$

Reemplazando valores en la ecuación de bond se determinó la dureza o Índice de Trabajo $W_i = 10,54 \text{ KW-h/TC}$, que será el indicador de dureza del mineral en estudio, este dato es ingresado a una plantilla que realiza la conciliación de resultados realizando ajustes logarítmicos y polinómicos con los resultados de las muestras evaluadas por SGS, en las cuales se tienen resultados desde minerales suaves, medios y

duros de muestras geológicas enviadas a ensayar, cuyo resultado final es:

Tabla N° 4.2: Resultados de las muestras geológicas

Muestra de mineral	Lab		SGS		SIN AJUSTE		AJUSTADA		Promedio
	Kw-h/ST	Kw-h/SM	Kw-h/ST	Kw-h/SM	Kw-h/SM	Kw-h/SM	Kw-h/SM	Kw-h/SM	Kw-h/SM
Mineral Sur Nivel 180 estructura Mariana 1 labor SN 1278	10,54	11,63			13,38	13,62	13,26	13,46	13,43

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. FLOTACIÓN DE SULFUROS

Prueba de flotación batch selectiva Cu, Pb y Zn

El procedimiento de flotación batch determinara los concentrados, relaves e intermedios y considera la recuperación total como la sumatoria de las recuperaciones de los tres concentrados obtenidos en periodo de tiempos estándares.

De la tabla N° 4.3 se comenta lo siguiente:

- Los reactivos CNNA, mezcla de xantatos, carbón activado fueron preparados al 1%, el sulfato de cobre, cal al 10%, RCS al 2,5, el H-150 al 100%.

Tabla N° 4.3: Condiciones de flotación

Nombre	REACTIVOS g/T									
	Tiempo	pH	NaCN	Z11/Z6	Cal	CuSo4	H-150	Z-11	C	RCS
Molienda	18	8,93	40							
Ro-Bk	3	9,03		10	100		25			
Scv-Bk	2	9,03		5						
1° Cl Bk	3	8,5	8							
2° Cl Bk	3	8,5								
Ac Zn 1°	3	10,5			300					
Ac Zn 2°	4	10,5			50	200				
Ro Zn	3	10,5			50		6	10		
Scv Zn	2	10,5					3	5		
1° Cl Zn	3	12,5			900					

2° Cl Zn	3	12,5			650					
1 Ac Sep Pb/Cu	5									20
Ro Sep Pb/Cu	3						3			10
Scv Sep Pb/Cu	3									10
1 Cl Sep										
Total reactivos g/t			48	15	2050	200	37	15	0	40

Fuente: Elaboración propia

- El consumo de reactivos se encuentran en valores similares a los del tratamiento habitual.

-

4.1.5. RESULTADOS METALÚRGICOS.

En la tabla N° 4.4, se muestra el balance metalúrgico de la prueba batch Mineral Zona Sur Nivel 180 Estructura Mariana Ramal 1 Labor SN 127 B con la obtención de tres concentrados.

Tabla N° 4.4: Prueba Batch Mineral Zona Sur Nivel 180 Estructura Mariana Ramal 1 Labor SN 127 B

Balance Metalúrgico Proyectado	% Peso	Ensayes									% Distribución								
		Ag g/t	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	Bi %	Sb %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	Bi %	Sb %
Conc Cu	5,39	1359,66	27,27	7,36	3,62	19,00	1,70	0,06	0,03	3,13	47,19	72,70	21,92	14,21	6,42	45,72	0,10	2,13	61,07
Conc Pb	2,98	1704,32	12,72	36,20	4,05	12,57	1,35	0,21	0,07	2,66	32,73	18,76	59,63	8,79	2,35	20,14	0,20	2,75	28,69
Conc Zn	1,89	692,19	3,88	1,54	29,97	15,46	0,29	0,48	0,03	0,55	8,41	3,62	1,60	41,12	1,83	2,74	0,29	0,74	3,75
Relave Final	89,74	20,19	0,11	0,34	0,55	15,90	0,07	3,44	0,08	0,02	11,67	4,92	16,85	35,89	89,40	31,41	99,40	94,38	6,49
Cab Calculada	100,00	155,32	2,02	1,81	1,38	15,96	0,20	3,11	0,08	0,28	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

88,33 % Ag

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 4.4, se comenta lo siguiente:

- Las pruebas se realizaron a 60% de malla -200 de acuerdo a nuestro promedio de malla de corte estándar en operaciones.
- Realizando el balance metalúrgico se observa recuperaciones plata 88,33%, cobre 72,70%, plomo 59,63%, zinc 41,12%
- Las calidades de los concentrados 27,7% de cobre, 36,2% de plomo y 41,12% de zinc.
- La concentración de plata es de 1359,66 g/ton en concentrado de cobre, 1704,36 g/ton en concentrado de plomo y 692,19 g/ton.

- Los desplazamientos de cobre en los concentrados de plomo y zinc es de 12,72% y 3,88% representando recuperaciones de 32,73% y 8,41% de este valor en ambos concentrados.
- La presencia de hierro en los concentrados tiene una incidencia perjudicial sobre los factores metalúrgicos de los concentrados.
- La presencia de óxidos de plomo y la relación Cu/Pb afectan la performance del concentrado de plomo.
- El alto contenido de hierro en la cabeza afecta a los concentrados propiciando la dilución de los valores de interés.

4.1.6. REGRESIONES ENTRE ELEMENTOS QUÍMICOS.

Con el set de ensayos químicos (cinéticas de flotación bulk y zinc), se hace regresión lineal entre pares de elementos químicos con la finalidad de establecer si hay correlación y la significancia de esta correlación determinada por el valor estadístico t-student, considerando el signo de este valor estadístico si es mayor a 3,182 y positivo habrá una gran posibilidad de encontrar una relación mineralógica entre los elementos químicos y por el contrario si es mayor de 3,182

pero negativo se tratara de un desplazamiento indebido a causa del proceso de flotación.

En la tabla N° 4.5, se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos para la etapa de flotación plomo.

Tabla N°4.5: Resultados de las Regresiones de los pares de Ensayes químicos Regresiones del Concentrado Plomo

Interacción	Correlación	T-Student
Ag-Cu	0,988	13,10
Ag-Pb	0,86	3,50
Ag-Zn	0,470	1,33
Ag-Fe	0,1434	-0,58
Ag-As	0,972	8,283
Ag-Mn	0,957	-6,641
Ag-Bi	0,829	3,117
Ag-Sb	0,991	14,613
Cu-Pb	0,792	2,76
Cu-Zn	0,511	1,45
Cu-Fe	0,093	-0,45
Cu-As	0,994	18,51
Cu-Mn	0,962	-7,12
Cu-Bi	0,798	2,81
Cu-Sb	0,9997	87,47
Pb-Zn	0,153	0,601
Pb-Fe	0,485	-1,37
Pb-As	0,774	2,62
Pb-Mn	0,704	-2,18

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla N° 4.5, anterior indican lo siguiente:

- Las interacciones Ag-Cu muestra una correlación de 98,8% y un t student de 13,10, Ag-As correlación 97,2% T student 8,28, Ag-Sb correlación 99,1 t student 14,61
- Las interacciones Cu-As correlación 99,4 T student 18,51, Cu-Sb correlación 99,97 T student 87,47.

- Esta alta significancia entre los pares Ag-Cu-As-Sb nos indica una estrecha relación mineralógica y la presencia de cobres grises portadores de plata.
- Las interacciones Ag-Mn correlación 95,7 T student -6,64, Cu-Mn correlación 96,2 T student -7,12.
- La significancia negativa entre los pares Ag- Mn, Cu-Mn dos indica que la presencia de manganeso en el concentrado actuara como diluyente de los valores de plata y cobre.

En la tabla N° 4.6, se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos para la etapa de flotación zinc.

**Tabla N° 4.6: Resultados de las Regresiones de los pares de Ensayes químicos
Regresiones concentrado Zn**

Interacción	Correlación	T-Student
Zn - Ag	0,883	3,88
Zn - Cu	0,94	5,73
Zn - Pb	0,965	7,39
Zn - Fe	0,074	0,40
Zn - As	0,845	3,305
Zn Mn	0,180	-0,663
Cu - Ag	0,988	12,850
Cu - Pb	0,957	6,711
Cu - Fe	0,196	0,70
Cu - As	0,931	5,177
Cu Bi	0,887	3,95
Cu Sb	0,994	18,48

Fuente: Elaboración propia

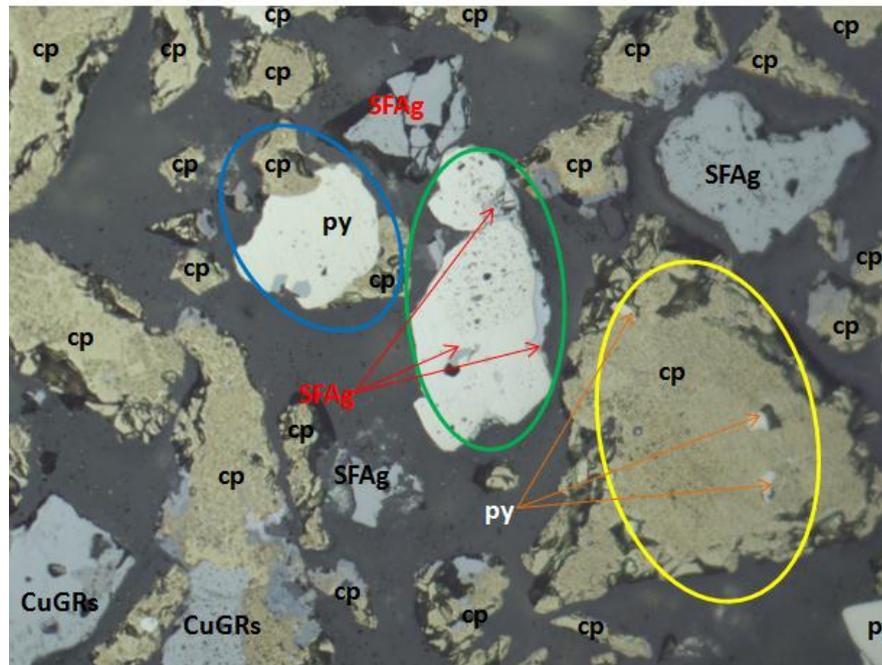
Los resultados de la tabla N° 4.6, indican lo siguiente:

- Las interacciones Zn-Ag muestra una correlación de 88.3% y un t student de 3,88, Zn-Cu correlación 94% T student 5,73, Zn-Pb correlación 96,5 t student 7,39.
- Las interacciones Cu-Ag correlación 98.8 T student 12,85, Cu-Pb correlación 95.7 T student 6,71, Cu- As correlación 93,1 T student 5,18, Cu-Sb correlación 99,4 T student 18,48.
- Esta alta significancia entre los pares Zn-Ag, Zn- Cu y Zn-As nos indican la presencia de esfaleritas del tipo 2 y 5 los cuales mantienen estrechas relaciones con los valores de plata, cobre, plomo, As y antimonio.

4.1.7. ESTUDIOS DE MICROSCOPIA ÓPTICA

Con los concentrados de plomo, cobre, zinc, medios de Bulk, medios de zinc y relave final se realizaron los estudios de microscopia óptica, para lo cual la muestra flotada fue deslamada a malla 400, secada, homogenizada, pesada en 15 gramos para la elaboración de las briquetas para el posterior pulido y estudio de microscopia. De los estudios de microscopia óptica se obtuvieron las siguientes imágenes:

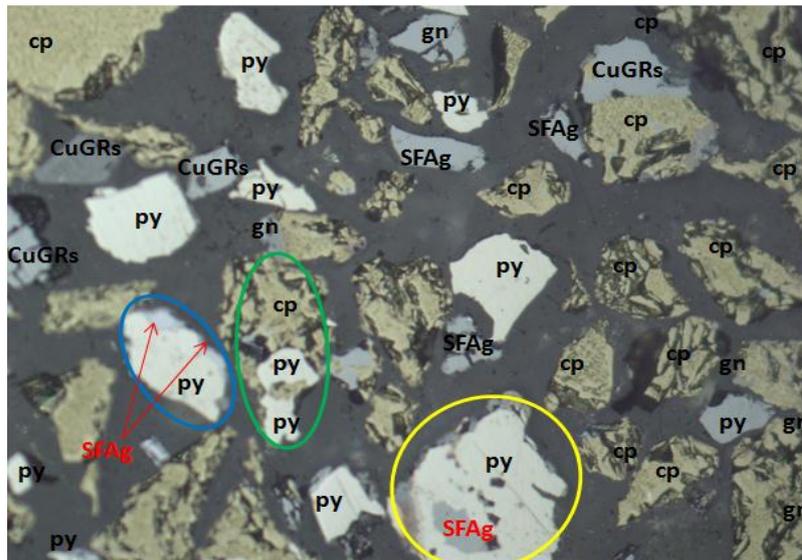
Figura N° 4.1: Concentrado Cu malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo azul una partícula mixtos de calcopirita – pirita (**cp/py**) y finas de sulfosales de plata en pirita en el círculo verde, inclusiones de sulfosales de plata en pirita (**SFAg-py**) en el círculo amarillo inclusiones de pirita en calcopirita (**py-cp**), se observan partículas libres de calcopirita (**cp**), cobres grises (**CuGRs**), sulfosales de plata (**SFAg**) y sulfuro de hierro.

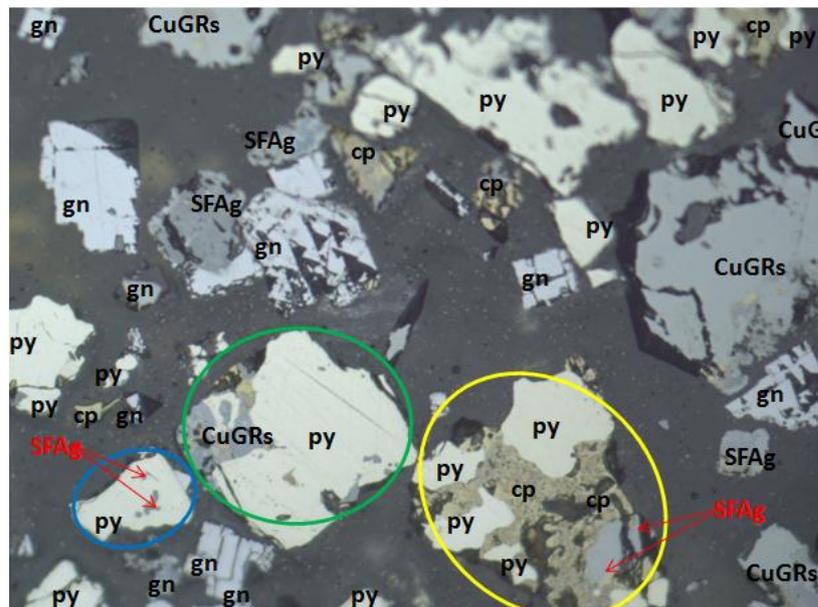
Figura N° 4.2: Concentrado Cu malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en el círculo amarillo partículas mixtas de sulfosales de plata – pirita (**SFAG/py**), en el círculo azul inclusiones de sulfosales de plata en pirita (**SFAG-py**) y en el círculo verde un mixto de calcopirita – pirita (**cp/py**), es importante mejorar el tiempo de molienda para minimizar la presencia de partículas mixtas asociadas, se observan partículas libres de calcopirita (**cp**), cobres grises (**CuGRs**), sulfosales de plata (**SFAG**) y piritas libres.

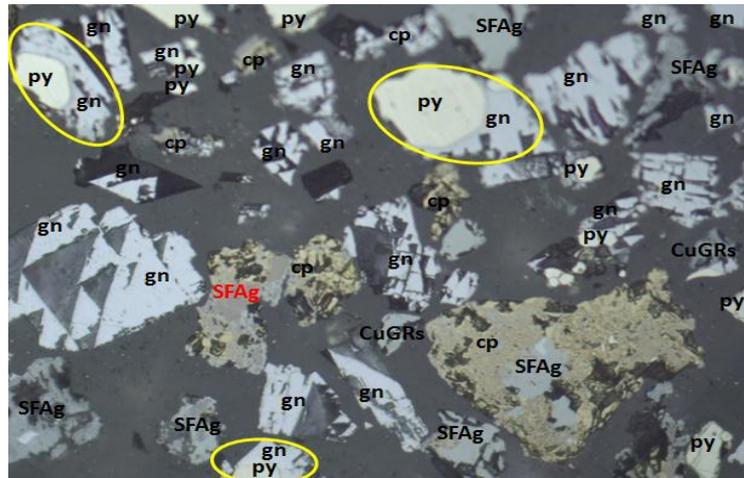
Figura N° 4.3: Concentrado Pb malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en el círculo amarillo partículas mixtas de sulfosales de plata – calcopirita – pirita (**SFAG/cp/py**), en el círculo azul inclusiones de sulfosales de plata en pirita (**SFAG-py**) y en el círculo verde un mixto de cobre gris – pirita (**CuGRS/py**) los contenidos de cobres gris asociados al arsénico y antimonio muestran alto contenido de plata, se observan partículas libres de galena (**gn**), calcopirita (**cp**), cobres grises (**CuGRS**) y sulfuro de hierro.

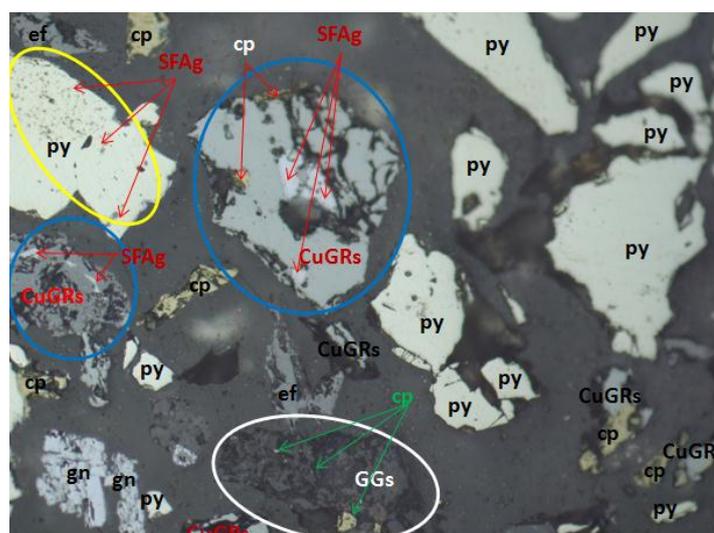
Figura N° 4.4 Concentrado Pb malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en los círculos amarillos partículas mixtas de galena – pirita (**gn/py**), es importante el control de molienda para minimizar la presencia de partículas mixtas, se observan partículas libres de galena (**gn**), cobres grises (**CuGRs**), calcopirita (**cp**), sulfosales de plata (**SFAg**) y sulfuros de hierro.

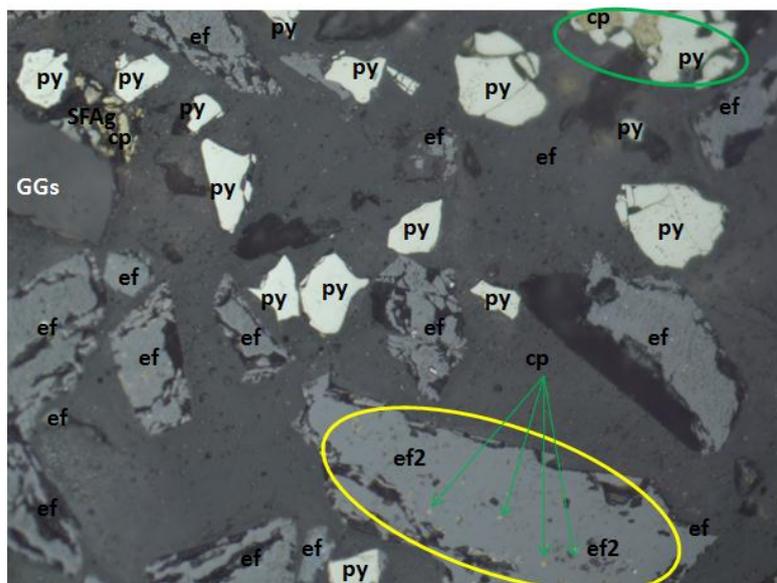
Figura N° 4.5: Medios Bulk malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en el círculo amarillo inclusiones de sulfosales de plata en pirita (SFAg-py), en el círculo blanco inclusiones de calcopirita en ganga (cp-GGs) y los círculos azules uniones de cobres grises con sulfosales de plata (CuGRS/SFAg) se observan partículas libres de galena (gn), esfalerita normal (ef), cobres grises (CuGRS) y sulfuro de hierro.

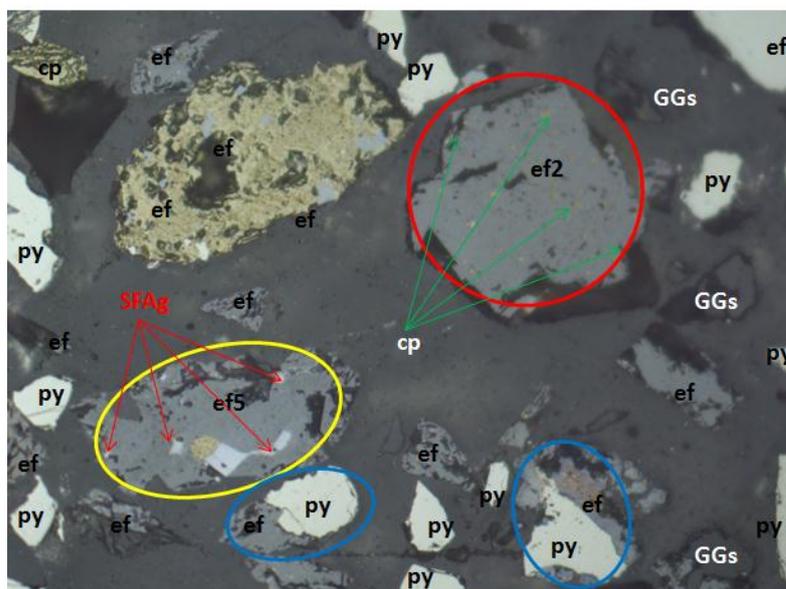
Figura N° 4.6: Concentrado Zn malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa el círculo amarillo una partícula de esfalerita del tipo 2 (finas de calcopirita con inclusiones en esfalerita normal) (ef2), en el círculo verde una partícula mixta de calcopirita – pirita (cp/py), se observa partículas libres de esfalerita normal (ef), calcopirita (cp), pirita (py) y ganga (GGs).

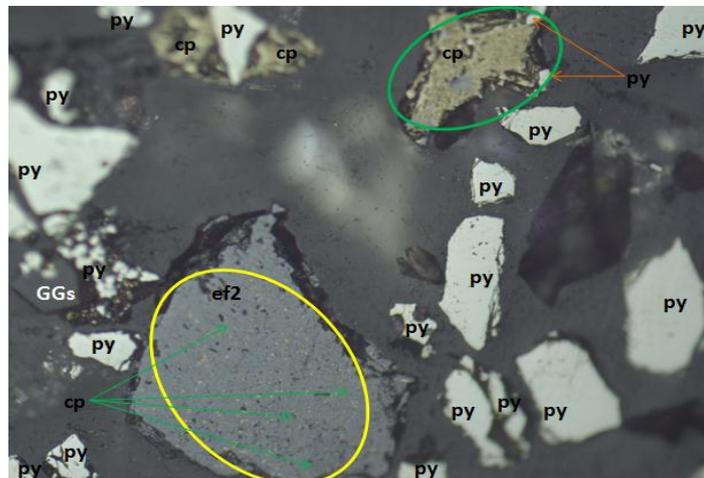
Figura N° 4.7: Concentrado Zn malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en el círculo amarillo una partícula de esfalerita del tipo5 (finas inclusiones de sulfosales de plata esfalerita) (**ef5**), en el círculo rojo esfalerita del tipo2 (finas inclusiones de calcopirita en esfalerita) (**ef2**) y en los círculos azules partículas mixtas de esfalerita normal – pirita (**ef/py**) por la presencia de estas partículas el contenido de plata es alto en el concentrado de zinc, se observan partículas libres de esfalerita normal (**ef**), calcopirita (**cp**), pirita y partículas insolubles.

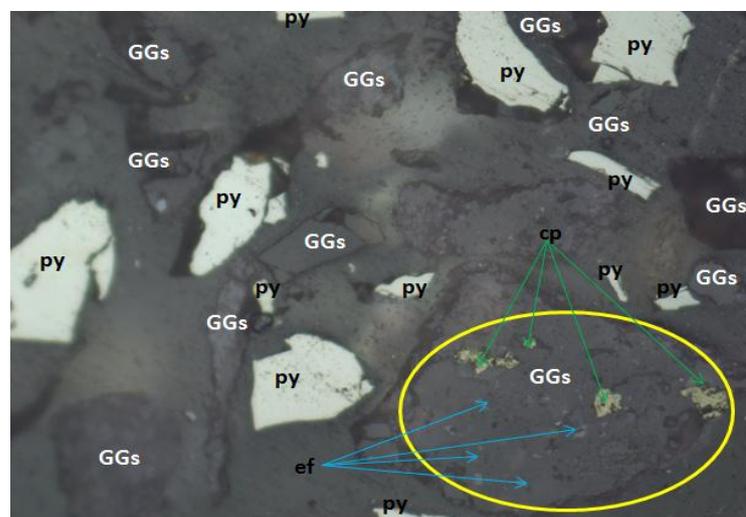
Figura N° 4.8: Medios Zn malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa en el círculo amarillo una partícula de esfalerita del tipo 2 (finas inclusiones de calcopirita en esfalerita) (**ef2**) y en el círculo verde partículas pequeñas de pirita incrustado en calcopirita (**py-cp**), la presencia de estas partículas dificulta su liberación, se observan partículas libres de calcopirita (**cp**), sulfuro de hierro y partículas insolubles.

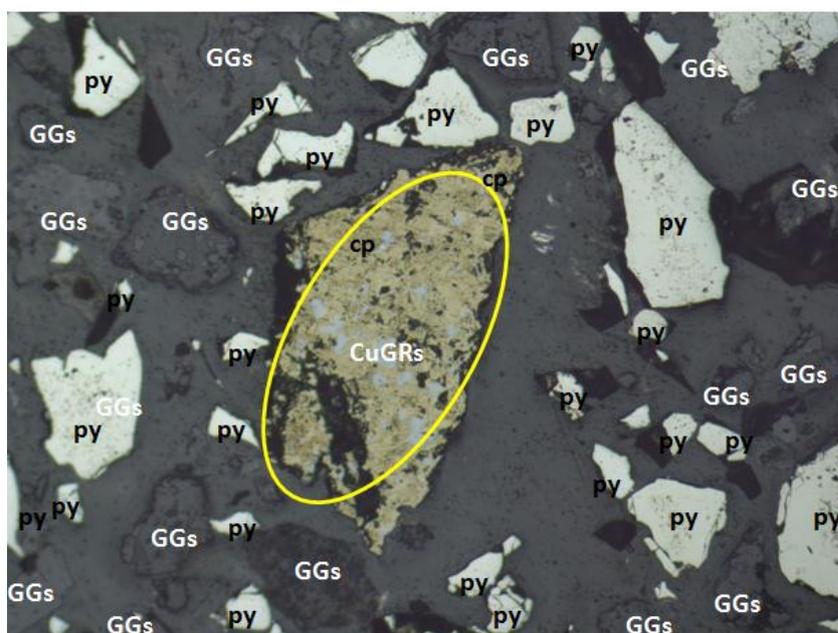
Figura N° 4.9: Relave Final malla +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo partículas finas de calcopirita y esfalerita normal incrustado dentro de la ganga (**cp-ef-GGs**), este tipo de partículas es muy difícil de recuperar por la mineralogía que presenta. También se observa partículas de insolubles y pirita.

Figura N° 4.10: Relave final +400



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo una partícula libre de calcopirita con cobres grises (**CuGRs-cp**), los cobres grises que contienen arsénico y antimonio presentan altos contenidos de plata. También se observa partículas insolubles y pirita.

4.2. MINERAL SAN FRANCISCO ZONA SUR NIVEL 500 TAJO 555

El objetivo es el de caracterizar mineralógicamente y determinar las condiciones de flotación según el estándar de flotación de sulfuros para el mineral denominado San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555.

El presente mes se realizó un muestreo; con el apoyo del personal de geología, del mineral denominado San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555 en la cancha de gruesos; con la finalidad de caracterizar y realizar pruebas metalúrgicas según modelo de control geometalúrgico.

Se justifica el presente trabajo ya que es necesario establecer los parámetros metalúrgicos al mineral en evaluación, para caracterizar mineralógicamente, determinar el Work Index y conocer la respuesta del mineral al proceso de flotación.

4.2.1. TRABAJOS

- Recepción, secado y preparación de muestra a 100% malla -6 ASTM.

- La muestra homogenizada se pesó 1 kg para cada prueba de moliendabilidad según el estándar los tiempos fueron tiempo 0 min, 10, 15 y 20 minutos.
- Se determinó el Work Índice comparativo con cuarzo que tiene un consumo de energía de 13,6 kw-hr/TC, previamente se pasó la muestra a 100% malla -6, que corresponde a un procedimiento estándar.
- Una vez alcanzado el 60,0% malla -200 se pesa cada muestra de 1 kg de mineral y se almacena para realizar las pruebas necesarias de flotación.
- En la etapa de flotación de trabajo en celda de 4,3 litros a un porcentaje de sólidos de 40,0% aproximadamente, con los reactivos estándares a dosificaciones estándares, se usó una celda de 2300 cc con el mismo porcentaje de sólidos.
- Se realizó la prueba de flotación según el estándar: cinética selectiva bulk y zinc finalmente pruebas con obtención de concentrado de zinc.
- Con las muestras de flotación se realizó microscopia cualitativa y regresiones entre pares de elementos químicos.
- Obtenidos los productos de flotación se proceden a filtrar, secar, homogenizar y pesar para ser enviados a Laboratorio Químico para sus respectivos ensayos.

- Con los resultados de los ensayos químicos se elaboró el balance metalúrgico correspondiente para cada muestra de mineral.

4.2.2. ENSAYES QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS

Preparada la muestra se envía a Laboratorio Químico para su respectivo ensaye tal como se observa en la tabla N° 4.7.

Tabla N° 4.7: Ensayes químicos

Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Mn	%Bi	%Sb	%PbOx	%ZnOx
348,88	0,12	0,57	1,72	11,13	0,16	13,64	0,11	0,15	0,15	0,21

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla anterior merecen el siguiente comentario:

- El mineral en estudio contiene alto contenido de plata, los contenidos de plomo y zinc las leyes se encuentran en valores promedios, en el caso del cobre la ley es baja.
- El contenido de sulfuro de hierro es alto.
- Los contenidos de contaminantes (arsénico, bismuto y antimonio) son bajos, en el caso del Manganeseo (Mn) se considera muy alto.
- Los contenidos de óxidos de plomo y zinc son de 15,46% y 12,21% respectivamente.

4.2.3. PRUEBAS DE MOLIENDABILIDAD

Las pruebas de molienda se realizaron con 1000 gramos y 500 cc de agua con lo cual se obtiene una pulpa en molienda con 67 % de sólidos y posteriormente se realiza el análisis granulométrico correspondiente; para determinar el grado de molienda a 60,0 % -m 200 se realizan 3 pruebas a diferentes tiempos de molienda (10, 15 y 20 minutos), también consideramos para el tiempo 0, 500 gr de muestra.

La muestra se trabajó en un molino de 8.58"x11.22" con una carga de bolas de acero es de 20,000.00 gr.

Los resultados de cuatro tiempos de molienda, el % malla -200, se presentan en la tabla N° 4.8.

Tabla N° 4.8: Moliendabilidad

-M200	Tiempo
27,38	0
48,99	10
58,18	15
66,42	20

Fuente: Elaboración propia

Obtenido los datos de Moliendabilidad (Anexo N° 01), se determina la ecuación de regresión de datos de tiempo vs. Pasante (-m200), en el cual se obtiene la siguiente relación lineal:

$$y = 0,506x - 14,2$$

$$Tiempo_{(min)} = 0,506(-m200\%) - 14,2$$

Se obtiene que el tiempo de molienda óptimo es de 16.16 min
(60,00 % -m200)

4.2.4. PRUEBA DE DETERMINACIÓN DE WORK INDEX

COMPARATIVO

Para caracterizar la dureza del mineral o Índice de Trabajo se usó el método comparativo con cuarzo que tiene un Índice de Trabajo de 13,6 Kw-hr/Tc. Para ambos minerales se determinó el tamaño de alimentación promedio F80 (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 luego de la molienda, para ambas muestras (Mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555 y Cuarzo) el tiempo de molienda fue de 15 minutos para ambas muestras, los siguientes datos (Anexo N° 02) son resultados del análisis granulométrico:

F80 cuarzo = 1936,29 μ m (100 % malla -6).

P80 cuarzo = 221,97 μ m.

F80 mineral = 1766,34 μ m (100% malla -6)

P80 mineral = 146,26 μ m.

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

$$13.6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{cuarzo}}} \right) = Wi \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{mineral}}} \right)$$

Haciendo uso de la ecuación de bond se determinó el $W_i = 11.30 \text{ Kw-hr/TM}$ que será el indicador de dureza del mineral en estudio.

4.2.5. CINÉTICA DE FLOTACIÓN SELECTIVA Ag- Pb-Cu-Zn.

Se hace una prueba de flotación selectiva, flotando inicialmente los sulfuros de Ag - Cu – Pb, deprimiendo sulfuros de Zn y Fe; la segunda etapa es la flotación de sulfuros de Zn, activados con sulfato de cobre.

4.2.6. CONDICIONES DE FLOTACIÓN.

La dosificación de los reactivos fue de acuerdo al estándar de flotación de sulfuros Ag - Cu – Pb – Zn, las condiciones de tiempo, pH y dosis de reactivos.

Tabla N° 4.9: Dosificación de reactivos

Nombre	REACTIVOS g/T							
	Tiempo Acond	pH	NaCN	Z11/Z6 g/t	H-150 g/t	CuSo4	CaO g/t	RPM
Molienda	16,16	8,00	30					
Bulk								
Acond I	0,5	8,00		15,0	29,05		1200	1200
Conc Pb I	1,0	8,00						1200
Conc Pb II	3,0	8,00						1200
Conc Pb III	5,0	8,00						1200
Zinc								
Acond II	2,0	8 / 10					2100	1200
Acond III	3,0	10,50		20,0	5,9	180,0		1200
Conc Zn I	1,0	10,50						1200
Conc Zn II	3,0	10,50						1200
Conc Zn III	5,0	10,50						1200

Total reactivos g/t		30	35,0	35,4	180,0	3300	
---------------------	--	----	------	------	-------	------	--

Fuente: elaboración propia

4.2.7. RESULTADOS METALÚRGICOS

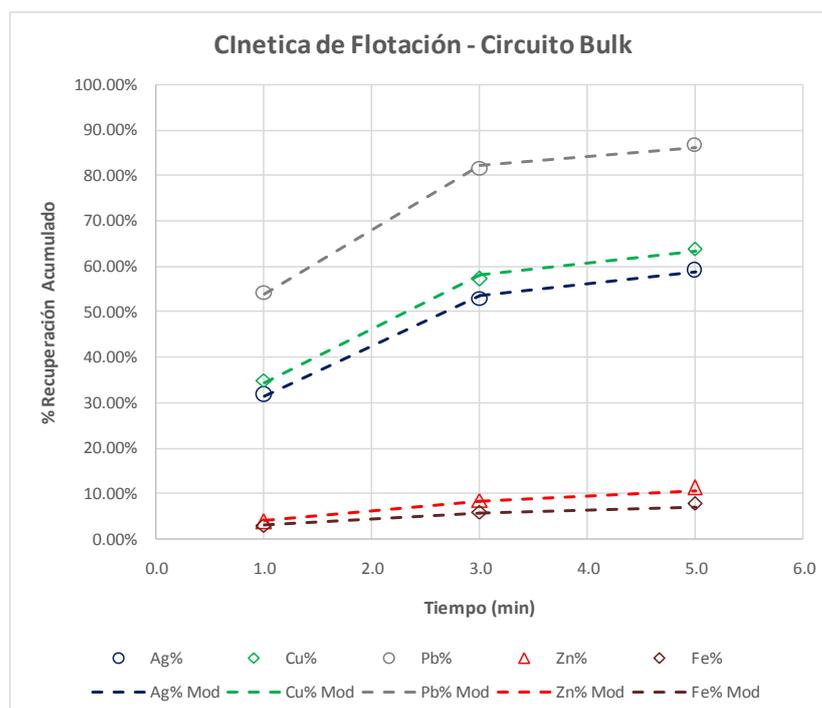
En la tabla N° 4.10 se muestran el balance metalúrgico de la cinética de flotación selectiva de sulfuros:

Tabla N° 4.10: Cinética de flotación)

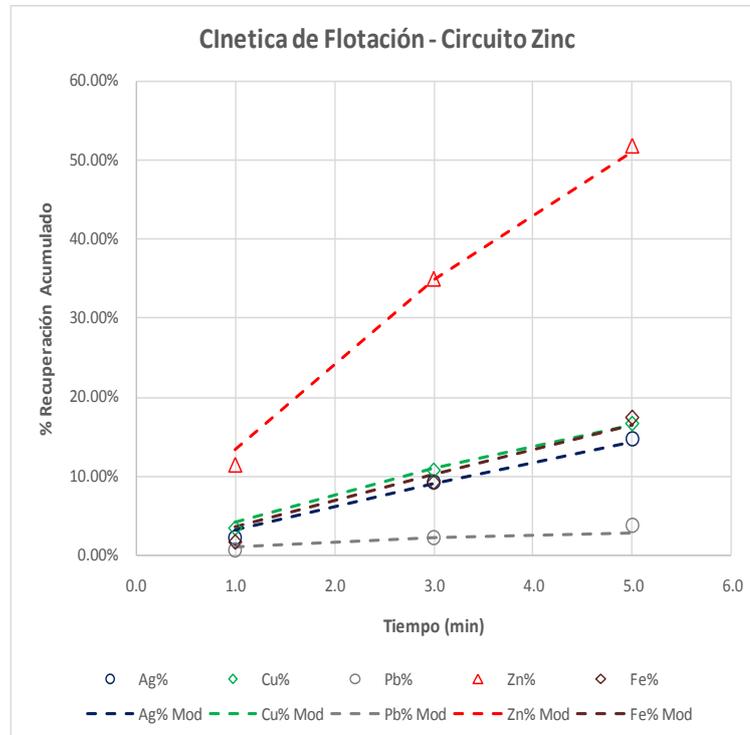
Producto	Peso (gr)	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
			Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy.	1000.00	100.00	348.86	0.12	0.97	1.72	11.13	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc Pb I	27.18	2.72	4539.87	1.61	20.06	2.38	12.19	31.83	35.01	54.22	3.76	2.88
Rlv I Pb			271.60	0.08	0.47	1.70	11.48					
Conc Pb II	29.89	2.99	2725.21	0.93	9.20	2.69	11.86	21.02	22.24	27.35	4.67	3.08
Rlv II Pb			193.82	0.06	0.20	1.67	11.46					
Conc Pb III	16.00	1.60	1544.33	0.53	3.23	3.07	13.32	6.37	6.78	5.14	2.85	1.85
Rlv III Pb			170.51	0.05	0.14	1.65	11.43					
Conc Zn I	17.14	1.71	513.20	0.24	0.36	11.49	11.38	2.27	3.29	0.61	11.45	1.70
Rlv I Zn			164.05	0.04	0.14	1.46	11.43					
Conc Zn II	51.29	5.13	522.57	0.18	0.29	7.88	16.84	6.91	7.39	1.48	23.49	7.51
Rlv II Zn			142.63	0.04	0.13	1.08	11.11					
Conc Zn III	53.36	5.34	394.80	0.14	0.30	5.42	17.61	5.44	5.98	1.59	16.81	8.17
Rlv III Zn	805.14	80.51	125.92	0.03	0.12	0.79	10.68	26.16	19.32	9.61	36.97	74.80
Cab Calc	1000.00	100.00	387.61	0.13	1.01	1.72	11.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
								73.84	64.03	86.71	51.74	25.20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.11: Cinética de flotación – circuito Bulk



Fuente: Elaboración propia
 Figura N° 4.12: Cinética de flotación – circuito Zinc



Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior referido al comportamiento de flotación de sulfuros en el tiempo podemos comentar lo siguiente:

- Los resultados obtenidos en la cinética selectiva nos indica que el mineral en estudio responde a un proceso de flotación de sulfuros, observando que el contenido de valores de Ag y Pb se incrementan al mismo tiempo en el circuito bulk, indicando una probable relación mineralógica el cual se podrá confirmar por microscopía óptica, en el caso del circuito de zinc se observa que presenta una baja cinética.

- El contenido de Zn en el relave es alto debido a la presencia de Manganeso con Alabandita, por lo tanto, una de las oportunidades de mejora serian el incremento de tiempo de la cinética de flotación en el circuito Zn y mayor control de reactivos.
- El mineral que se está tratando tiene un pH bajo de 6,35.
- Se obtienen resultados regulares de Ag y Pb. La recuperación de Ag total es 73,84%, el de Cu fue de 64,03%, el de Pb fue de 86,71% y la de Zn es de 51,74%, en el caso de zinc la recuperación es baja por el desplazamiento en el relave, perjudicando su recuperación.

4.2.8. REGRESIONES ENTRE ELEMENTOS QUÍMICOS.

Con el set de ensayos químicos (espumas y relave) correspondientes de cada etapa se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos con la finalidad de establecer correlación entre pares de elementos químicos y determinar el valor estadístico t-student que expresará la significancia de la correlación, considerando el signo de este valor estadístico si es mayor a 2,0 y positivo habrá una gran posibilidad de encontrar una relación mineralógica y por el contrario si es negativo se tratara de un desplazamiento indebido a causa del proceso de flotación.

En la tabla N° 4.11, se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

Tabla N° 4.11: Regresiones cinética selectiva de concentrado Bulk

Regresiones concentrado Bulk		
Interacción	Correlación	t-Student
Ag-Cu	0,999	36,99
deAg-Pb	1,00	22,38
Ag-Zn	0,968	-5,49
Ag-Fe	0,4233	-0,86
Ag-Mn	0,188	0,482
Ag-As	0,906	3,104
Ag-Bi	0,9853	8,18648
Ag-Sb	0,06182	0,25669
Cu-Pb	1,000	56,74
Cu-Zn	0,95773	-4,7597
Cu-Fe	0,397	-0,81
Cu-Mn	0,168	0,45
Cu-As	0,890	2,84
Cu-Bi	0,978	6,68
Cu-Sb	0,049	0,228
Pb-Zn	0,950	-4,38
Pb-Fe	0,380	-0,78
Pb-As	0,87831	2,6866
Pb-Bi	0,973	5,96
Pb-Sb	0,042	0,21
Zn-Fe	0,602	1,23
Zn-Mn	0,346	-0,73

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.12: Regresiones cinética selectiva de concentrado Zinc

Regresiones concentrado Zinc		
Interacción	Correlación	t-Student
Ag-Cu	0,999	36,99
Ag-Pb	0,10	0,34
Ag-Zn	0,587	1,19
Ag-Fe	0,2924	-0,6429
Ag-Mn	0,85725	2,45054
Ag-As	0,506	-1,012
Fe-As	0,95243	4.47446
Ag-Sb	0,996	15,168
Cu-Pb	0,735	1,66
Cu-Zn	0,989	13,392
Cu-Fe	0,050	0,32
Cu-Mn	0,733	2,34
Cu-As	0,053	0,34
Cu-Sb	0,920	4,80
Pb-Zn	0,876	3,75
Pb-Fe	0,148	0,59
Pb-As	0,179	0,66

Pb-Sb	0,879	3,811
Zn-Fe	0,912	-3,22
Zn-Mn	0,906	3,11

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 4.11, se comenta:

Flotación Bulk, en las regresiones realizadas de los ensayos químicos de la prueba de cinética selectiva una relación importante de Pb-Ag con una correlación de 99% y t-student +22,38; esta alta significancia nos indica que en el tiempo de mineral de San Francisco los valores de plomo están muy relacionados a los de plata.

Flotación Zinc, importante resaltar que la mayor correlación se alcanza en el par Cu-Ag ($t = +36,99$) y le sigue en importancia la relación Ag-Sb ($t = +15,17$) además hay una relación mineralógica entre calcopirita y esfalerita ($t = +13,39$).

Es de importancia también resaltar las siguientes correlaciones para tener en cuenta como el de Zn-Mn tiene una correlación de 90% con un t-student (+3,12).

4.2.9. MICROSCOPIA CUALITATIVA CINÉTICA SELECTIVA

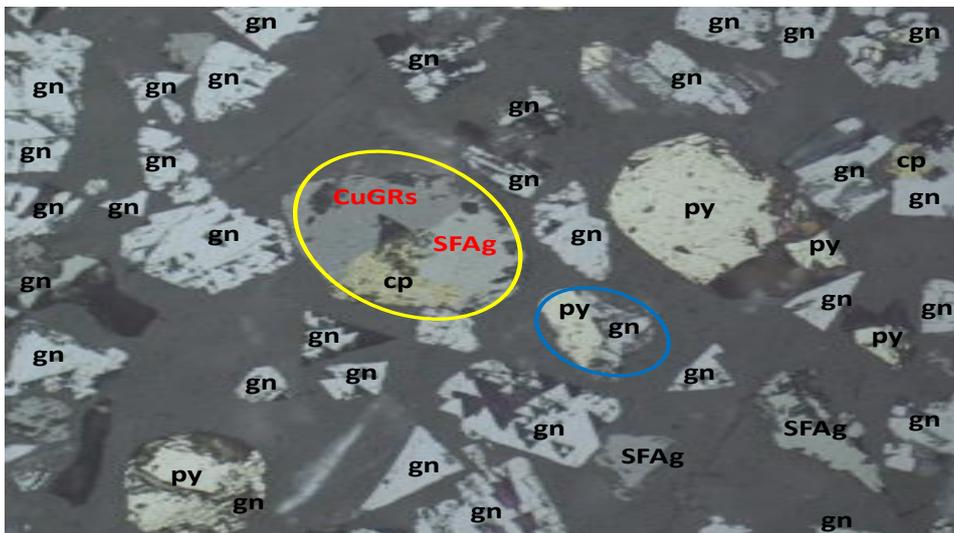
Confeccionadas las respectivas secciones pulidas de espuma de los concentrados y relave final se hizo un análisis cualitativo

bajo el microscopio de luz reflejada en el microscopía el resumen es el siguiente:

4.3: MICROSCOPIA DEL CONCENTRADO BULK

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo partícula mixtos de sulfosal de plata – cobres grises – calcopirita (**SFAg/CuGRs/cp**), dentro del círculo azul un mixto de pirita – galena (**gn/py**). Completando la vista se observa partículas libres de galena (**gn**), calcopirita (**cp**) y sulfuro de hierro.

Figura N° 4.13: Presencia de sulfosales en el concentrado Bulk

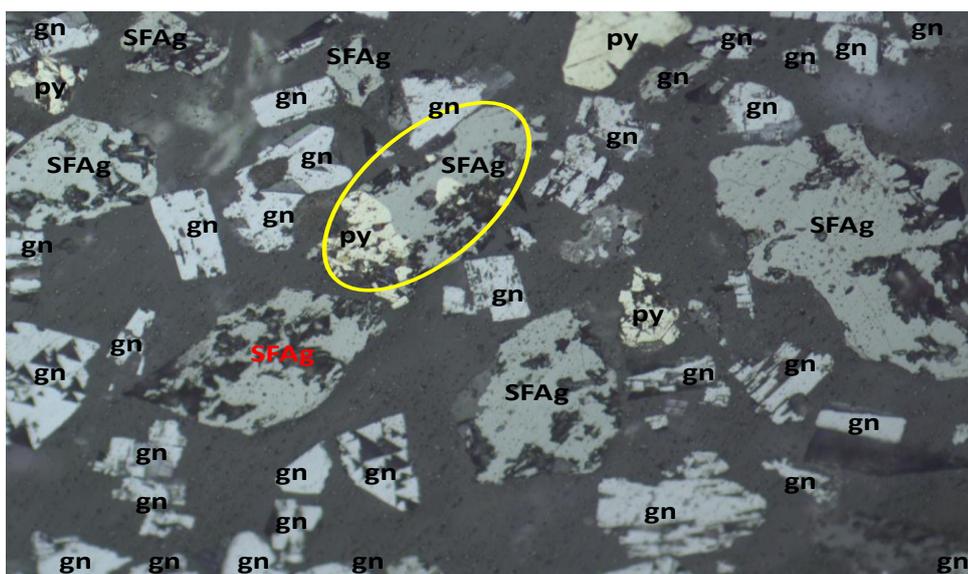


Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo una partícula mixta de sulfosal de plata – pirita (**SFAg/py**), este tipo de partículas

en exceso baja la recuperación de plata. Completando la vista se observa partículas libres de galena (**gn**), sulfosales de plata (**SFAg**) y sulfuros de hierro.

Tabla N° 4.14: Presencia de sulfosales, piritita asociada a la plata

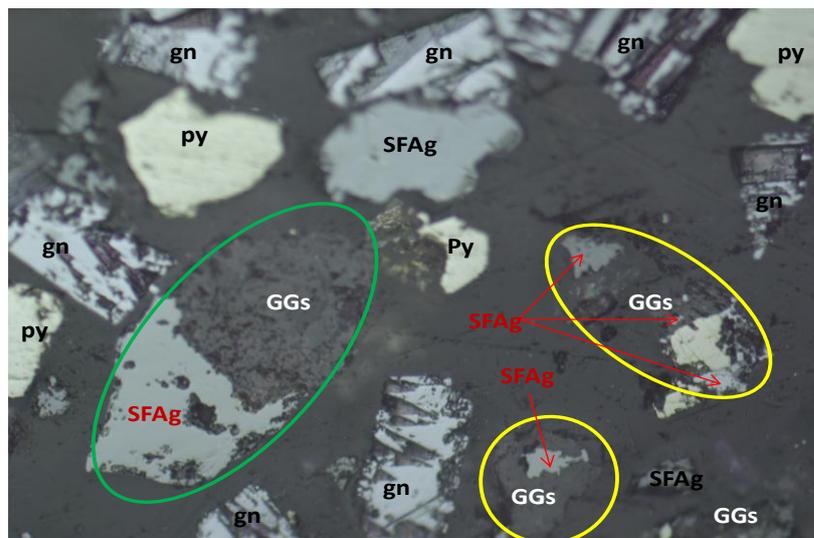


Fuente: Elaboración propia

4.3.1. MICROSCOPIA DEL CONCENTRADO MEDIOS BULK

En la imagen se observa dentro del círculo verde partícula mixtos de sulfosal de plata – ganga (SFAg/GGs), dentro de los círculos amarillos inclusiones de sulfosales de plata en ganga (SFAg-GGs). Completando la vista se observa partículas libres de galena (gn), sulfosales de plata (SFAg) y sulfuro de hierro.

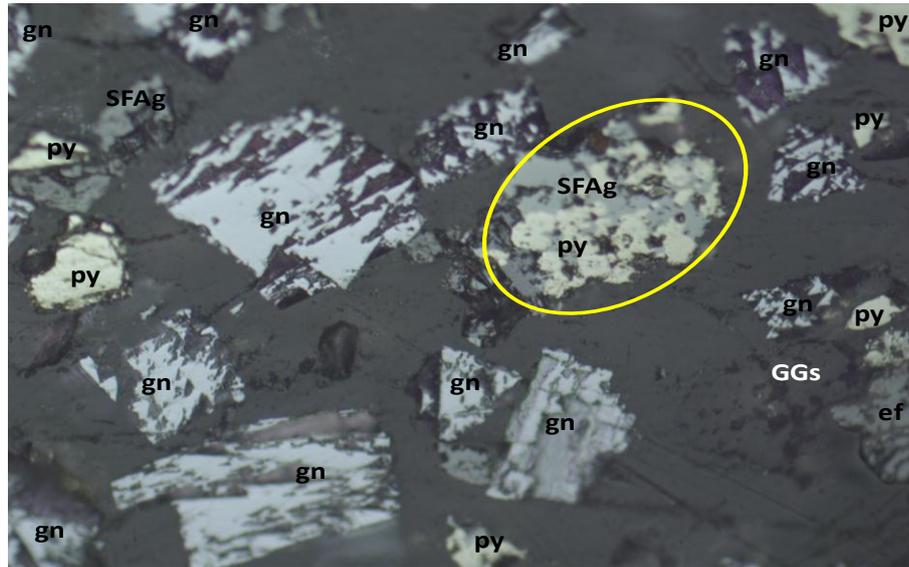
Figura N° 4.15: Presencia de sulfosales y gangas incrustadas en la plata



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo partícula mixtos de sulfosal de plata – pirita (SFAg/py), estos tipos de partículas incrustados es muy difícil de liberar. Completando la vista se observa partículas libres de galena (gn), esfalerita normal (ef), sulfosales de plata (SFAg) y sulfuro de hierro.

Figura N° 4.16: Presencia de sulfosales y pirita incrustadas en la plata

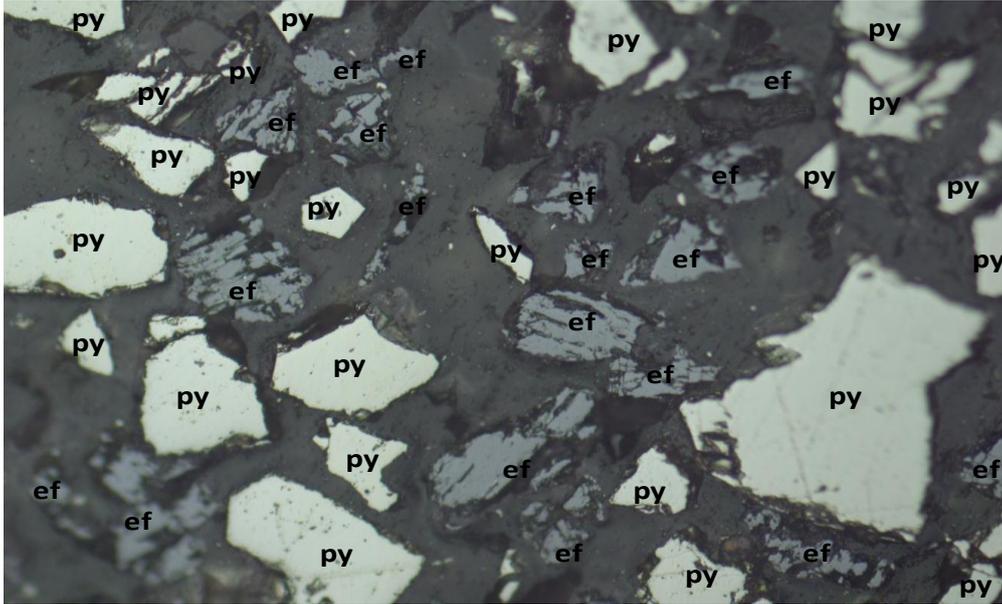


Fuente: Elaboración propia

4.3.2. MICROSCOPIA DEL CONCENTRADO ZINC

En esta imagen se observa partículas libres de esfalerita, también se observa exceso de pirita y estas partículas en mayor cantidad baja la calidad del zinc.

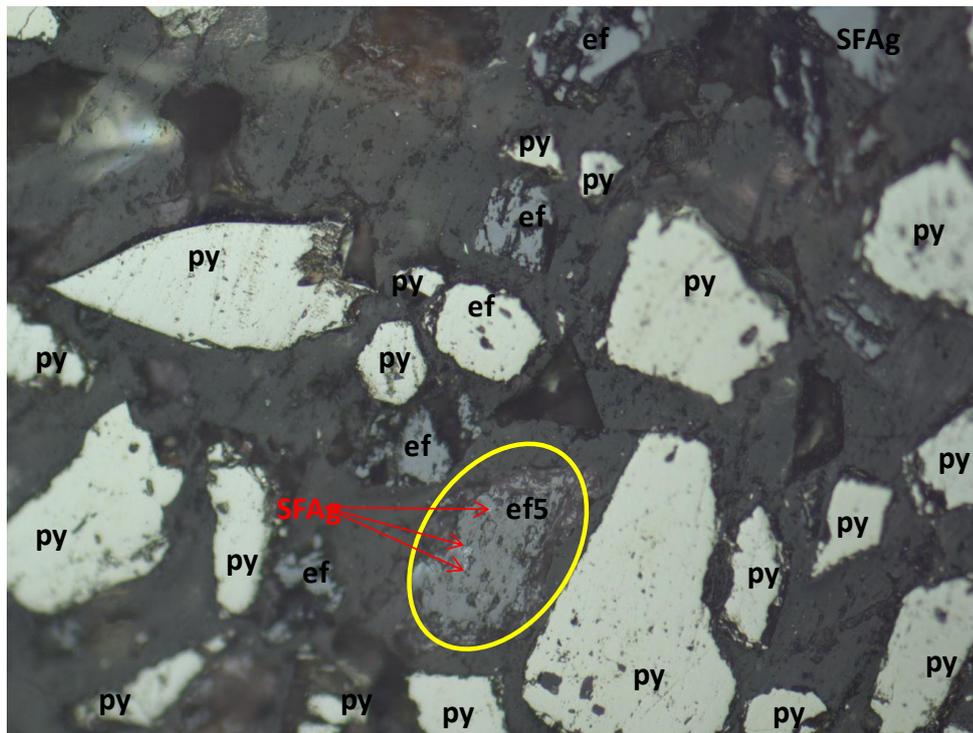
Figura N° 4.17: Presencia de pirita



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo una partícula de esfalerita del tipo 5 (finas de sulfosales de plata con inclusiones en esfalerita normal) (**ef5**), por la presencia de estas partículas el contenido de plata es bajo su recuperación. Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (**ef**) y pirita.

Figura N° 4.18: Presencia de sulfosales incrustadas la esfalerita

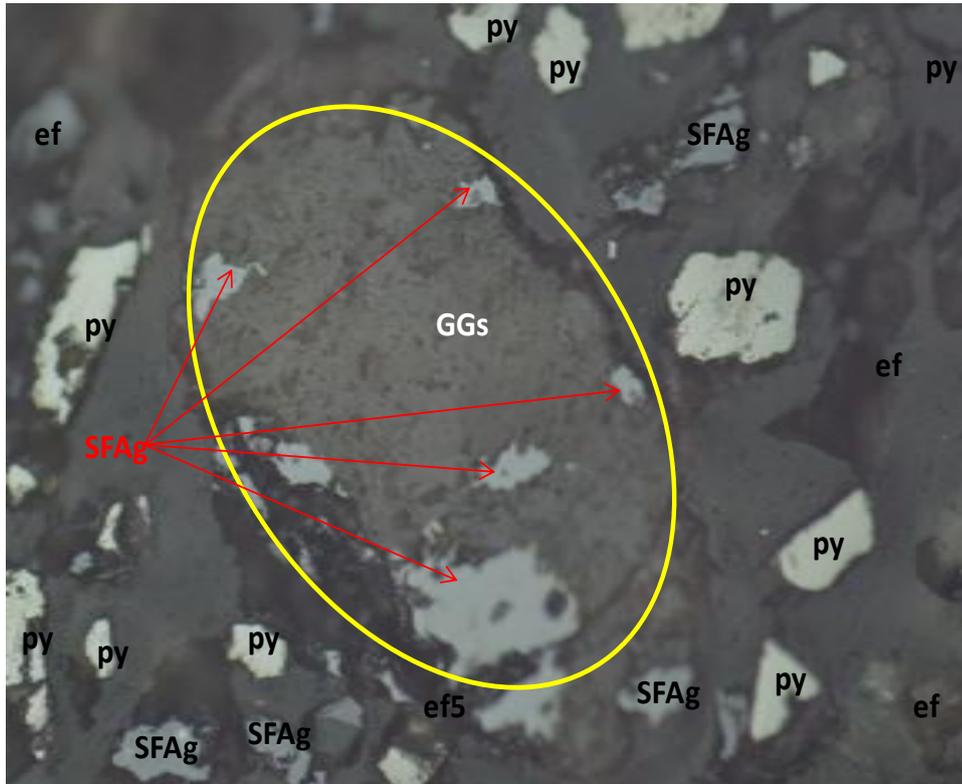


Fuente: Elaboración propia

4.3.3. MICROSCOPIA DEL CONCENTRADO MEDIOS BULK

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo partículas finas de sulfosales de plata con inclusiones en ganga. Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (ef), sulfosales de plata (SFAg) y sulfuro de hierro.

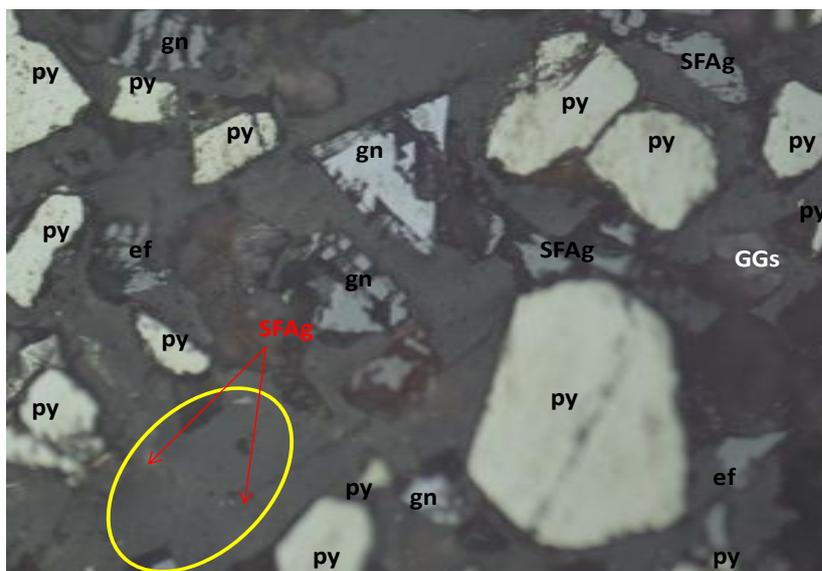
Figura N° 4.19: Presencia de sulfosales incrustada en la plata y en gangas



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo verde una partícula mixto de calcopirita -esfalerita normal (cp/ef), dentro de los círculos amarillos mixto de esfalerita – pirita (ef/py) y dentro del círculo azul mixto de esfalerita – ganga (ef/GGs). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (ef) y sulfuro de hierro.

Figura N° 4.20: Presencia de sulfosales en la plata

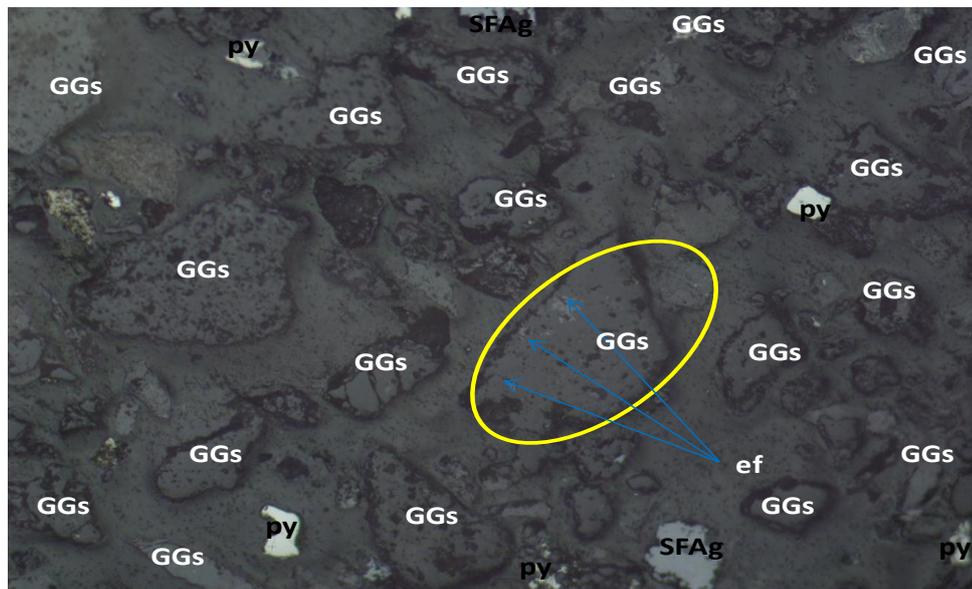


Fuente: Elaboración propia

4.3.4. MICROSCOPIA DE RELAVE FINAL

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo una partícula fina de esfalerita normal incrustada en ganga (**ef-GGs**), este tipo de partículas es muy difícil de recuperar por misma mineralogía que presenta. También se observa partículas libres de sulfosales de plata insolubles y pirita.

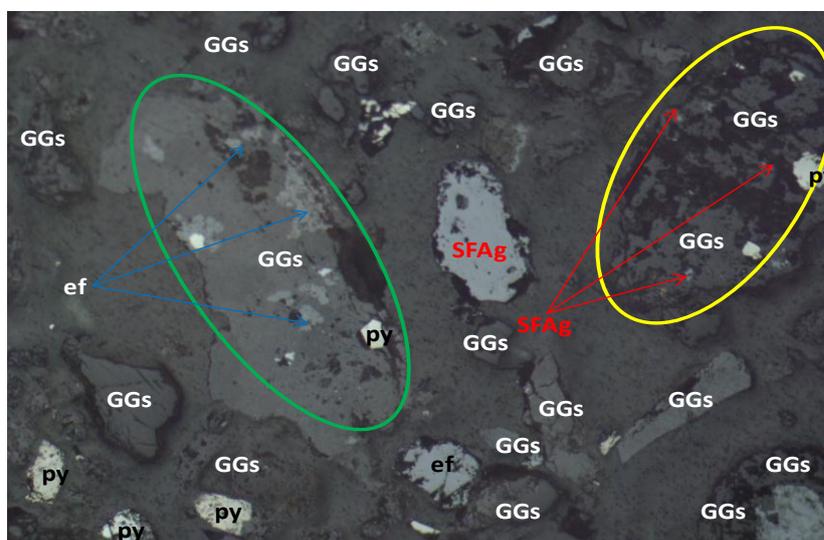
Figura N° 4.21: Presencia de la esfalerita en las gangas



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro del círculo amarillo partículas finas de sulfosales de plata incrustado dentro de la ganga (**SFAg-GGs**) y dentro del cuadro verde inclusiones de esfalerita normal con inclusiones en ganga (**ef-GGs**), estos tipo de partículas es muy difícil de recuperar por misma mineralogía que presenta. También se observa partículas libres de sulfosales de plata (**SFAg**), esfalerita normal (**ef**), partículas insolubles y pirita.

Tabla N° 4.22: Presencia de sulfosales y esfalerita en las gangas



Fuente: Elaboración propia

4.3.5. PRUEBA DE FLOTACIÓN PARA BALANCE METALÚRGICO PROYECTADO

Se hace una prueba de flotación selectiva con etapas de limpieza para estimar los posibles grados de concentrados, los medios de limpieza y el scavenger no se consideran a las recuperaciones y los relaves finales se reajustan en 20.0% de más para estimar el balance metalúrgico por matrices para dos productos.

4.3.6. CONDICIONES DE FLOTACIÓN – PRUEBA DE FLOTACIÓN BATCH

En esta prueba se realizó la dosificación de los reactivos estándares. Las condiciones de tiempo de molienda y flotación, pH y dosificación de reactivos.

Tabla N° 4.12: Dosificación de reactivos

Reactivos gr/ton								
Nombre:	Tiempo (min)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Z-11
molienda		6.4	30					
Ro-Bk	3	8.45		10	603		25	
Scv- Bk	2	8.45		5			6	
1° Cl Bk	3	8.5	5					
2° Cl Bk	3	8.5						
Ac Zn 1°	3	10.5			1055			
Ac Zn 2°	4	10.5			151	201		
Ro Zn	3	10.5					6	7
Scv- Zn	2	10.5					3	3
1°Cl Zn	3	12.25			503			
2°Cl Zn	3	12.25			352			
Total de reactivos en gr/ton			35	19	2663	201	41	10

Fuente: Elaboración propia

4.3.7. BALANCE METALÚRGICO PROYECTADO

Para determinar el balance proyectado se considera lo siguiente:

- Para el concentrado de plomo: para proyectar se consideró solo las limpiezas del rougher bulk, cumpliendo el estándar de planta concentradora.
- Concentrado de zinc: para proyectar solo se consideró las limpiezas del rougher Zinc, cumpliendo el estándar de la planta concentradora.
- Para el relave: los relaves finales se reajustan en 20.0% de más para estimar el balance metalúrgico anteniendo los grados se obtiene el balance metalúrgico de la tabla N° 4.13.

Tabla N° 4.13: Balance metalúrgico proyectado

Balance Metalúrgico Proyectado	%Peso	Ensayes								% Distribución							
		Ag gr /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As%	Mn %	Sb %	%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	As %	Mn %	Sb %
Conc. Pb	2.24	9788.68	3.33	45.89	2.11	4.11	0.69	5.99	1.99	62.86	61.19	88.22	2.94	0.87	8.08	0.79	46.03
Conc. Zn	3.60	447.61	0.53	0.93	25.72	8.33	0.17	9.64	0.14	4.63	15.60	2.87	57.73	2.85	3.24	2.06	5.29
Relave Final	94.16	120.24	0.03	0.11	0.67	10.78	0.18	17.39	0.05	32.51	23.21	8.90	39.33	96.28	88.68	97.15	48.68
Cab. (calculado)	100.00	348.29	0.12	1.16	1.60	10.54	0.19	16.86	0.10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ag gr /ton	Pb %	Zn %
67.49	88.22	57.73

De la tabla anterior se pueden realizar los siguientes comentarios:

- Analizando los resultados del balance proyectado se obtiene un grado de Pb de 45,89% con una recuperación de 88,22% y una recuperación de Ag en el concentrado bulk de 62,86%.
- En el caso del Zn se obtiene un grado de 25,72% con una recuperación de 57,73%; la recuperación de Ag en el concentrado de Zn de 4,63%, obteniendo una recuperación total de Ag = 67,49%.
- La concentración de plata es de 9788,68 gr/ton en concentrado de bulk y en concentrado de Zinc es de 447,61gr/ton.
- El desplazamiento de valores de plata y zinc al relave final se considera alto, perjudicando de alguna manera las recuperaciones.
- El alto contenido de **Manganeso** en la cabeza afecta a los concentrados propiciando la dilución de los valores de interés.

CONCLUSIONES

De los estudios mineragráficos y metalúrgicos a la muestra de Mineral Zona Sur Nivel 180 Estructura Mariana Ramal 1 Labor SN 127 B se concluye:

1. Los rangos de dureza **13,43 Kw-h/TM** se encuentran en valores habituales para nuestros procesos.
2. El alto contenidos de óxidos de plomo y zinc tienen un efecto perjudicial en la recuperación de estos valores.
3. El concentrado de cobre muestra una importante presencia de calcopirita, la presencia de cobres grises es en menor volumen ocasionando una baja concentración de plata en este concentrado, las asociaciones de calcopirita con pirita son responsables del alto contenido de hierro en este concentrado.
4. La relación cobre/plomo (casi 1^a1) no muestra una buena respuesta al método de separación con bicromato teniéndose al presencia de cobre afectando la calidad del concentrado de plomo.
5. Las recuperaciones de plomo se ven afectadas por el contenido de óxidos.
6. La performance metalúrgica para el zinc se afectada por la presencia de óxidos y la inclusión de esfaleritas del tipo 2 y 5 en gangas y piritas arrastrando valores de zinc, plata y cobre hacia el relave, la calidad se ve afectada por el alto contenido de hierro.

7. El alto contenido de plata y cobre en el concentrado de zinc obedece principalmente a la predominante presencia de esfalerita tipo 2 (inclusiones de calcopirita en esfalerita) y esfalerita tipo 5 (inclusiones de sulfosales de plata en esfalerita).

En términos generales el comportamiento metalúrgico de este mineral es malo debido a su naturaleza mineralógica la que asocia y correlaciona valores de interés con gangas o piritas que dan respuestas desfavorables a los métodos usados en nuestros procesos, el cual indica la necesidad de evaluar alternativas que permitan mejorar la performance de los valores de interés.

8. El Mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555, el mineral en estudio contiene alto contenido de plata, los contenidos de plomo y zinc las leyes se encuentran en valores promedios, en el caso del cobre la ley es baja.
9. El Work Index obtenido indica un mineral de baja dureza, resultando $W_i = 11,30$ Kw-hr/TM para el Mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555 considerándose de baja dureza.
10. Analizando los resultados de las pruebas de flotación en el mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555, son los desplazamientos de valores de Ag (32,51 gr/Tn) y Zn (39,33%) al relave, afectando la recuperaciones de estos valores, este efecto se presenta por razones mineralógicas según la

regresión estadística y la visualización en microscopía óptica confirma la presencia de mixtos y libres, los sulfosales de plata incluidas con disminuciones en ganga, el cual perjudica la recuperación de Ag en la primera etapa de flotación (Bulk) y los desplazamientos de estas en el relave.

11. En la prueba de flotación de Zn se puede observar que no presenta un buen comportamiento metalúrgico, obteniendo una calidad de 25,72% con 57,73% de recuperación, el desplazamiento de Zn al relave se debe al alto contenido de manganeso e inclusiones en gangas, estos valores fueron obtenidos en el Balance Metalúrgico Proyectado.
12. Para el caso de la metalurgia del Pb se observa una regular calidad (45,89%), con una recuperación de 88.22% en la primera etapa de flotación bulk.
13. Por lo expuesto se observa que el Mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555, no responde a un proceso de flotación de sulfuros, destacando que la recuperación de Ag se ve afectado por mixtos de pirita y sulfosales de plata incluidas en esfalerita, y en el caso del Zn por inclusiones de esfalerita en gangas y por presentar alto ley de manganeso.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la investigación para determinar si el aporte en mayor cantidad es el mineral San Francisco Zona sur Nivel 500 Tajo 555, que es trasladada hacia la planta concentradora, contribuirá en los desplazamientos de Ag y Zn al relave.
2. Determinar que otra alternativa que se debe tener en cuenta es el de evaluar un reactivo colector secundario de Ag en este mineral,
3. Determinar si un exceso de espumante tendría características muy efervescentes, mientras que muy poco espumante producirá normalmente burbujas con apariencia acuosa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alruiz, O., Morell, S., Suazo, C., & Naranjo, A. (2009). A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuasi grinding circuit. *Minerals Engineering*, 22, 1060-1067.
2. Ayling, B., Rose, P., Petty, S., Zemach, E., & Drakos, P. (2012). QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy): Capability and Application to Fracture Characterization in Geothermal Systems. *37 Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. California: Stanford University.
3. Baum, W., Lotter, N., & Whittaker, P. (2004). Process Mineralogy - A new generation for ore characterization and plant optimization. *SME Annual Meeting*. Denver, Colorado.
4. Becker, M., Harris, P., Wiese, J., & Bradshaw, D. (2009). Mineralogical characterisation of naturally floatable gangue in Merensky Reed ore flotation. *International Journal of Minerals Processing*, 93, 246-255.
5. Craig, J., & Vaughan, D. (1981). *Ore microscopy and ore petrography*. John Wiley & Sons.

6. Deer, W., Howie, R., Zussman, J., Bowles, J., & Vaughan, D. (2011). *Rock-Forming Minerals, Volume 5A: Non-Silicates: Oxides, Hydroxides and Sulphides.*
7. Evans, C., Wightman, E., Manlapig, E., & B., C. (2011). Application of process mineralogy as a tool in sustainable processing. *Minerals Engineering, 24*, 1242 - 1248.
8. Gribble, C., & Hall, A. (1985). *A Practical Introduction to Optical Mineralogy.* United Kingdom: George Allen & Urwin.
9. Hoal, K., Stammer, J., Appleby, S., Botha, J., Ross, J., & Botha, P. (2009). Research in quantitative mineralogy: Examples from diverse applications. *Minerals Engineering, 22*, 402-408.
10. Lotter, N. (2011). Modern Process Mineralogy: an integrated multi-disciplined approach to flowsheeting. *Minerals Engineering, 24*, 1229-1237.
11. Manzaneda Cabala, José (2000). *Procesamiento de minerales mediante la microscopia y diseño experimental.* Editorial San Marcos. Lima – Perú.

12. Moggi-Cecchi, V., Cipriani, C., Rossi, P., Ceccato, D., Rudello, V., & Somacal, H. (2002). Trace Elements Contents and Distribution Maps of Chalcopyrite: a Micro-PIXE Study. *Periodico di Mineralogia*, 101-109.
13. Ndlovu, B., Farrokhpay, S., & Bradshaw, D. (2013). The effect of phyllosilicate minerals on mineral processing industry. *International Journal of Mineral Processing*, 125, 149-156.
14. Pirrie, D., Butcher, A., Power, M., Gottlieb, P., & Miller, G. (2004). Rapid quantitative mineral and phase analysis using automated scanning electron microcopy (QemSCAN); potential applications in forensic geoscience. *Geological Society, Special Publications*, 123-136.
15. Portal Minero. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgía* (Vol. 1). Chile: Portal Minero Ediciones.
16. SGS Minerals Services. (2013). *QEMSCAN Operational Modes*. SGS Group Management SA.