

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
QUÍMICO

ANÁLISIS DEL EFECTO DE ARCILLAS/FINOS EN EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE RADOMIRO TOMIC

Flavia Ximena Rojas Garrido

Profesores Guías:
José Torres Titus
Jorge Santana Cardo

2010

AGRADECIMIENTOS

En algún momento creí que esta ocasión no se presentaría, lo veía muy lejano, pero seguí adelante aferrada a mis sueños. A esos sueños que se presentaron por primera vez en Punta Arenas, en sus calles escarchadas de anhelo y esfuerzo; esas tierras tan australes que me abrigaron con su frío, me acariciaron con la nieve y me hicieron retornar con su viento a la V región.

Al volver a Valparaíso, con mirada indiferente; dejé atrás amigas (os), profesores, que confiaron en mí, me entregaron su cariño; quedando parte de mí en aquella austral región.

Al comenzar la Universidad me sentí como niña con juguete nuevo...en otras palabras; la verdad me creí dueña del mundo y capaz de distinguir lo bueno de lo malo. Que equivocada estaba! ... ya que por poco este sueño se vio amenazado por mi inmadurez, por mi falta de compromiso; al parecer me faltaba un llamado de atención para así reaccionar. Y así fue, a partir de aquel momento pude sortear los obstáculos, algunos con mayor dificultad que otros y fue sólo así, no había otra posibilidad, que comencé a pavimentar el camino que recorreré por un largo tiempo en lo que a lo profesional se refiere.

A pocos meses de terminar la Universidad, en Febrero 2009 hice un viaje que me ayudó a ver todo con más claridad, donde hubo momentos de soledad y compañía en los que caminé sin importar el frío, la nieve, el viento, la lluvia, el cansancio...me pude encontrar, replantear y darme cuenta que estaba lista para seguir adelante y tomar la decisión. Aquella decisión que me llevaría a volar nuevamente hacia el Norte; alejándome por un tiempo de Valparaíso, alejándome de mi familia y amigas (os); viviendo todo muy rápido quizás sin darme cuenta sin siquiera cuestionarme los momentos importantes, situaciones y relaciones que perdería por dejar otra vez todo atrás.

Sin embargo, siento que debía ser de esta manera, así se crece y todo lo que me ha pasado me ha formado; ha hecho de mí lo que soy...

Todo cambió...y sigo en el camino, no quiero salir de él.

Agradezco a:

Dios, por darme la gracia de vivir y disfrutar;

Mis Padres y hermana, quienes me han entregado su amor y apoyo incondicional;

Amigas, Carla, Kathy y Paloma; en fin a todos mis amigos, a cada uno de ustedes que me acompañaron en distintas etapas de la U, de la vida. Son muy especiales y los llevo conmigo;

Mis tíos, tías, abuelas y abuelo, los quiero mucho;

Profesores, por sus enseñanzas académicas, por el apoyo, la confianza y las conversaciones extracurriculares;

A las personas con quienes me relacioné al estar en Calama; Cote, Javier, Jhonny, Paula, Lucho y Pato por hacer más agradable y llevadera mi estadía en esa ciudad.

A Codelco Norte-Radomiro Tomic, a sus trabajadores por permitir desarrollar mi Memoria; especialmente a Miguel Meza Mac-Namara, Héctor Camacho, Pamela Cruz y Nibaldo Castillo.

Al EDMM, a sus trabajadores de la Planta Piloto que me ayudaron en todo: Cristian Barraza, Danilo Bobadilla, Luis Cerda, Daniel Daines, Iván Escobar, Cristian Fernández, Cristian Ramos, Bélgica Rojo, Claudio Díaz, Gabriel Hidalgo, Elizabeth Ramírez, Sergio Rivera, Juan Soto, Fernando Titichoca.

En fin a todos aquellos que de alguna u otra manera participaron en esta experiencia.

Gracias totales.

*En algún momento creí que
esta ocasión no se
presentaría, lo veía muy
lejano, pero seguí adelante
aferrada a mis sueños...
Para mi querido Tata
Guillermo, sólo tú sabes lo
especial que eres para mí.*

NOMENCLATURA

A	: Ampere
cm	: Centímetro
cc	: Centímetro cúbico
CAN	: Consumo de ácido neto
CN	: Consumo Neto
E	: Este
g	: Gramo
gpl	: Gramo por litro
h	: Hora
kg	: Kilogramo
kg Cu	: Kilogramo de Cobre
kg Cu Fino	: Kilogramo de Cobre Fino
kg H⁺	: Kilogramo de ácido
kg H₂SO₄	: Kilogramo de ácido sulfúrico
km	: Kilometro
l	: Litro
m	: Metro
m²	: Metro cuadrado
m³	: Metro cúbico
μm	: Micrón
meq	: Miliequivalente
mm	: Milimetro
min	: Minutos
N	: Norte
O	: Oeste
S	: Sur
TAC	: Tasa de ácido
TMS	:Toneladas de mineral seco
Ton	: Toneladas

RESUMEN

En el presente proyecto se relacionaron las características del mineral, para identificar el efecto de la presencia de arcillas/finos en el mineral del proceso de lixiviación de Radomiro Tomic (RT) División Codelco Norte.

Para lograrlo se trabajó en identificar la presencia de arcillas, granulometría de cada muestra de mineral, leyes de cobre total y cobre soluble, consumo de ácido, conductividad hidráulica y recuperación de cobre en diferentes mezclas de minerales. Considerando 4 unidades geológicas (Óxido superior, Mixto, Óxido inferior, Sulfuro); los resultados obtenidos en esta experiencia fueron:

- **Mezcla de Mineral**, se recomienda en primera instancia realizar la mezcla que se compone de 75% óxido superior y 25% óxido inferior (columna #005) que posee una ley de cobre total de 0,44%; en segundo lugar se recomienda realizar la mezcla de 100% de óxido superior (columna #001) que tiene una ley de cobre total 0,49% y en tercer lugar la mezcla de 25% óxido superior y 75% óxido inferior (columna #007) que arroja una ley de cabeza considerablemente más baja en comparación a las anteriores; que corresponde 0,34%. Por último, no se recomienda ingresar mezcla de 100% sulfuro a las pilas, para realizar la lixiviación convencional, ya que es necesario una fuente de energía que promueva la disolución de cobre en esta unidad geológica (UG) por ejemplo; la presencia de oxígeno o de ión férrico (agente oxidante) para así alcanzar una recuperación mayor.
- **Presencia de arcillas**, la mezcla de mineral compuesta 100% por óxido superior que tiene mayor presencia de montmorillonita, lo que es confirmado al realizar el análisis con el equipo de Espectroscopia de Infrarrojo cercano, NIR 819.
- **Granulometría de mineral**, debe ser lo más homogéneo posible bajo 1 ½", continuando con la granulometría utilizada hoy en planta; para que la solución lixivante ataque la mayor parte del cobre presente.
- **Conductividad hidráulica**, la muestra que presenta una mayor conductividad hidráulica es la que se compone sólo con óxido superior (columna #001), alcanzando 5564 cm/h. Coincidiendo con la realidad, al no presentar problemas de drenaje, irrigación, ni en la distribución de la solución en columna. Sin embargo, al ser tan alto el valor de la conductividad se encuentra que esta unidad geológica perjudica la recuperación de cobre porque el tiempo de contacto entre la solución lixivante y el mineral es muy bajo.
- **Rendimiento de la solución**, la solución lixivante utilizada en Radomiro Tomic, rinde más al atacar óxido superior o a las mezclas que presentan esta unidad, junto con lo

señalado es necesario ajustar el refino de acuerdo a la mezcla cargada para alcanzar una mayor recuperación de cobre.

- **Consumo de ácido**, el consumo de ácido aumenta en la mezcla compuesta por 75% óxido superior y 25% de Mixto (columna #008) alcanzando $2,95 \frac{kgH^+}{TMS}$ y alcanzando una razón de consumo de ácido de $1,04 \frac{kgH^+}{kgCu}$.
- **Recuperación de cobre**, la mezcla compuesta por 75% óxido superior y 25% óxido inferior (columna #005) recupera un 62,25% del cobre, siendo la mezcla que alcanza la mayor extracción de cobre; sobrepasando en un 9,53% la recuperación proyectada inicialmente gracias a los análisis químicos realizados a las muestras de cabeza del mineral.

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	ii
NOMENCLATURA	v
RESUMEN	vi
CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
1 CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PROBLEMA	2
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA PLANTA	5
2 CAPÍTULO II	11
2.1 GENERALIDADES	11
2.1.1 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO RADOMIRO TOMIC	11
2.1.2 UNIDADES GEOLÓGICAS	13
2.1.3 ASOCIACIONES MINERALÓGICAS	15
2.2 LIXIVIACIÓN	16
2.2.1 LIXIVIACIÓN EN PILAS	16
LIXIVIACIÓN PRIMARIA	16
LIXIVIACIÓN DE MIXTOS	22
LIXIVIACIÓN DE ÓXIDOS DE BAJA LEY (OBL)	23
2.2.2 LIXIVIACIÓN EN BOTADEROS	24
LIXIVIACIÓN SECUNDARIA	24
3 CAPÍTULO III	26
3.1 ASPECTOS TEÓRICOS	26
3.1.1 YACIMIENTO PORFÍDICO DE COBRE	26
3.1.2 INFLUENCIA DE LA MINERALOGÍA	30
3.2 ARCILLAS	34
3.2.1 CALIDAD FÍSICA	39
3.2.2 DISPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN LIXIVIANTE EN LA PILA	40
3.2.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	40
3.2.4 CURADO ÁCIDO	49
3.2.5 CONSUMO DE ÁCIDO	49

4	CAPÍTULO IV	51
4.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	51
4.1.1	MONTAJE EXPERIMENTAL	52
4.1.2	DISEÑO DE PRUEBAS	57
5	CAPÍTULO V	59
5.1	RESULTADOS OBTENIDOS	59
5.1.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	59
5.2	GRANULOMETRÍA DEL MINERAL	60
5.3	PRESENCIA DE ARCILLAS	67
5.4	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	68
5.5	RESULTADOS DE COBRE	69
5.5.1	RECUPERACIÓN DE COBRE	69
5.5.2	CURVAS CINÉTICAS DE RECUPERACIÓN DE COBRE	70
5.6	RENDIMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE LIXIVIACIÓN	72
5.7	RESULTADOS DE ÁCIDO	73
5.8	CONSUMO DE ÁCIDO NETO	73
5.8.1	CONSUMO DE ÁCIDO POR COBRE EXTRAÍDO	74
5.9	ANÁLISIS DE CONSUMO DE ÁCIDO POR PRESENCIA DE MONTMORILLONITA	75
5.10	ANÁLISIS A LOS RIPIOS	76
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
7	BIBLIOGRAFÍA	80
8	GLOSARIO	81
9	ANEXO	88
9.1	ANEXO A: INFORMACIÓN DE LIXIVIACIÓN	88
9.2	ANEXO B: PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	90
	PREPARACIÓN MECÁNICA	90
	MUESTREO DE MINERAL	92
	PREPARACIÓN DE MEZCLAS	97
	CURADO ÁCIDO Y AGLOMERADO DEL MINERAL	103
	CARGA DE COLUMNAS	105
	DESCARGA DE COLUMNAS	107
9.3	ANEXO C: PLANILLAS DE CONTROL	110
9.4	ANEXO D: PROCEDIMIENTO DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	114
9.5	ANEXO E: PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE ARCILLAS	118
9.6	ANEXO F: ANÁLISIS DE BRIQUETAS	120
9.7	ANEXO G: ARCILLAS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Asociaciones Mineralógicas	16
Tabla 3.1: Principales especies minerales de cobre más frecuentes	28
Tabla 3.1: (Continuación) Principales especies minerales de cobre más frecuentes	29
Tabla 3.2: Resumen de cinética de las principales especies de cobre	31
Tabla 3.3: Caracterización geoquímica de algunas Arcillas	34
Tabla 3.3: (Continuación) Caracterización geoquímica de algunas Arcillas	35
Tabla 3.4: Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para los diferentes filo y tectosilicatos, medido en meq/100 g	38
Tabla 3.5: Calidad Física según mineralogía de RT	39
Tabla 3.6: Resumen de Conductividad hidráulica	48
Tabla 4.1: Mapeo Mineralógico Visual	53
Tabla 4.2: Análisis químico de muestras de cabeza	56
Tabla 4.3: Condiciones de Operación	58
Tabla 5.1: Presencia de Arcillas (%)	67
Tabla 5.2: Masa de Cu Acumulado.	69
Tabla 5.3: Recuperación de Cu (%)	69
Tabla 5.4: Análisis químico de Ripios	76
Tabla A.1: Condiciones de operación promedio de lixiviación primaria 2009	88
Tabla A.2: Características promedio de semimódulos apilados 2009	88
Tabla A.3: Características promedio de semimódulos apilados 2009	88
Tabla A.4: Características promedio de semimódulos excavados 2009	88
Tabla A.5: Características promedio de semimódulos excavados 2009	88
Tabla A.6: Características promedio de semimódulos excavados 2009	88
Tabla A.7: Promedio de extracción de Enero-Diciembre 2009	88
Tabla A.8: Condiciones de operación promedio de lixiviación secundaria de ripios 2009	89
Tabla A.9: Condiciones de operación promedio de lixiviación OBL 2009	89
Tabla B.1: Composición de mezclas	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación Radomiro Tomic.	5
Figura 1.2: Flowsheet planta Radomiro Tomic.	10
Figura 2.1: Perfil del Yacimiento Radomiro Tomic	12
Figura 2.2: Estación Ramsey	17
Figura 2.3: CV-201	17
Figura 2.4: Pilas de lixiviación primarias	18
Figura 2.5: Canaleta recolectora de PLS	19
Figura 2.6: Tres lagunas desarenadoras	19
Figura 2.7: Tres lagunas de PLS	20
Figura 2.8: Flowsheet Proceso de Lixiviación Primaria Radomiro Tomic	21
Figura 2.9: Flowsheet Proceso de Lixiviación de Mixtos Radomiro Tomic	22
Figura 2.10: Flowsheet Proceso de Lixiviación de OBL Radomiro Tomic	23
Figura 2.11: Rotopala	24
Figura 2.12: Flowsheet Proceso de Lixiviación de botadero de Ripios Radomiro Tomic	25
Figura 3.1: Esquema de un yacimiento porfídico de cobre, cercano a la superficie, erosionado y sometido a fenómenos de meteorización y oxidación	26
Figura 3.2: Disposición interna de la solución	40
Figura 3.3: Flujo de agua en sentido horizontal en muestras de suelo	41
Figura 3.4: Permeámetro de carga constante	45
Figura 3.5: Permeámetro de carga variable	46
Figura 4.1: Diseño de montaje	57
Figura 4.2: Fotografía del montaje de los equipos	58
Figura B.1: Mineral para pruebas	91
Figura B.2: Rótulo de identificación de lotes	91
Figura B.3: Separación de OXS	93
Figura B.4: Especificación de cuarteo	93
Figura B.5: Rótulo de identificación de bolsas	93
Figura B.6: Separación de OXI	94
Figura B.7: Separación de Mixto	95
Figura B.8: Separación de AMS	96
Figura B.9: Separación de Sulfuro	97
Figura B.10: Rótulo para mezclas	98
Figura B.11: Cuarteo de muestras	99
Figura B.12: Fotografía de secuencia de curado y aglomerado del mineral	105
Figura B.13: Fotografía de secuencia de descarga de mineral, pesaje y toma de muestra de humedad	108
Figura B.14: Fotografía de ripios en carpeta para secado	109
Figura C.1: Planilla de control de carga en columnas	110
Figura C.2: Planilla de control de soluciones de alimentación y de salida en columnas	111
Figura C.3: Planilla de control medición de drenaje	112
Figura C.4: Planilla de control de descarga	113
Figura D.1: Muestras de mineral, cortador rifle, bandeja con pala Jis y perméámetros	115
Figura D.2: Bidón de 5 l., probeta de 1000 ml. y humectación de mineral	116
Figura D.3: Disposición de equipo	117

Figura E.1: Equipo NIR 819	118
Figura G.1: Estructura elemental de las arcillas	133
Figura G.2: Estructura de la capa octaédrica	134
Figura G.3: Estructura de la capa tetraédrica	135
Figura G.4: Estructura laminar T-O	136
Figura G.5: Estructura laminar T-O-T	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Diagrama Eh/pH del sistema Cu-S-H ₂ O, a 25°C, que muestra la estabilidad de los óxidos de cobre como campos paralelos limitados por el pH, versus los sulfuros que se limitan por ambos: Eh y pH	32
Gráfico 3.2: Lixiviación de Cuprita con ácido sulfúrico, a 25°C, mostrando la necesidad de un oxidante para el cambio de valencia del cobre	33
Gráfico 3.3: Curvas conceptuales de la conductividad hidráulica de materiales finos y gruesos en función de la succión matricial	44
Gráfico 5.1: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-1	60
Gráfico 5.2: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-2	60
Gráfico 5.3: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-3	61
Gráfico 5.4: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-4	61
Gráfico 5.5: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-5	62
Gráfico 5.6: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-6	62
Gráfico 5.7: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-7	63
Gráfico 5.8: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-8	63
Gráfico 5.9: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-9	64
Gráfico 5.10: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-10	64
Gráfico 5.11: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-11	65
Gráfico 5.12: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-12	65
Gráfico 5.13: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-13	66
Gráfico 5.14: Conductividad Hidráulica (cm/h)	68
Gráfico 5.15: Cinética de Extracción de Cu	70
Gráfico 5.16: Recuperación de Cobre (%)	71
Gráfico 5.17: Rendimiento de la solución lixiviante para pruebas en columna, desde CUPA #001 a CUPA #006	72
Gráfico 5.18: Rendimiento de la solución lixiviante para pruebas en columna, desde CUPA #007 a CUPA #013	72
Gráfico 5.19: Consumo de ácido neto	73
Gráfico 5.20: Razón de consumo de ácido (kg H ⁺ /kg de Cu)	74
Gráfico 5.21: Consumo de ácido neto v/s montmorillonita	75



1 CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La Gerencia de Extracción y Lixiviación Norte del Centro de trabajo Radomiro Tomic de Codelco Chile, se encuentra ubicada en la segunda región de Antofagasta, provincia el Loa, a 40 km. al Norte de Calama y a 250 km. al noreste del puerto de la segunda región y a una altura de 3000 m.s.n.m, dedicándose a la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros metálicos de cobre, incluyendo su procesamiento y comercialización en el mercado internacional.

Desde sus comienzos en el proceso de lixiviación en Radomiro Tomic (RT), se han producido problemas que se presentan cada cierto tiempo, tales como: baja permeabilidad del lecho, derrumbes, canalizaciones, aumento de nivel freático, saturación del cover (carpeta, sistema de drenaje de las soluciones), aposamientos, aumento de sólidos en efluente, entre otros y para evitar estas situaciones no deseadas se han realizado estudios para la determinación y el mejoramiento continuo de la calidad física y de la mineralogía efectuando mezclas de mineral, dosificación e identificación de mineralogía de forma cualitativa, determinación máxima de finos que se pueden permitir en mezclas para no perjudicar la permeabilidad de los lechos, mapeo mineralógico, test de permeabilidad, mapeo geológico de los distintos frentes de la mina.

Sin embargo, la mineralogía y la calidad física del mineral que es alimentado a planta han cambiado respecto de lo esperado, debido principalmente a la presencia de arcillas/finos y minerales alterados. Lo mencionado anteriormente ha afectado a los resultados metalúrgicos en planta, producto del deterioro de las propiedades hidrodinámicas en las pilas, lo que ha llevado a los profesionales de RT a tomar medidas para contrarrestar este efecto; disminuyendo la impregnación, revisando las mezclas alimentadas, entre otras acciones.

Es por esto que se ha tomado la decisión de relacionar las características del mineral, que permita identificar la cantidad de arcillas/finos que presentan distintas mezclas de mineral y así tomar decisiones de forma anticipada para evitar los problemas antes señalados.



1.2 PROBLEMA

La presencia de arcillas/finos contenidos en los minerales oxidados de cobre procesados en la actualidad, se ha convertido en un inconveniente que se presenta de cada cierto tiempo, perjudicando con ello la permeabilidad del lecho, lo que se traduce en problemas operacionales como: derrumbes, canalizaciones, aumento de nivel freático, saturación del cover (carpeta, sistema de drenaje de las soluciones), aposamientos, aumento de sólidos en efluente; afectando finalmente las recuperaciones de cobre en el mineral.

Hace 6 años atrás se presentaron problemas en las pilas de lixiviación primaria relacionadas con la calidad física y a la mineralogía, provocando complicaciones en el proceso de lixiviación, debido a la generación de zonas impermeables al interior de la pila actuando como una pared impidiendo el paso de la solución lixivante, promoviendo de esta manera la disminución de la percolación; derrumbes, arrastre de sólidos en efluente.

Una de las razones es el hinchamiento de las arcillas, producto de la estructura desordenada que poseen éstas, presentando descompensación de cargas, captando cationes o moléculas que son fijadas en los espacios interlaminares.

Por lo anteriormente expuesto, urge tomar medidas que permitan disminuir los efectos adversos producto de las arcillas/finos contenidos en el mineral que ingresa a lixiviación primaria.



1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

Para dar solución a la problemática se propone relacionar las características del mineral que permita identificar la presencia de arcillas/finos en el mineral; de manera de poder establecer cual unidad geológica (UG), constituye la mejor opción para su aplicación a nivel industrial y a la vez tomar acciones oportunas que permitan el mejoramiento continuo del proceso global de la planta, que es la recuperación de cobre.

Es en este contexto, que se propone realizar mezclas con distintas composiciones de UG; óxido superior, óxido inferior, mixto y sulfuro. Eligiendo las que presenten mejores características según resultados de ley de cobre, mineralogía, granulometría, permeabilidad, consumo de ácido y extracción.

Finalmente en base a las pruebas antes señaladas y al realizar el balance metalúrgico será posible generar las respectivas conclusiones y recomendaciones.



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Relacionar las características del mineral, para identificar el efecto de arcillas/finos en el mineral de Radomiro Tomic.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener un levantamiento mineralógico para conocer las especies presentes en el mineral.
- Obtener un levantamiento de granulometría del mineral.
- Obtener un levantamiento de pruebas de permeabilidad del mineral.
- Indicar acciones para beneficiar metalúrgicamente la mezcla de minerales



1.5 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA PLANTA

La Gerencia de Extracción y Lixiviación Norte, Centro de trabajo Radomiro Tomic de la División Codelco Norte, se encuentra ubicada en la segunda región de Antofagasta, provincia el Loa, a 40 km. al norte de Calama y a 250 km. al noreste del puerto principal de Antofagasta y a una altura de 3000 m.s.n.m. En la Figura 1.1 se puede observar su ubicación.

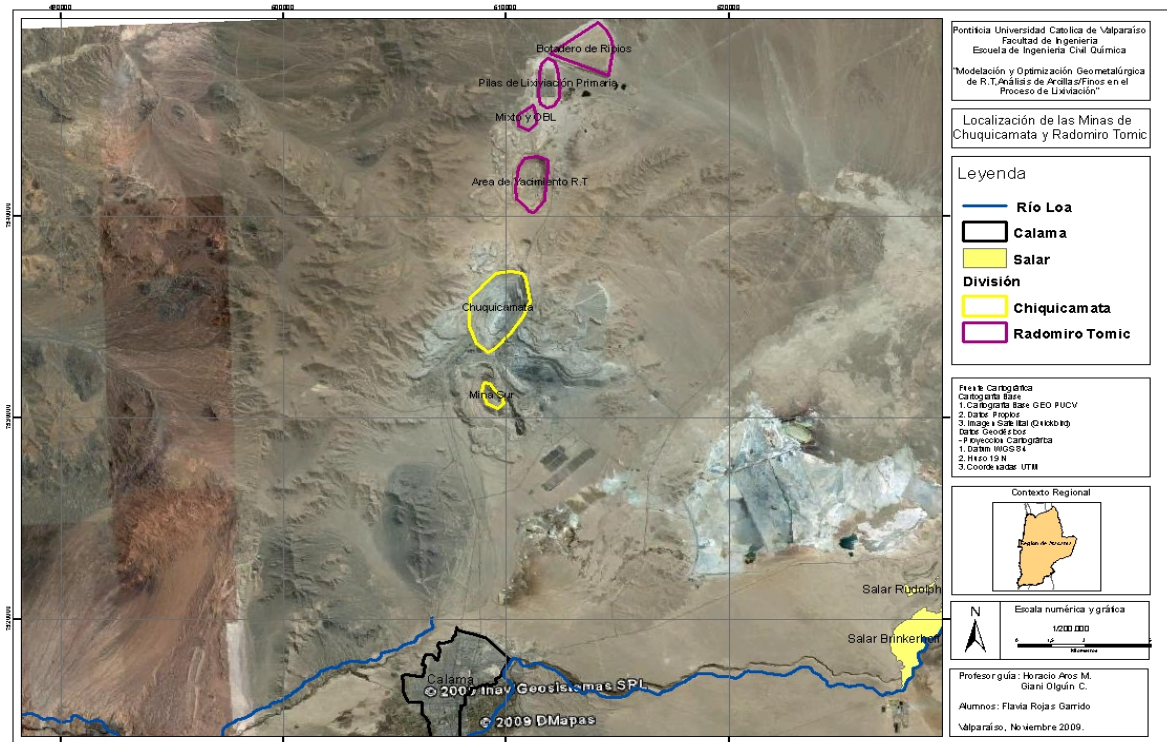


Figura 1.1: Ubicación Radomiro Tomic.

La historia de Radomiro Tomic data del año 1952 con los primeros indicios de mineralización de Anaconda, Pampa Norte. Dieciocho años después, Cobrechuyqui retoma la campaña de sondajes hasta el año 1991. En el año 1992 el yacimiento adopta el nombre de Radomiro Tomic, cuyo nombre es un homenaje al fallecido parlamentario y diplomático Radomiro Tomic Romero (1914-1992). A partir de ese momento se comenzaron a realizar estudios de factibilidad para poner en marcha el proyecto. Fue así como en Septiembre de 1995, se aprobó por el directorio de la Corporación Nacional del Cobre de Chile la ejecución del Proyecto RT; creándose de esta forma la División Radomiro Tomic. Sin embargo, fue al cabo de dos años que la División se pone en marcha, inaugurándose en Mayo de 1998¹.



Éste es un yacimiento de tipo Pórfido cuprífero a rajo abierto, formado por dos macrounidades de óxidos: Óxido Superior (OXS) y Óxido Inferior (OXI). Además de los minerales oxidados mencionados se cuenta con elevados contenidos de especies sulfuradas de Cobre, en la parte inferior y de minerales Mixtos que poseen la característica de estar compuestos tanto por especies sulfuradas como por óxidos. Dichos recursos geológicos superan los 1000 millones de toneladas de mineral de tipo óxido, compuestos principalmente por Atacamita, Crisocola y Arcillas con Cobre; con una ley promedio de 0,615% de cobre total. (0,445% cobre soluble)

El proceso productivo de RT se inicia con la geología del yacimiento, cuyos datos son utilizados por el área planificación mina para diseñar y planificar la secuencia de explotación, utilizando métodos convencionales en perforación, tronadura, carguío y transporte. Para el control y monitoreo de las variables de operación de carguío y transporte, se poseen equipos basados en Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para palas y camiones. La perforación cuenta con GPS de alta resolución, lo que permite un monitoreo y la caracterización del macizo rocoso continuamente, por lo cual se ha reducido considerablemente el gasto de explosivos.

Los minerales oxidados extraídos del yacimiento son cargados y transportados por camiones a la etapa de chancado, donde el material es fragmentado para obtener un tamaño suficiente y dejar expuestos los minerales oxidados de cobre en el proceso de lixiviación.

La etapa de chancado se divide en:

- Chancado primario
- Chancado secundario
- Chancado terciario

La primera fase del chancado, se encuentra constituida por un moderno chancador giratorio Fuller de 60"x 110" que entrega un mineral con granulometría 60% bajo 10". El mineral que es reducido de tamaño en este chancador, es trasladado mediante una correa transportadora hasta el acopio de mineral grueso, a través de alimentadores y correas dispuestas por debajo del acopio. El mineral es conducido por medio de 7 correas de alimentación hacia el edificio de chancado secundario, que está conformado por siete harneros vibratorios y tres unidades Tyler de 8'x 24'. Los cuatro harneros restantes son



unidades Banana Norberg de 8'x 24'; estos harneros clasifican el mineral y alimentan la fracción gruesa a los 7 chancadores Symons de cono estándar de 7'. Una parte del producto de los chancadores secundarios es enviado por correas transportadoras hacia el acopio intermedio. Mientras que la otra parte es transportada por correas hacia la etapa de curado.

Luego que el mineral llega al edificio de chancado terciario a través de 5 correas, compuestas cada una por una correa transportadora, un harnero terciario tipo banana Norberg de 10' x 24' y un chancador terciario tipo Svedala Hidrocono H-8000 de cabeza corta. El producto del chancado, cuya granulometría es de 100% bajo 1 ½", contiene una cantidad importante de finos que deben ser aglomerados a mayor tamaño, por lo cual el material es humedecido con agua de proceso y luego curado con ácido sulfúrico. Esta fase de curado se realiza directamente en las correas transportadoras en la estación Ramsey. Esta etapa de curado tiene una importante influencia sobre la lixiviación, debido a que promueve una cinética rápida de la operación y ayuda a incrementar el grado de recuperación de cobre.

El mineral transportado por correas es dirigido a las canchas de lixiviación primaria, descargado por medio de un puente apilador que va formando 2 pilas dinámicas que miden: 1350 m. de largo por 380 m. de ancho y 10 m. de alto aproximadamente y se encuentran divididas en 13 módulos cada una. El riego de los lechos se efectúa por goteo y/o aspersion con una solución proveniente de SX a la cual ya se le ha extraído la mayor parte del cobre, la cual recibe el nombre de refino (ver Figura 1.2). El refino es enriquecido con la solución fuerte generada por la lixiviación secundaria de rípios y pasa a regar las pilas. El ciclo mínimo de lixiviación primaria alcanza a 45 días, al cabo de los cuales se procede a remover el mineral mediante una rotopala. El mineral que ha cumplido su ciclo en la lixiviación primaria recibe el nombre de rípio, el cual una vez descargado es transportado por correas hacia un spreader, que lo distribuye sobre el botadero para una segunda etapa de lixiviación, en donde se extrae el cobre soluble remanente.

La lixiviación secundaria de rípios, se realiza en "parcelas" de 100 m. por 100 m., con solución refino procedente de la poza de reimpulsión, hasta completar su ciclo superior a 300 días. Las soluciones generadas por esta lixiviación secundaria se mezclan con la solución refino generada por SX, para posteriormente ser enviadas como agente lixivante al proceso normal de lixiviación de las pilas primarias.



La lixiviación de OBL y mixtos se realiza con dos tipos de mineral; la primera con óxidos de baja ley extraídos directamente de la mina con granulometría ROM, sin pasar por la etapa de chancado para apilarlos. El segundo, es ubicado por camiones de alto tonelaje en el stock de mixto para luego chancarlos y obtener una granulometría 100% bajo 1 ½" y enviarlos a pilas permanentes de 30 metros. El ciclo de lixiviación es de 7 meses, con un ciclo de riego de 200 días. El mineral apilado es regado mediante goteros con una solución de refino proveniente de la poza de reimpulsión, que también riega los ripios. La solución rica en cobre es enviada a una poza desarenadora.

La solución fuerte resultante de la lixiviación de las pilas primarias, llamada comúnmente PLS (*Pregnant Leach Solution*), es recolectada sobre una carpeta de polietileno de HDPE, encaminada hacia su respectiva canaleta recolectora. Desde ahí es enviada a tres piscinas desarenadoras y las soluciones obtenidas convergen hacia tres piscinas de almacenamiento y traspaso de PLS; por rebose.

Las soluciones fuertes de lixiviación primaria, ricas en cobre y con alto contenido de impurezas, son procesadas en cuatro trenes de extracción por solventes. Los tres primeros trenes, identificados con las letras A, B, C, cuentan con: dos etapas de extracción, una de re-extracción y una de lavado. En cambio el tren D, más reciente, cuenta con dos extracciones, dos re-extracciones y una etapa de lavado. La planta de SX opera con tecnología VSF (*Vertical Smooth Flow*) de Outokumpu, la cual cuenta con: una unidad de bombeo DOP (*Dispersion Overflow Pump*) en cada etapa, 2 unidades Spirok en extracción y reextracción, y otra en la etapa de lavado.

Para la remoción de orgánico desde el electrolito rico, se emplean columnas de flotación COMINCO, de origen Canadiense, y filtros de electrolito Chuquicamata. El electrolito rico filtrado va al estanque de recirculación desde donde es enviado al proceso de electroobtención.

La nave de electroobtención, utiliza 1000 celdas de concreto polimérico con disposición *back to back*, divididas en seis bancos. Uno de estos bancos es llamado celda de limpieza o scavenger, compuesto por 148 celdas, que recibe la alimentación directa del electrolito filtrado, reteniendo la mayor parte del orgánico y sólidos en suspensión remanentes. El resto de las celdas son comerciales y son alimentadas desde el estanque de recirculación de electrolito. Cada celda está compuesta por 60 cátodos y 61 ánodos. Los ánodos son de plomo-calcio-estaño laminado, el área de depósito catódico de 1 m² y el ciclo de cosecha de



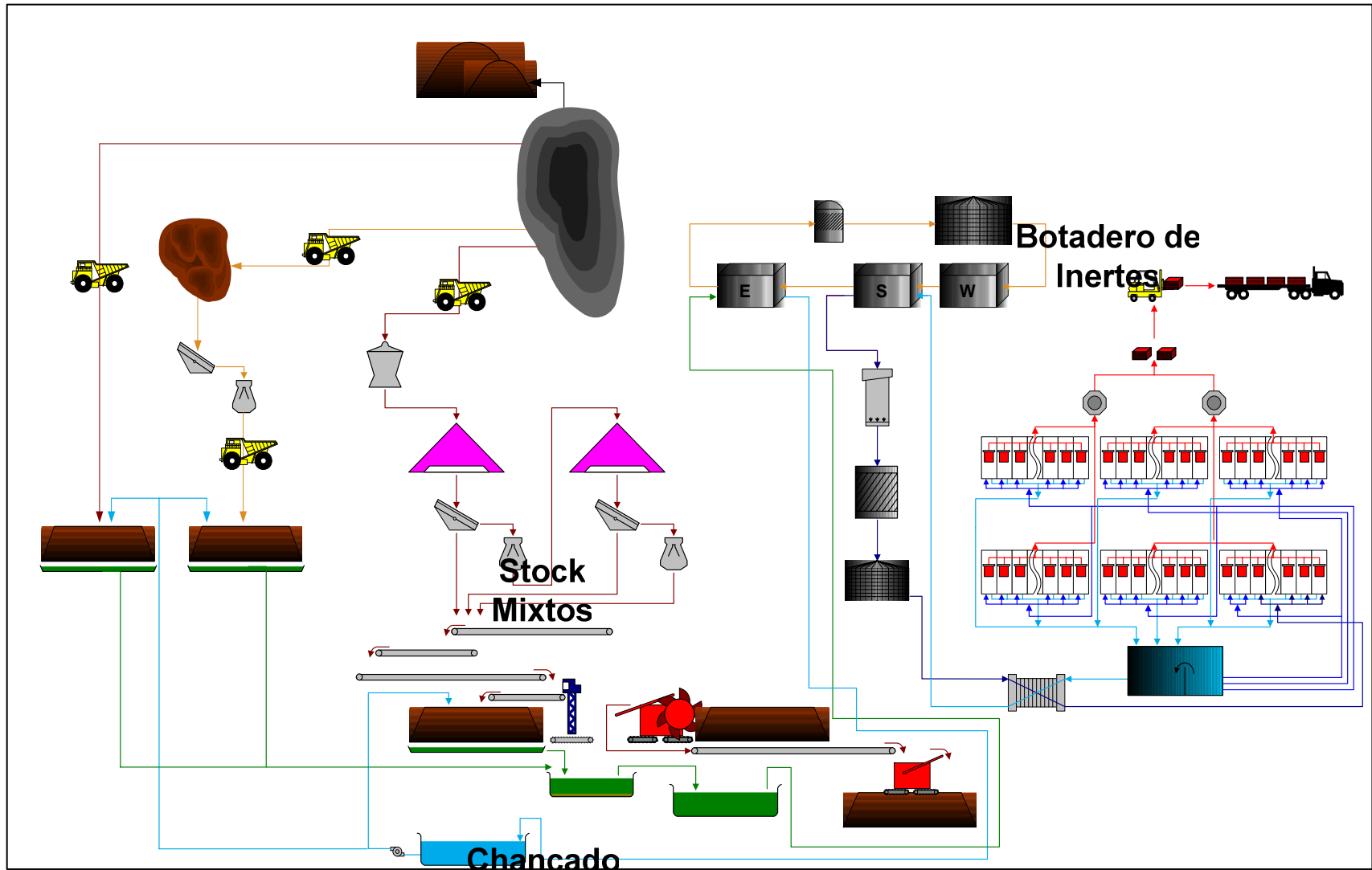
5-7 días. La corriente es alimentada a través de seis transformadores, con corriente máxima de 37.000 amperes y una densidad de corriente que varía de 270 a 300 A/m².

La planta de electrobatería utiliza la tecnología Kidd de cátodos permanentes, disponiendo de tres máquinas despegadoras. Complementariamente, se utilizan cuatro puentes grúas Femont y un sistema de remoción de neblina ácida diseño Desom.

Los cátodos cosechados que son rechazados pasan por una estación de rechazo de productos que no satisfacen la calidad física, en tanto los cátodos aceptados siguen a una estación de muestreo y luego a una estación de corrugado en forma alternada, donde finalmente se preparan paquetes de 30 piezas de alrededor de 2 a 2,5 toneladas para ser embarcados finalmente vía camiones al puerto de Angamos-Mejillones.

En el año 2009, la producción de Radomiro Tomic alcanzó las 755.258 toneladas de cobre fino, aportando 307.600 toneladas.

En la Figura 1.2 se aprecia el esquema general del área productiva de Radomiro Tomic.



Mina

Figura 1.2: Flowsheet planta Radomiro Tomic.
Chancado
Primario

Stock Pile
Grosos

Stock
Interm



2 CAPÍTULO II

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO RADOMIRO TOMIC

La mina RT se ubica al norte de la mina Chuquicamata, en un valle amplio con pendiente suave hacia el norte limitada al este por los cerros de Chuquicamata y al oeste por la Sierra San Lorenzo, formando la subcuenca denominada Pampa Cere de la hoya hidrográfica del río Loa.

El yacimiento corresponde a un depósito pórfido cuprífero con enriquecimiento secundario (Ver Figura 2.1), situado en el ambiente tectónico de la Zona de Falla oeste. El cual tiene un ancho de 1 km. y se extiende por unos 12 km. desde Chuquicamata hasta el sector norte de Radomiro Tomic. Éste cuerpo intrusivo, se encuentra encajado en rocas ígneas terciarias de similar composición de secuencia volcano-sedimentaria mesozoica y granitoides pérmicos; con cristales gruesos de plagioclasa, feldespato potásico, biotita, cuarzo y hornblenda.

En el rajo predomina la alteración potásica con 3 o 4 centros de mayor intensidad, el más importante de ellos se sitúa entre las coordenadas 10000 N y 11000 N, manifestándose como vetillas de cuarzo y feldespato potásico, biotización de los fenocristales de hornblenda y sílice-feldespato potásico en la masa fundamental. Se destaca la alteración cuarzo-sericítica seguida de estructuras de cuarzo con calcopirita y pirita NS y NE subverticales, siendo más fuerte en el margen oeste el cual está afectado por estructuras de la zona de Falla Oeste. Además la zona de alteración potásica está acompañada por zonas de tipo propilítico de un ancho de cientos de metros en una extensión NS de más de 6,5 km¹.

Según el modelamiento mineralógico de la unidad de óxidos, el cual toma en cuenta las características litológicas, patrones de mineralización, alteración, junto con criterios económicos; el yacimiento se divide en once unidades geológicas:

- Grava estéril (GRE)
- Grava exótica (GRX)
- Grava mineralizada (GRC)
- Óxido superior (OXS)
- Óxido inferior (OXI)



- Lixiviado (LX)
- Mixto (MX)
- Sulfuro secundario fuerte (SSF)
- Sulfuro secundario débil (SSD)
- Sulfuro primario (SP)
- Roca estéril (EST)

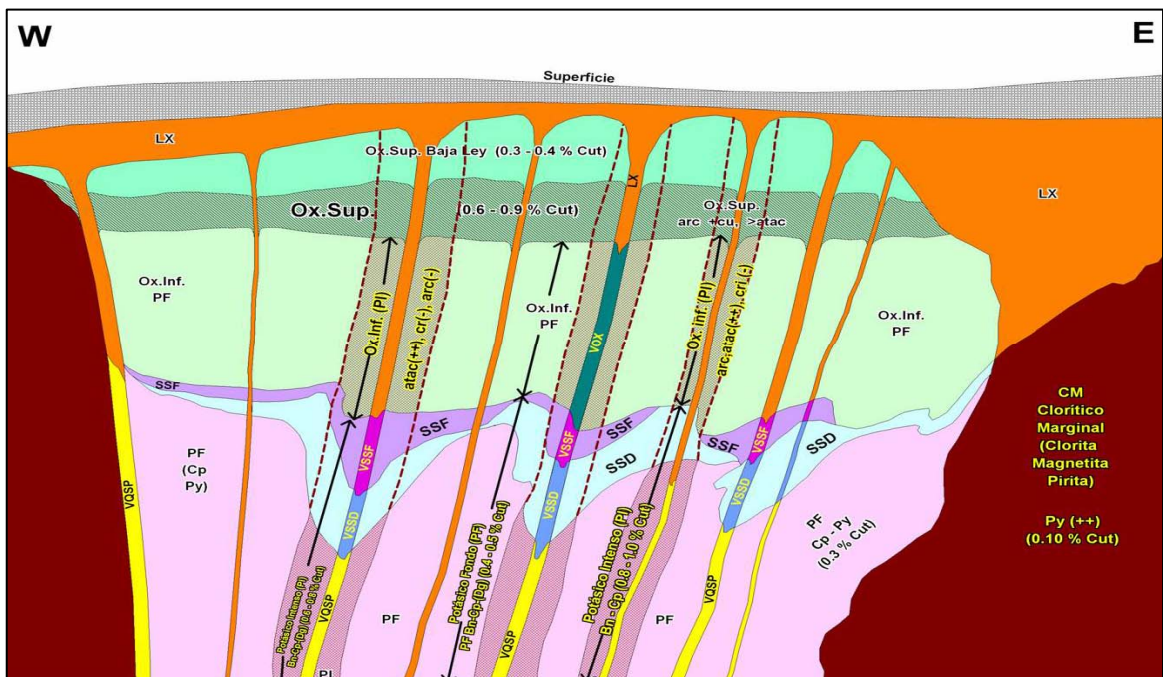


Figura 2.1: Perfil del Yacimiento Radomiro Tomic.

2.1.2 UNIDADES GEOLÓGICAS

Las Unidades geológicas son las siguientes²:

- Grava estéril (GRE): Depósitos sedimentarios que sobreyacen las rocas del área. Clastos, matriz y cemento sin mineralización de cobre observable. $Cu_T \ll 0,2\%$.
- Grava exótica (GRX): Depósitos sedimentarios que sobreyacen las rocas del área, con mineralización de óxidos de cobre (exótico) constituyendo parte del cemento de estos. En general con leyes altas. $Cu_T \gg 0,2\%$.
- Grava mineralizada (GRM): Depósitos sedimentarios que sobreyacen las rocas del área con mineralización residual de óxidos de cobre en clastos y/o matriz. $Cu_T \geq 0,2\%$.
- Óxido Superior (OXS): Zona de mineralización predominante de óxidos de cobre, caracterizada por la intensa variabilidad y grado de intensidad de ocurrencia de las mineralogías y de alteración presentes en la roca. Los minerales de aparición más frecuente y en asociaciones son la atacamita, arcillas con cobre, crisocola y copper wad. La limonita predominante es la goetita y la alteración es más bien supérgena, del tipo argílica intensa caracterizada por montmorillonita.
- Óxido Inferior (OXI): Zona de mineralización predominante de óxidos de cobre, caracterizada por la presencia de atacamita y en menor grado arcillas con cobre, crisocola y copper wad. La limonita predominante es la hematita y la alteración predominante hidrotermal del tipo sericítica y con una componente supérgena del tipo argílica caolín.
- Lixiviado (LX): Rocas indiferenciadas con alteración supérgena, donde predominan los minerales oxidados de hierro (limonitas) y sin mineralización de cobre observable.

- Mixto (MX): Zona de mezcla de minerales oxidados de cobre y sulfuro de cobre (primario y/o secundario). Se define por la coexistencia de un 30% o más de oxidados de cobre y/o un 30% o más de sulfuros, determinados en un volumen relativo.
- Sulfuro secundario fuerte (SSF): Zona de mineralización caracterizada por un grado de enriquecimiento fuerte dado por el reemplazo intenso de minerales primarios por calcosina, por lo cual no se observa presencia de sulfuros primarios de cobre en cantidades mayores a trazas. Las leyes de cobre generalmente son altas, mayores a 0,8% de cobre total.
- Sulfuro secundario débil (SSD): Zona de mineralización caracterizada por un menor grado de enriquecimiento de los sulfuros primarios, siendo característica la presencia de covelina y calcosina predominantes sobre mena en una proporción del orden de 50%.
- Sulfuro primario (SP): Zona de sulfuros primarios, sin diferenciación de abundancia relativa de bornita, calcopirita y pirita.
- Roca estéril (EST): Roca con escasa mineralización ($Cu_T < 0,2\%$) evidenciada por la falta de sulfuros y/o oxidados de cobre. Se diferencia de la unidad lixiviado en que no presenta limonitas que evidencien una lixiviación de mineralización preexistente.

Se diferencian dos grandes macrounidades de óxidos: Óxidos Superiores (OXS) y Óxido Inferior (OXI). Los OXS son heterogéneos en mineralogía, presentando predominio de Atacamita y Arcillas con cobre con menores cantidades de Crisocola y bajas cantidades de Copper wad. Desde el punto de vista químico presenta mayor variabilidad en los valores de Cl y Cl/Cu_T que los OXI y la porosidad y la densidad son fuertemente variables. Los OXI son más homogéneos mineralógicamente, presentando predominio de Atacamita con cantidades menores de Arcillas con cobre y Crisocola y trazas de Copper wad.

La distribución espacial de la mineralogía y las leyes en los OXS, se debe a la acción de procesos supergenos removilizadores que los habrían originado junto con las gravas exóticas. Estos procesos están fuertemente controlados por la paleopropografía, las estructuras y el nivel freático. La paragénesis estaría determinada por variaciones en el pH y

la actividad iónica de las soluciones. Los OXI se habrían formado por oxidación de calcosina, por lo que la paragénesis estaría determinada principalmente por variaciones en el pH.

Las medidas de Cu_T , Cu_S y Fe son mayores en los OXS, las medidas de Mo, Cl y Cl/CuT son superiores en el OXI, la razón Cu_S/Cu_T es similar en ambas unidades.

El orden de predominancia de la mineralogía de mena en los óxidos totales es: Atacamita, Arcillas con cobre, Crisocola y Copper wad. Sin embargo, las proporciones de estos minerales varían notablemente entre OXS y OXI. La atacamita es más abundante en los OXI, pero los otros minerales son escasos. Por otra parte, en los OXS la Atacamita es menos abundante, pero es el mineral predominante. Las Arcillas con cobre, la Crisocola y el Copper wad son más abundantes en los OXS.

2.1.3 ASOCIACIONES MINERALÓGICAS

La abundancia relativa de los minerales, los cambios o contrastes en la intensidad para el mismo mineral o proporcionalmente con otros; es la razón por la que se optó por definir las asociaciones mineralógicas considerando las proporciones relativas entre los principales minerales de mena. El caso del copper wad es especial, ya que su distribución espacial se restringe principalmente a los OXS y específicamente asociado a las arcillas con cobre, por lo que cualquier intento de establecer una asociación mineralógica arroja esencialmente sólo sub-unidades con este mineral. Su abundancia es bastante menor en relación a los restantes minerales de mena principales (Ver Tabla 2.1). Es por estos antecedentes que en Radomiro Tomic, se definen 5 asociaciones mineralógicas, según la proporción de Atacamita, Crisocola y Arcillas con cobre²:

- 1: Unidad con predominio de Atacamita
- 2: Unidad de transición Atacamita-Crisocola
- 3: Unidad de transición Atacamita-Arcillas con cobre
- 4: Unidad con predominio de Crisocola
- 5: Unidad con predominio de Arcillas de cobre

Asociaciones Mineralógicas	% Atacamita	% Arcillas con cobre	% Crisocola
1	70-100	0-30	0-30
2	45-70	0-33	10-55
3	45-70	20-55	0-23
4	0-45	0-55	23-100
5	0-45	33-100	0-45

Tabla 2.1: Asociaciones Mineralógicas.

2.2 LIXIVIACIÓN

La lixiviación, es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener cobre, contactando el mineral oxidado proveniente del yacimiento con una solución acidulada produciendo la disolución parcial o total de el cobre con el objeto de recuperarlo³.

En RT se utilizan 2 métodos de lixiviación:

- Lixiviación en Pilas
- Lixiviación en Botaderos

2.2.1 LIXIVIACIÓN EN PILAS

La lixiviación en pilas se caracteriza por la alta ley del mineral. Dichas pilas pueden ser dinámicas, también denominadas ON-OFF o permanentes. En las primeras el mineral es removido una vez agotado pudiendo reutilizar la base impermeabilizada con otro mineral; en cambio, en la pila permanente una vez agotado el mineral se carga sobre ella una segunda pila, usando la misma membrana de impermeabilización⁴.

➤ LIXIVIACIÓN PRIMARIA

Al concluir con la etapa de chancado el mineral a granulometría 100% - 1 ½" (P80), es transportado por correas a la estación Ramsey (Ver Figura 2.2), es en este lugar donde se realiza el curado con 96% de ácido trabajando con una tasa que va desde 2 a 4 kg H⁺/TMS.



Figura 2.2: Estación Ramsey.

El curado con ácido se realiza con el fin de permitir que este reaccione sobre todas y cada una de las partículas del mineral, logrando una acción de transformación de las especies minerales de cobre que están próximas a la superficie, logrando además inhibir la disolución de algunas especies indeseables de la ganga como el aluminio y la sílice (SiO_2)³.

El mineral que posee una ley promedio de 0,615% de cobre total, previamente curado, con una humedad que bordea el 4 %; es transportado por correas (Ver Figura 2.3).



Figura 2.3: CV-201

El mineral es dispuesto en las canchas de lixiviación primaria (Ver Figura 2.4), descargado por medio de un puente apilador que va formando 2 pilas dinámicas que miden: 1350 m. de largo por 380 m. de ancho y 10 m. de alto aproximadamente, las que se encuentran divididas

en 13 módulos cada una. Los lechos son regados por goteo y/o aspersión con una tasa de riego de aproximadamente $10 \frac{l}{h \cdot m^2}$, por una solución proveniente de SX, que recibe el nombre de refino a la cual ya se le ha extraído la mayor parte del cobre. La concentración de cobre fluctúa entre 1,34 a 3,5 gpl. El flujo de dicha solución varía entre 6200 y 7500 m³/h el cual es repartido en cada pila, según los requerimientos. El ciclo de riego óptimo tiene una duración aproximada de 80 días.

La razón de lixiviación corresponde a 1,1 m³/ton.



Figura 2.4: Pilas de lixiviación primarias.

La solución fuerte resultante, llamada comúnmente PLS (*Pregnant Leach Solution*) con una concentración de cobre que varía entre 5 y 8 gpl, alcanzando una recuperación de cobre del 73,5%. Esta solución es recolectada sobre una carpeta de polietileno de HDPE encaminada hacia su respectiva canaleta recolectora (Ver Figura 2.5).



Figura 2.5: Canaleta recolectora de PLS.

Desde ésta canaleta la solución es enviada a tres lagunas desarenadoras de 10000 m^3 cada una (Ver Figura 2.6). La solución es retenida en estas lagunas para que decanten los sólidos que trae el efluente y así evitar que ocurran situaciones irregulares en la etapa de SX.



Figura 2.6: Tres lagunas desarenadoras.

Luego por rebose, las soluciones que se encuentran en las piscina desarenadoras convergen hacia tres lagunas de almacenamiento y traspaso de PLS de 20000 m^3 cada una (Ver Figura 2.7).



Figura 2.7: Tres lagunas de PLS.

Éstas lagunas están recubiertas de HDPE, lo que evitan que la solución se contamine. Finalmente la solución fuerte rica en cobre, es procesada en cuatro trenes en la etapa de extracción por solventes.

El mineral agotado con una humedad ente 8 y 10% que ha cumplido su ciclo de lixiviación, es retirado de las pilas mediante la rotopala, que tiene una capacidad de 7040 ton/h y es enviado por medio de correas al botadero de ripios (Ver Figura 2.8).

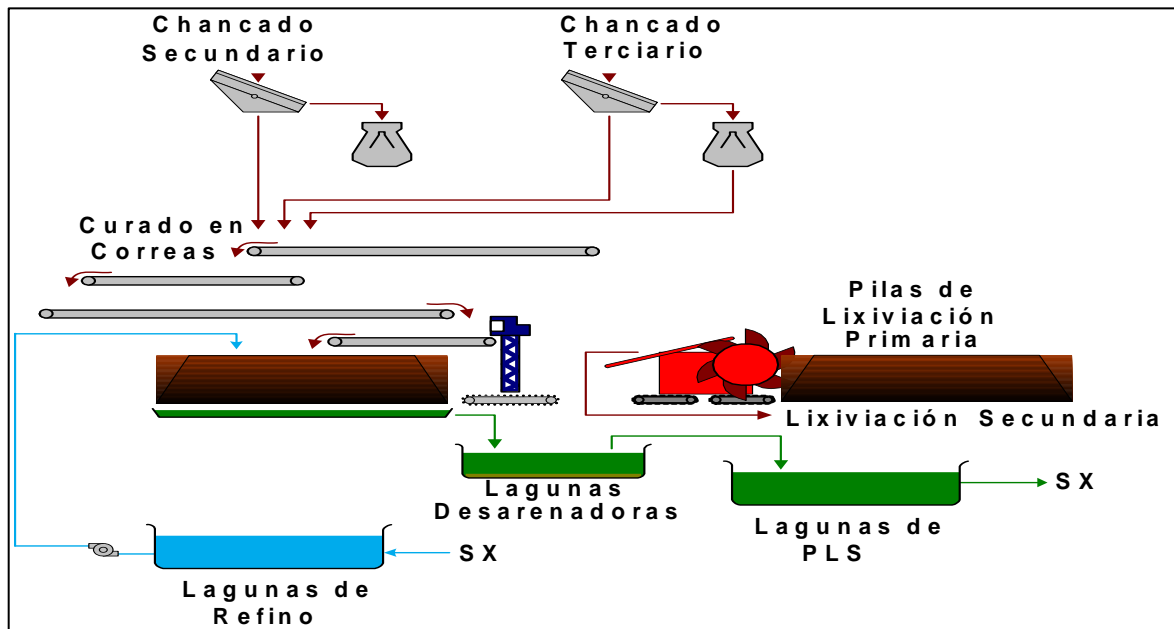


Figura 2.8: Flowsheet Proceso de Lixiviación Primaria Radomiro Tomic.



➤ LIXIVIACIÓN DE MIXTOS

El mineral extraído de la mina, es trasladado por camiones de alto tonelaje al sitio de acopio de alimentación de la Planta de BSF, donde es chancado obteniendo como resultado un mineral con granulometría 100% bajo 1 ½". El mineral es dispuesto en bancos de 30 metros de altura aproximadamente.

El ciclo de riego es alrededor de 7 meses, con refino que posee 0,9 a 1,5 gpl de cobre que proviene del pond de refino Este, donde se almacena el refino que abandona el tren D en la planta SX adicionándole agua y H₂SO₄, mediante riego continuo con una tasa de $10 \frac{l}{h \cdot m^2}$.

La solución que se obtiene de esta lixiviación, lleva de 4 a 5 gpl de cobre y es impulsada mediante bombas desde la poza de reimpulsión, regando los botaderos de rípios alcanzando una recuperación del 62,6%. (Ver Figura 2.9)

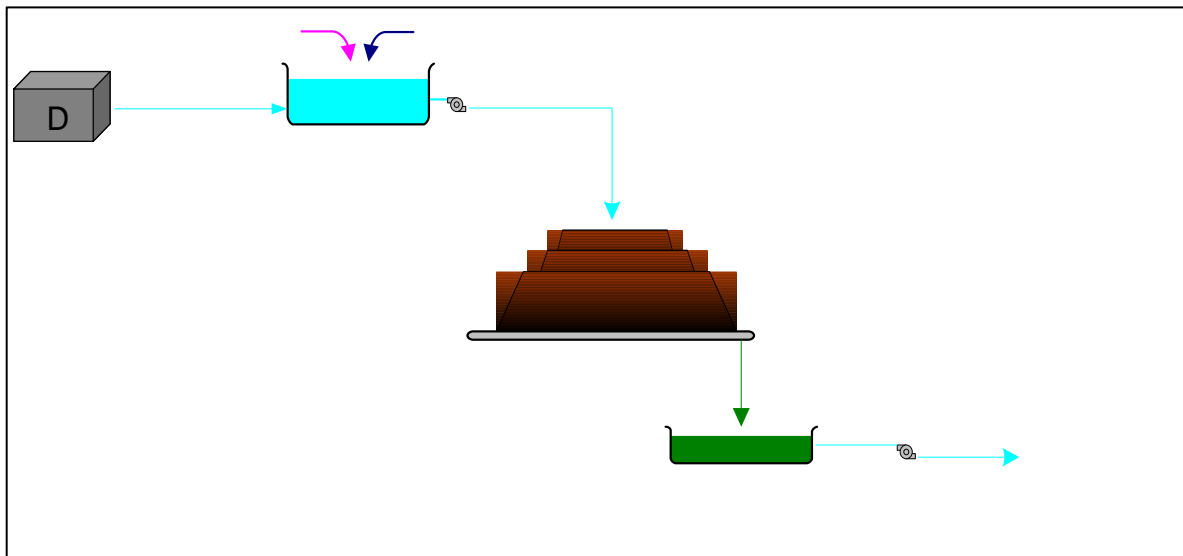


Figura 2.9: Flowsheet Proceso de Lixiviación de Mixtos Radomiro Tomic.



➤ LIXIVIACIÓN DE ÓXIDOS DE BAJA LEY (OBL)

Los óxidos de baja ley son extraídos directamente de la mina, con granulometría ROM (*Run of Mine*), sin pasar por la etapa de chancado y son ubicados en los botaderos por medio de camiones de alto tonelaje formando pilas de 30 metros de altura aproximadamente.

El ciclo de lixiviación es de alrededor de 300 días, el mineral es dispuesto en capas y regado mediante goteros con una solución que tiene 0,9 a 1,5 gpl de cobre que proviene de la laguna de refino Este, donde se almacena el refino que abandona el tren D en la planta SX, adicionándole agua y H_2SO_4 , con una tasa de $8 \frac{l}{h \cdot m^2}$. La solución que se obtiene de ésta lixiviación lleva de 4 a 5 gpl de cobre y es impulsada mediante bombas desde la poza de reimpulsión que riega los botaderos de rípios, alcanzando una recuperación de 34,3%. (Ver Figura 2.10)

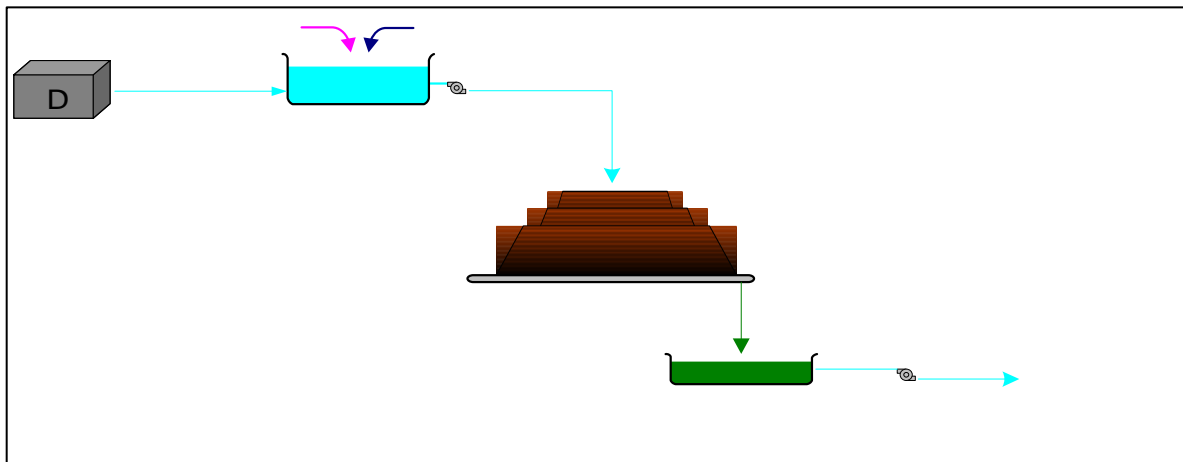


Figura 2.10: Flowsheet Proceso de Lixiviación de OBL Radomiro Tomic.



2.2.2 LIXIVIACIÓN EN BOTADEROS

La lixiviación en botaderos o Dump leaching, consiste en el tratamiento de rípios de operaciones de lixiviación, las que por su bajo contenido de leyes tienen ciclos operacionales muy largos cercanos a un año con bajas recuperaciones entre 40% y 60%, con costos de operación más bajos del mercado⁴.

➤ LIXIVIACIÓN SECUNDARIA

El mineral agotado de las pilas que ya cumplió el ciclo de lixiviación es retirado mediante un recolector tipo pala de rueda con capachos, denominada rotopala (Ver Figura 2.11) y una secuencia de correas transportadoras que descarga el mineral en el botadero de rípios a través del sprader. Los rípios son extraídos de las pilas de lixiviación primaria con una humedad que varía entre un 8 a un 10%.



Figura 2.11: Rotopala.

Los rípios son lixiviados en parcelas de 100 m. por 100 m. con una tasa de riego de 8

$\frac{l}{h \cdot m^2}$, con un ciclo de riego superior a 300 días aproximadamente y una razón de

lixiviación que fluctúa de 0,46 a 0,65 m³/ton. La solución de riego posee 0,9 a 1,5 gpl de cobre y proviene del pond de refino este, donde se almacena el refino que abandona el tren D en la planta SX.



La recuperación de cobre es de un 45% y la solución que posee de 4 a 6 gpl de cobre que se obtiene en esta etapa, se mezcla con los refinados provenientes de SX y los del pond de refino oeste. Esta solución posteriormente riega el botadero de ripios. (Ver Figura 2.12)

Para conocer más sobre las características operacionales de la etapa de lixiviación, ver Anexo A.

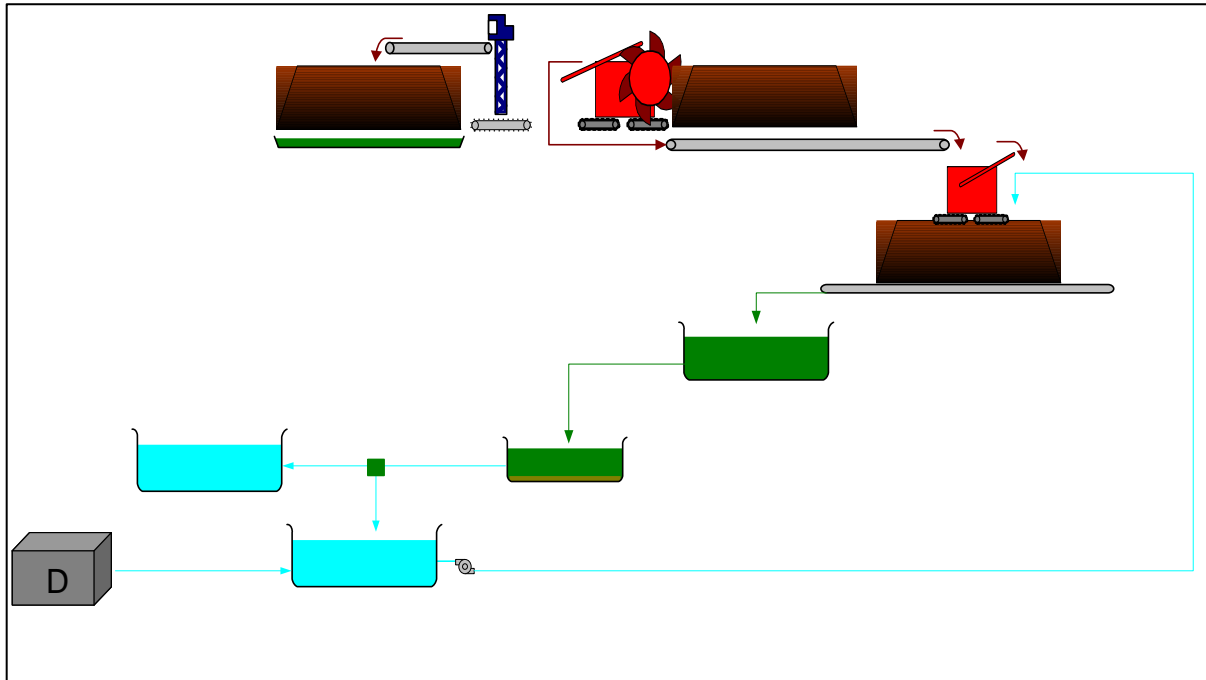


Figura 2.12: Flowsheet Proceso de Lixiviación de botadero de Ripios Radomiro Tomic.

Laguna de Refino Oeste



3 CAPÍTULO III

3.1 ASPECTOS TEÓRICOS

3.1.1 YACIMIENTO PORFÍDICO DE COBRE

Numerosos fenómenos geológicos explican la formación y transformación de los yacimientos minerales hasta alcanzar su madurez para la explotación económica. Es así como el típico yacimiento porfídico de cobre, que originalmente corresponde a un cuerpo intrusivo del tipo Monzonita/Dacita y que contiene mineralización primaria finalmente diseminada en Calcopirita CuFeS_2 , de Pirita FeS_2 , con subproductos como Molibdenita MoS_2 , Oro generalmente en estado nativo como Au^0 y Plata también en estado nativo Ag^0 o como Sulfuro Ag_2S . Ha sido sometido por largo tiempo geológico, medido en millones de años, a una intensa transformación producida por fenómenos redox; destacando primeramente los que suceden en profundidad a altas presiones y temperaturas, las cuales son muy elevadas en comparación a las ambientales. Por otro lado, en las zonas que se encuentran más cercanas a la superficie presentan fenómenos de meteorización y oxidación en condiciones más cercanas a las ambientales³. Por último, considerando la alteración que producen principalmente los cursos de agua superficiales con sus contenidos de oxígeno y sales disueltas, ayudados también por la presencia de bacterias sulfa y ferro oxidantes actuando como catalizadores dan origen al escenario que se describe en la Figura 3.1:

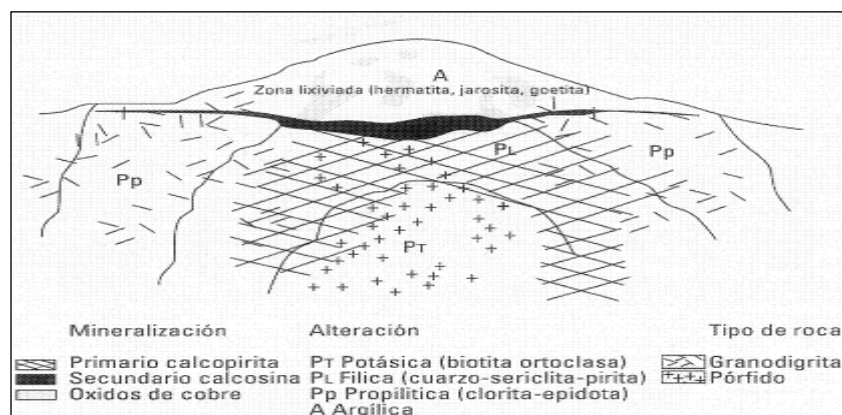


Figura 3.1: Esquema de un yacimiento porfídico de cobre, cercano a la superficie, erosionado y sometido a fenómenos de meteorización y oxidación.

Las soluciones ácidas de sulfato de cobre ya agotadas en su contenido de oxígeno, descienden y reaccionan con nuevos sulfuros, pero ahora en las condiciones reductoras que prevalecen bajo el nivel freático de las napas de agua subterránea. Así gradualmente las especies minerales primarias de Pirita y Calcopirita se van transformando en minerales secundarios del tipo Calcosina/Covelina.

Para que este sistema de minerales en transformación adquiera importancia económica, se debe producir un fuerte desplazamiento y concentración de soluciones mineralizadas, de esta forma pueden llegar a acumularse cantidades económicamente importantes de estos sulfuros secundarios de Calcosina/Covelina, formando lo que se conoce como zona de enriquecimiento secundario.

Una oxidación posterior de esta zona de enriquecimiento secundario, puede dar lugar a la formación de los llamados minerales oxidados, tales como: Crisocola, Tenorita, Brochantita, Malaquita, Atacamita, etc. según el ambiente de impurezas y/o ganga prevaleciente en el entorno en que precipitaron:

- Abundancia relativa de O_2
- Disponibilidad de SiO_2 coloidal
- Presencia de CO_2
- Abundancia de Cl^- , por presencia de agua salada

El ambiente diverso provoca la formación de sulfatos y de óxidos propiamente tales de silicatos, de carbonatos, de cloruros y oxiclорuros, etc³.

De la misma forma en esta etapa de transformaciones secundarias, tienen importancia las reacciones entre el ácido sulfúrico con los minerales de ganga tales como las ortoclasas porque conducen a la formación de arcillas³.

Para que todo lo mencionado anteriormente sea posible, aun considerando tiempos geológicos muy largos, la totalidad del depósito debe sufrir importantes grados de fracturamiento, erosión; de manera que se tenga una permeabilidad global que sea favorable para el desplazamiento de las diversas soluciones mineralizadas, dando lugar a la formación de diferentes especies minerales que se muestran en la Tabla 3.1.



Zona Mneralizada	Especie Mineralógica	Composición	Cobre %
Zona Oxidada Secundaria	Cobre Nativo	Cu^0	100
	Malaquita	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ó $Cu_2CO_3(OH)_2$	57,5
	Azurita	$2CuCo_3 \cdot Cu(OH)_2$ ó $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	55,3
	Chalcantita	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	25,5
	Brochantita	$CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$ ó $Cu_4SO_4(OH)_6$	56,2
	Antlerita	$CuSO_4 \cdot 2Cu(OH)_2$ ó $Cu_3SO_4(OH)_4$	53,7
	Atacamita	$3CuO \cdot CuCl_2 \cdot 3H_2O$ ó $Cu_2(OH)_3Cl$	59,5
	Dioptasa	$CuSiO_2(OH)_2$	40,3
	Neotocita	$(Cu_i - Fe_j - Mn_k)SiO_3$	Variable

Tabla 3.1: Principales especies minerales de cobre más frecuentes³.



Zona Mineralizada	Especie Mineralógica	Composición	Cobre %
Zona Oxidada Secundaria	Cuprita	Cu_2O	88,8
	Tenorita	CuO	79,9
	Pitch/Limonita	$(Fe_i - Cu_j)O_2$	Variable
	Delafosita	$FeCuO_2$	42,0
	Copper wad	$CuMnO_2Fe$	Variable
	Copper pitch	$CuMn_8FeSiO_2$	Variable
Zona de Enriquecimiento Secundario (Supergeno)	Calcosina	Cu_2S	79,9
	Digenita	Cu_9S_5	78,1
	Djurleita	$Cu_{(1,95-x)}S$	Variable
	Covelina	CuS	66,5
	Cobre nativo	Cu^0	100
Zona Primaria (Hipogena)	Calcopirita	$CuFeS_2$	34,6
	Bornita	Cu_5FeS_4	63,3
	Enargita	Cu_3AsS_4	48,4
	Tenantita	$Cu_{12}As_4S_{13}$	51,6
	Tetrahedrita	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	45,8

Tabla 3.1: (Continuación) Principales especies minerales de cobre más frecuentes³.

3.1.2 INFLUENCIA DE LA MINERALOGÍA

En la Tabla 3.1, se muestran las principales especies minerales de cobre más importantes económicamente. Sin embargo, según su frecuencia y relevancia económica, los más importantes entre los minerales oxidados son la Malaquita, la Crisocola y la Atacamita; entre los minerales sulfurados secundarios se encuentran la Calcosina y la Covelina; y entre los sulfuros primarios están la Calcopirita y la Bornita.

Desde el punto de vista de la velocidad de disolución, se pueden observar grandes diferencias entre las especies minerales procedentes de cada zona del yacimiento. Agrupando las especies más comunes en 5 categorías según la cinética³:

- a) **Cinética muy rápida:** se encuentra a los sulfatos de cobre, cloruros y carbonatos. Todos se disuelven con muy poca acidez y a temperatura ambiente. Los sulfatos son solubles en agua; los cloruros liberan el metal y el cloro con facilidad; los carbonatos reaccionan con violencia, liberando cobre y CO_2 .
- b) **Cinética rápida:** en esta categoría se encuentran los silicatos de cobre y los óxidos que contienen Cu^{2+} , Fe^{3+} y Mn^{4+} que para disolverse necesitan de una cierta acidez. En la naturaleza, estas especies se presentan en general como patinas y en fracturas por lo que muestran sus fracturas expuestas, a su vez la Crisocola es de estructura fibrosa y porosa lo que facilita el acceso de las soluciones lixiviantes. En general la disolución comprende la ruptura del enlace relativamente débil Cu-O. Esto se debe a que la disolución de un silicato está directamente determinado por la solubilidad de su óxido principal.
- c) **Cinética moderada:** en esta clasificación se encuentra el cobre nativo y los óxidos reducidos, es decir, que contienen Cu^{1+} y Fe^{2+} . Para disolverse requieren de un oxidante y son sensibles a la agitación, la temperatura y a la oxigenación. Estas estructuras presentan el inconveniente de requerir un cambio de valencia; agregando un paso adicional que retarda la cinética.

d) Cinética lenta: en este grupo están los sulfuros simples de cobre. La lentitud se basa en el requerimiento de oxidar el azufre desde Su^{2-} a S^{6+} . Además se agrega la remoción de uno o más electrones de cobre. En resumen se necesita un oxidante.

e) Cinética muy lenta: se encuentran los sulfuros dobles de cobre y hierro, y de cobre y arsénico. En este caso no sólo se requiere un oxidante sino que además es frecuente que la disolución sea incompleta y se detenga después de alcanzar un cierto nivel (Ver Tabla 3.2).

Cinética Relativa	Tiempo de Referencia	Especies Minerales de Cobre en esta categoría
Muy rápida (a temperatura ambiente)	Segundos a minutos, la disolución es completa.	Carbonatos (malaquita, azurita) Sulfatos (chalcantita, brochantita y antlerita) Cloruros (atacamita)
Rápida (requieren mayor acidez)	Horas, la disolución es completa.	Óxidos cúpricos (tenorita) Silicatos (crisocola y dioplasa)
Moderada (requieren oxidante)	Días a semanas, la disolución puede no ser completa.	Cobre nativo Óxidos cuprosos (cuprita, delafosita) Silicatos. Óxidos complejos con manganeso (neotocita, copper wadd y copper pitch)
Lenta (requieren oxidante)	Semanas a meses, la disolución puede ser incompleta	Sulfuros simples (calcosina, digenita, djurleita, covelina)
Muy lenta (requieren oxidante)	Años, la disolución es incompleta	Sulfuros complejos (bornita, calcopirita, enargita, tetrahedrita)

Tabla 3.2: Resumen de cinética de las principales especies de cobre³.

En resumen, la cinética de lixiviación de las distintas especies de cobre, están directamente relacionadas con el número de electrones que se necesita remover para solubilizar a cada una de las especies.

Para que una reacción química ocurra se requiere de una energía que la provoque. La velocidad de acción estará determinada en gran medida por la magnitud de la energía. Esta energía que promueve la disolución, es proporcionada por la existencia y por la cantidad de iones de hidrógeno presentes en la solución lixiviante; por lo que la cinética de la reacción depende del pH^3 .

Para los minerales sulfurados la energía que promueve la disolución, es proporcionada por la presencia y concentración de oxígeno disuelto o de ion férrico. La lixiviación es promovida y acelerada tanto por la concentración de los iones H^+ como por la presencia de Fe^{3+} . Por lo tanto la cinética de la reacción depende de dos factores el pH/Eh .

En resumen, la mayor parte de los minerales oxidados de cobre responden a lo anteriormente descrito; sus campos de estabilidad están limitados por las líneas de pH constante (Ver Gráfico 3.1).

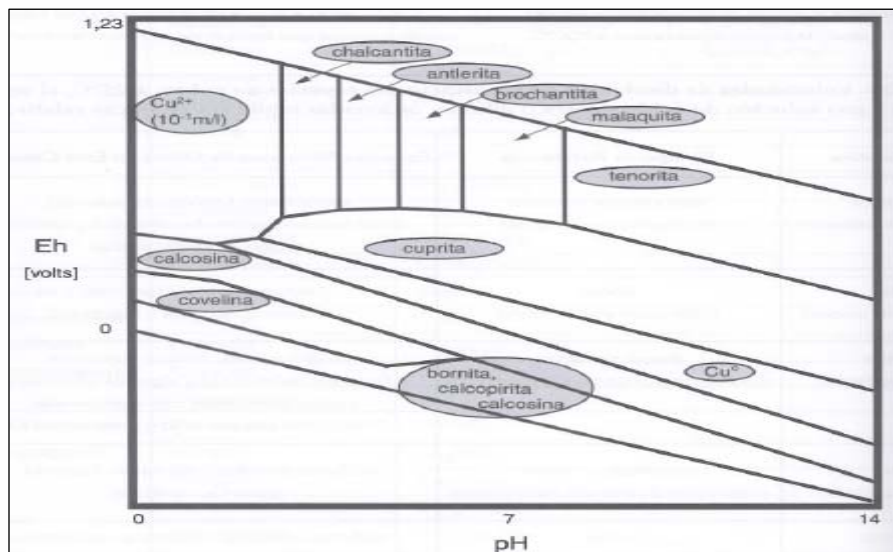


Gráfico 3.1: Diagrama Eh/pH del sistema Cu-S-H₂O, a 25°C, que muestra la estabilidad de los óxidos de cobre como campos paralelos limitados por el pH, versus los sulfuros que se limitan por ambos: Eh y pH.

Por lo tanto su reacción de disolución con ácido:

- No requiere de agentes externos que modifiquen el potencial redox.
- Las magnitudes de las velocidades de reacción son similares.

Sin embargo, existe una excepción la cuprita (Cu_2O) que al reaccionar con ácido resulta lo que se ve en el Gráfico 3.2:

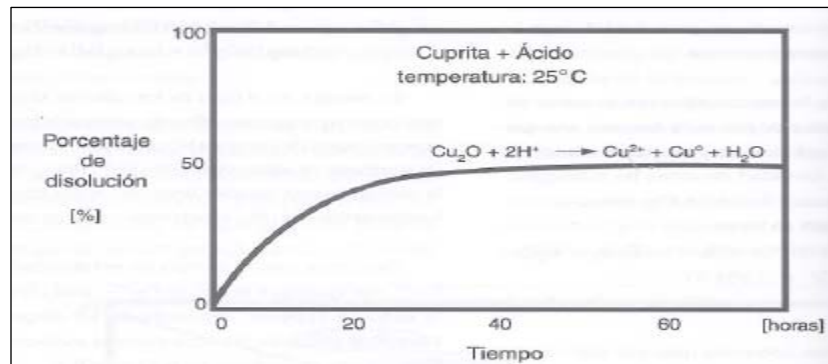


Gráfico 3.2: Lixiviación de Cuprita con ácido sulfúrico, a 25°C, mostrando la necesidad de un oxidante para el cambio de valencia del cobre.

Con la cuprita sólo se puede alcanzar una disolución cerca del 50%, esto sucede por la ausencia de un agente oxidante que ayude a realizar el cambio de valencia del cobre.

La disolución con ácido sulfúrico diluido, es un procedimiento que garantiza buenos resultados en la lixiviación de la generalidad de los minerales oxidados de cobre. La mejor cinética señalada se observa sobre los minerales oxidados de cobre, que ven disminuidos sus tiempos de tratamiento en pilas a menos de la mitad, por efecto de la granulometría que permite una eficaz acción del curado ácido sobre las partículas mineralizadas más cercanas a la superficie³.



3.2 ARCILLAS

Constituyen una mena particular reconocida en el pórfido cuprífero de RT, siendo las más conocidas: Montmorillonita, Sericita y Caolinita. Las cuales forman parte de una fase mineralógica distinta a otras conocidas en el yacimiento. Se presume que las particularidades de las arcillas, están relacionadas con las propiedades de los minerales arcillosos incluidos en el complejo mundo de las sustancias coloidales. A continuación, en la Tabla 3.3 se dan a conocer algunas arcillas⁵:

Nombre	Fórmula	Propiedad (solubilidad)
Attapulgita	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2 \cdot 8H_2O$	
Beidelita	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$	
Caolinita	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	Soluble en H_2SO_4 caliente.
Esmectita	$Al_4((OH)_8Si_4O_{10})$	Se disuelve en medio ácido, es expandible y afecta la percolabilidad.
Gibbsite	$Al(OH)_3$	Insoluble en agua, es soluble en ácido caliente.
Hectorita	$(Mg, Li)_6Si_8O_{20}(OH)_4$	
Illita	$K Al_4Si_7AlO_{20}(OH)_4$	Se descompone y disuelve en medio ácido.
Laumontita	$Ca Al_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$	Alto CIC, estable en pH ácido.
Montmorillonita	$(0,5Ca Na)_{0,7}(Al Mg Fe)_4$ $(Al Si)_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$	Soluble en ácido y se hincha con agua.

Tabla 3.3: Caracterización geoquímica de algunas Arcillas.



Nombre	Fórmula	Propiedad (solubilidad)
Nontronita	$Fe(AlSi)_8O_{20}(OH)_4$	Soluble en HCl .
Pirofillita	$Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$	Insoluble en ácido.
Saponita	$(Mg, Al)_6(Si, Al)_8O_{20}(OH)_4$	Soluble en H_2SO_4
Sericita	$K Al_2(Al Si_3O_{10})(OH)$	Insoluble en ácidos
Vermiculita	$(Mg)_{0,7}(Mg Fe^{3+} Al)_6$ $(Al Si)_8O_{20}(OH)_4 \cdot 8H_2O$	Insoluble en medio ácido y aumenta su volumen al calentarse.

Tabla 3.3: (Continuación) Caracterización geoquímica de algunas Arcillas.

La experiencia sugiere que los minerales arcillosos, pueden generar complicaciones a los procesos de lixiviación debido principalmente a:

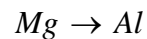
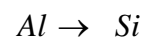
- Generación de zonas impermeables al interior de la pila, promoviendo disminución de la dinámica de las soluciones (percolación). Además de lo señalado, eventualmente pueden ocurrir colapsos y remoción en masa de zonas de la pila, como por ejemplo: derrumbes. Esto se debe a que existen gangas asociadas a Montmorillonita y a Illita que incorporan agua a su estructura derivando en complejidades operacionales como las mencionadas⁵.
- Debido a la alta capacidad de intercambio catiónico de algunas arcillas, durante el proceso de lixiviación, éstas pueden adsorber indefinidamente cationes de interés Cu^{2+} de la solución obtenida, promoviendo así la permanencia de estos en los ripios; disminuyendo de esta manera la eficiencia en la recuperación metalúrgica. Esto es posible porque la mayoría de los minerales de arcillas están cargados negativamente por lo que la mayor parte del intercambio involucran a los cationes que compensan estas cargas negativas.

Sin embargo, existen las gangas asociadas a las siguientes arcillas: caolinita, esmectita, nontronita, saponita; que desprenden agua durante la lixiviación por lo que son benéficas en el proceso⁵.

Por otro lado, mineralógicamente, el término arcilla incluye una parte de los filosilicatos cuyas propiedades dependen de su estructura interna y diminuto tamaño, inferior a 2 micrones. Desde un punto sedimentológico es un concepto granulométrico que involucra los sedimentos con tamaño inferior a 2 μm . Según estas definiciones cualquier mineral puede considerarse arcilla si está incluido en un sedimento arcilloso y cumple el requisito del tamaño.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido que en su mayoría son productos finales de la meteorización de los silicatos, formados a altas temperaturas y presiones, se hidrolizan en el medio exógeno.

Se reconocen 6 grupos, en cada grupo, un elemento típico puede ser reemplazado parcialmente por otro elemento como por ejemplo:



Este tipo de reemplazo da origen a alrededor de 50 especies minerales de arcilla (Ver Anexo G).

➤ **DISTRIBUCIÓN DE CARGA**

La distribución de los sitios de carga en las arcillas, es de vital importancia en la adsorción de iones y de moléculas de agua. Cuando las láminas de mineral son neutras, los oxígenos basales son capaces de donar o aportar electrones formando enlaces débiles con los complejos superficiales acuosos, pero a medida que se incrementan las sustituciones isomórficas dentro de las láminas de silicato, se genera exceso de carga negativa en la superficie, lo cual lleva a los oxígenos a formar complejos cada vez más estables con las moléculas de agua (dipolo) a través de interacciones de tipo puente hidrógeno⁶.



➤ **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)**

La capacidad de intercambio iónico es una propiedad fundamental de las arcillas, especialmente del grupo de las esmectitas en las cuales las sustituciones isomórficas generan cargas permanentes negativas, mientras que el pH del medio circundante conduce al desarrollo de cargas en los bordes que pueden ser:

- Negativas, donde el pH es mayor que el pzc.
- Positivas, en las que el pH es menor que pzc.
- Neutras, donde el pH es igual al pzc.

Las cargas presentes definirán el tipo de iones que se adsorberán sobre la superficie. Cuando prevalecen superficies cargadas negativamente, son los cationes que tenderán acercarse a ella. Las arcillas que forman el grupo de las esmectitas son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio cationico (CIC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un pH determinado. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral (Ver Tabla 3.4).

Silicato	CIC
Sericita (filo)	10 a 40
Caolinita (filo)	3 a 15
Montmorillonita (filo)	60 a 120
Illita (filo)	10 a 40
Clinocloro o Clorita (filo)	10 a 40
Nontronita (filo)	40 a 80
Ortoclasa (tecto)	10 a 40
Anortita (tecto)	10 a 40
Albita (tecto)	10 a 40
Laumontita (tecto)	200 a 300

Tabla 3.4: Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para los diferentes filo y tectosilicatos, medido en meq/100 g⁷.

Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80% de la carga neta de la partícula. Además, es independiente de las condiciones de pH y de la actividad iónica del medio. Los dos otros tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica y corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20% de la carga total de la lámina de arcilla⁷.

3.2.1 CALIDAD FÍSICA

La calidad física de los minerales son de gran importancia en la etapa de lixiviación y extracción por solventes, porque dependiendo de la calidad existirán diferentes consecuencias en el proceso como por ejemplo:

- Derrumbes de módulos
- Efluente barroso producto de derrumbes
- Aposamientos
- Bajas recuperaciones de cobre
- Disminución de la conductividad hidráulica
- Corrida de Crud
- Problemas en los coalescedores

Por lo que se hace necesario complementar de manera cuantitativa las calidades que se entregan de forma cualitativa, con la finalidad de anticipar o prevenir malas calidades físicas. Los encargados de determinar visualmente y en terreno la calidad física son los geólogos, que estando en la corona de las pilas realizan el mapeo. Las calidades físicas de acuerdo a la mineralogía se pueden ver en la Tabla 3.5:





	1	LIXIVIADO CON ALTA GENERACIÓN DE FINO Y ALTA LIMONITA
	2	MATERIAL CON MODERADA GENERACIÓN DE FINO Y LEVE LIMONITA
	3	MATERIAL CON MODERADA A LEVE GENERACIÓN DE FINO Y ESCASA LIMONITA
	4	MATERIAL CON LEVE GENERACIÓN DE FINO

Tabla 3.5: Calidad Física según mineralogía de RT.

3.2.2 DISPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN LIXIVIANTE EN LA PILA

La solución en la pila se mueve en respuesta a diferencias de potencial, siempre desde puntos de alto potencial a puntos de bajo potencial. También responde a la estructura del lecho según el contenido de humedad, ya que un lecho puede presentar diferentes rangos de humedad para un mismo potencial; de modo que no siempre la solución se mueve desde regiones de mayor humedad a regiones de menor humedad.

En general el agua se puede mover como líquido o vapor. Si hay una fase líquida continua el flujo es viscoso, independiente de si el suelo está saturado o no. El vapor se desplaza por difusión y convección. (Ver Figura 3.2)

El flujo viscoso es importante en suelos húmedos y transporte de vapor cuando el suelo está seco. La diferencia de potencial que genera la transferencia de solución se asocia a:

- Fuerzas mecánicas (gravitacional, presión, capilar)
- Fuerzas de difusión (gradientes de presión de vapor, gradientes de concentración, gradientes eléctricos y gradientes térmicos)⁸.



Figura 3.2: Disposición interna de la solución.

3.2.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica es un parámetro esencial en la determinación del movimiento del agua en el suelo y una respuesta para dar solución a los problemas que envuelven la irrigación, el drenaje, entre otros. Representa la mayor o menor facilidad con que el medio sólido deja pasar el fluido a través de él por unidad de área, transversal a la dirección del flujo y depende de:

- Naturaleza de medios porosos (Textura, porosidad, distribución y forma de poros)

- Propiedades físicas del fluido (Viscosidad, gravedad específica, densidad)

Es decir, existe una gran influencia las propiedades del líquido y del medio sólido, en parte queda demostrado en la Figura 3.3, donde se puede observar 2 muestras de perfil de suelo: uno que contiene sólo arena gruesa (a) y otro que contiene arena fina (b). En ambos se indica la ruta que seguiría una partícula de agua junto con el flujo en sentido horizontal; claramente se observa en la figura que el camino recorrido por la masa de agua en la muestra de arena fina, es más largo que en la muestra de arena gruesa.

Concluyendo a priori, que el valor de k es mayor en la muestra de arena gruesa, asociando esta diferencia con la granulometría mayor de las partículas. Sin embargo, en la naturaleza, los suelos contienen partículas de diversos tamaños y existe una influencia de la distribución del tamaño de éstas sobre los valores de k^8 .

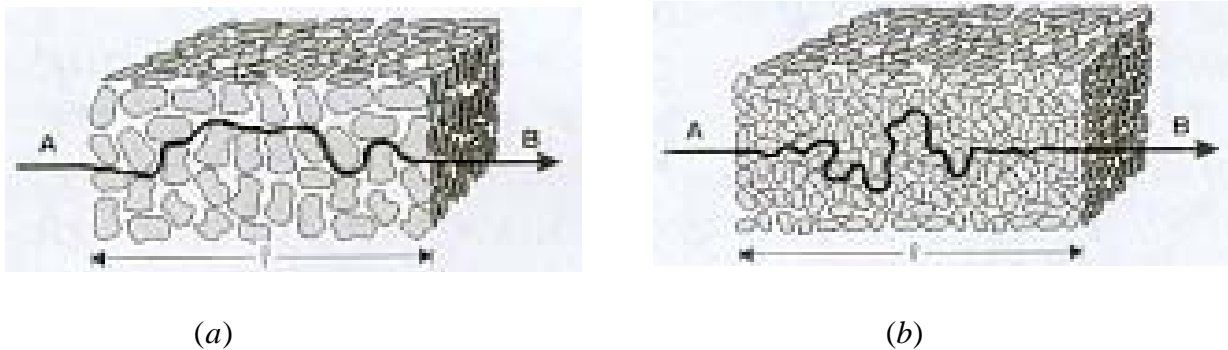


Figura 3.3: Flujo de agua en sentido horizontal en muestras de suelo.

➤ MEDIO SATURADO

El movimiento del agua en el suelo saturado es más simple de comprender y de describir matemáticamente que el movimiento en suelo no saturado, porque en general, el término almacenamiento permanece constante y la velocidad de flujo es directamente proporcional a la fuerza impulsora.

El estudio de la permeabilidad, está ligado al fenómeno dinámico de flujo. Su importancia radica en el hecho que está relacionada con el flujo a través de los medios porosos; por lo tanto involucra sólo a los poros utilizables. La permeabilidad definida en función de la Ley de Darcy, está relacionada con la distribución de tamaños de poros⁹.

➤ LEY DE DARCY

El Ingeniero Henry Darcy en 1856, formuló la siguiente ley que expresa que el flujo de agua en un medio poroso, homogéneo e isotrópico es proporcional a la conductividad del medio poroso o conductividad hidráulica (k) y a una fuerza conductora o gradiente hidráulica (i). Darcy, midió el volumen de agua por unidad de tiempo a través de una columna de arena saturada de longitud (L) y área (A) cuando existía una diferencia de presión hidrostática (h) entre dos puntos.

$$Q = \frac{K \cdot A \cdot h}{L}$$

Donde:

Q: Caudal (L^3T^{-1})

K: Conductividad hidráulica (LT^{-1})

A: Área (L^2)

h: Altura de agua (L)

L: Largo de la muestra de suelo (L)

La fuerza conductora o gradiente hidráulica se puede expresar en términos de carga hidráulica h en suelos saturados y como potencial Ψ en suelos no saturados.

$$h = h_g + h_p$$

Donde:

h : Carga hidráulica total

h_g : Carga gravitacional

h_p : Carga por presión

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_m$$

Donde:

Ψ : Potencial total

Ψ_g : Potencial gravitacional

Ψ_m : Potencial matricial

La ley de Darcy es válida para todo suelo donde el flujo sea laminar: finos, arenas gruesas, arcillas; entre otras. Sin embargo presenta las siguientes limitaciones:

- La constante de proporcionalidad K no es propia y característica del medio poroso sino que también depende del fluido.
- En algunas ocasiones, la relación entre el caudal y el gradiente hidráulico no es lineal. Esto puede suceder cuando el valor de K es muy bajo o cuando las velocidades del flujo son muy altas⁹.

➤ MEDIO NO SATURADO

El medio no saturado está regido por una ley similar a la Ley de Darcy pero con dos grandes diferencias:

- El gradiente hidráulico corresponde al potencial matricial o gradiente de succión Ψ .
- La conductividad hidráulica depende del grado de saturación θ o del potencial matricial Ψ .

Al estar saturado el suelo todos los poros pueden conducir el agua; no existen interfases agua/aire. Sin embargo, cuando el suelo no está saturado, primero se vacían los poros grandes formando meniscos y el agua se sujeta con mayor fuerza al suelo; existiendo gran dificultad en su desplazamiento. Al disminuir el grado de saturación aumenta la porción ocupada por el aire, el cual no es un conductor de líquido. Además el área cruzada efectiva para la convección del agua disminuye y la conductividad hidráulica decrece. En flujo no saturado, el agua se mueve más a través de los pequeños poros.

Al realizar una comparación entre suelos finos y gruesos, se encuentra que los suelos gruesos en rango húmedo (baja succión matricial) presentan una conductividad hidráulica mayor que los finos en el mismo caso. En cambio, cuando el suelo está más seco (mayor succión matricial), la conductividad hidráulica es mayor en los suelos finos que en los suelos gruesos. Es decir, bajo condiciones de saturación (baja succión matricial), el material grueso presenta facilidad para conducir el agua. Mientras que el material fino presenta una conductividad hidráulica menor y tiene dificultad para conducir el agua. Sin embargo, a medida que la succión aumenta, la conductividad hidráulica del material grueso disminuye de manera más rápida que la conductividad del fino, dando lugar a que el material fino se transforme en un mejor conductor (Ver Gráfico 3.3), donde se presentan las curvas

conceptuales de la conductividad hidráulica de materiales finos y gruesos en función de la succión matricial.

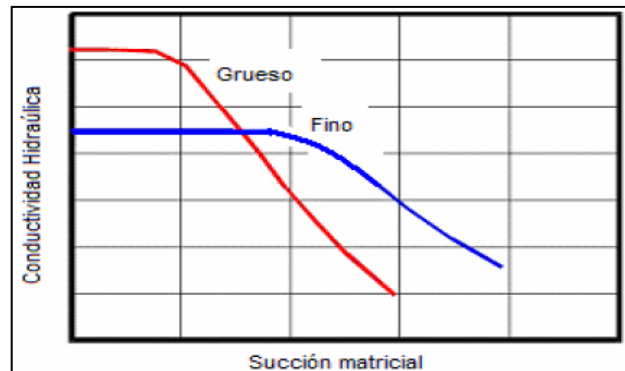


Gráfico 3.3: Curvas conceptuales de la conductividad hidráulica de materiales finos y gruesos en función de la succión matricial.

Lo anterior sucede porque a mayor succión los poros más grandes del material grueso drenan más rápido y dejan de tener la habilidad de conducir el fluido, mientras que sometidos a las mismas condiciones de succión, los poros más pequeños del material fino no han drenado aún y continúan conduciendo el agua. Es por esta razón que el flujo es preferencial hacia la capa de material más fino en los suelos que contienen capas de material fino y grueso⁹.

➤ PERMEÁMETROS

Al trabajar con permeámetros para medir la conductividad hidráulica, se debe tener claro que los valores que se obtienen con este procedimiento son sólo una aproximación al valor real de k . Además se debe verificar que la muestra con la que se realiza la experiencia, esté completamente saturada y que no existan burbujas de aire dentro de ella ya que de existir éstas burbujas disminuiría el valor de la conductividad hidráulica, debido a la reducción en el área disponible para el escurrimiento de agua. Se clasifican en permeámetro de carga constante y de carga variable.

- **Permeámetro de carga constante:** El permeámetro de carga constante se utiliza en caso de sedimentos no cohesivos tales como arena y rocas. Un esquema de este permeámetro se presenta en la Figura 3.4, donde se puede observar una cámara de carga que provee una alimentación de agua a una carga constante, con lo que el agua se mueve a través de la muestra hasta alcanzar un régimen de



equilibrio o estacionario. Para utilizar este dispositivo se genera un flujo a través de la muestra de suelo y luego que se alcanza el equilibrio se mide el caudal de salida desde el permeámetro, además se debe medir la diferencia de carga entre la cámara de nivel constante y el nivel de agua en la salida.

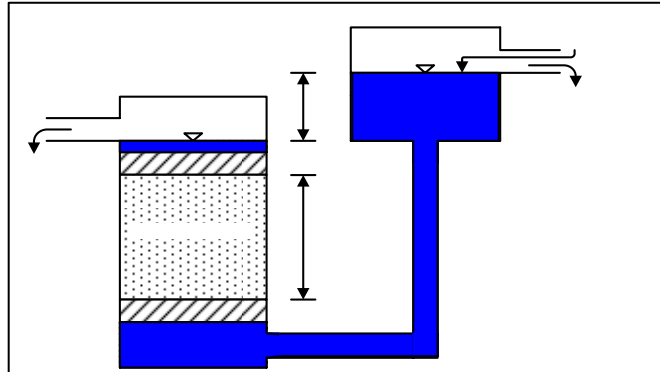


Figura 3.4: Permeámetro de carga constante

Para el análisis de este permeámetro se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = K \cdot A \cdot \left(\frac{h_A - h_b}{L} \right)$$

Donde:

Q

Q : Caudal de salida desde el permeámetro

h_A : Nivel de agua en la cámara de carga

h_B : Nivel de agua a la salida del permeámetro

L : Longitud de la muestra

A : Área perpendicular al escurrimiento

Muestra

Y al multiplicar a ambos lados de la ecuación por un tiempo t durante el cual se realiza el análisis, se obtiene:

$$Q \cdot t = K \cdot A \cdot t \cdot \left(\frac{h_A - h_b}{L} \right)$$

El producto entre el caudal de salida desde el permeámetro y el tiempo representa el volumen aforado durante un tiempo t (V), mientras que la diferencia $(h_A - h_B)$ es

la pérdida de carga total en el permeámetro (Δh). Al sustituir estos valores en la ecuación se obtiene:

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot \Delta h}$$

Donde:

V : Volumen de agua descargado durante el tiempo t (L^3)

L : Longitud de la muestra (L)

A : Área perpendicular al escurrimiento (L^2)

t : Tiempo (T)

Se debe tener presente que la pérdida de carga total en el permeámetro, Δh , no debe ser mayor a un 50% de la longitud total de la muestra. Asegurando que el número de Reynolds no supere los límites de validez de la ley de Darcy.

- **Permeámetro de carga variable:** El permeámetro de carga variable se utiliza en caso de contar con sedimentos cohesivos y con baja permeabilidad. En este caso la cámara de carga de nivel constante se reemplaza por un tubo vertical en el cual se produce el descenso del nivel de agua a medida que ésta atraviesa la muestra de suelo. Para determinar la conductividad hidráulica se anota el nivel inicial de agua en el tubo, h_0 . Luego de un período de tiempo t se mide la posición del agua en el tubo vertical, h . El diámetro interior del tubo vertical, d_t , la longitud de la muestra, L ; así como su diámetro, d_c , son conocidos. En la Figura 3.5 se muestra un esquema del permeámetro.

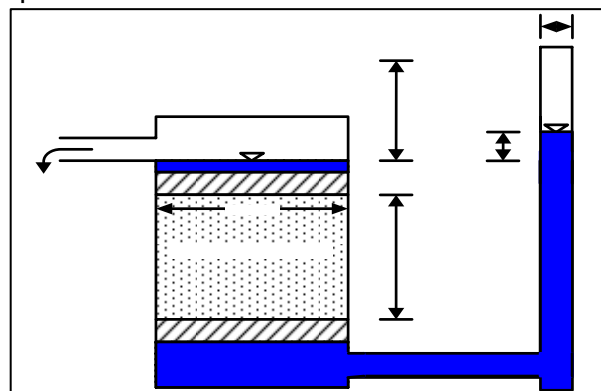


Figura 3.5: Permeámetro de carga variable

La tasa a la cual desciende el agua por el tubo vertical está dada por la siguiente expresión:

$$v_{in} = -\frac{dh}{dt}$$

Al multiplicar la expresión anterior por el área del tubo vertical, A_t , se obtiene el caudal que pasa a través del tubo:

$$q_{in} = v_{in} \cdot A_t = -A_t \cdot \frac{dh}{dt}$$

Si A_c es el área de la muestra de suelo, al utilizar la ley de Darcy para calcular el caudal que drena desde el permeámetro en un tiempo cualquiera se tiene:

$$q_{out} = \frac{K \cdot A_c \cdot h}{L}$$

Donde:

h : Carga hidráulica al tiempo t .

Al aplicar el principio de continuidad se tiene:

$$-A_t \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{K \cdot A_c \cdot h}{L}$$

Despejando la permeabilidad K :

$$K = -\frac{A_t \cdot L}{A_c \cdot h} \cdot \frac{dh}{dt}$$

Al integrar la ecuación desde $t = 0$ a $t = t$ con la condición inicial $h = h_0$ en $t = 0$, se obtiene la siguiente expresión para la conductividad hidráulica en un permeámetro de carga variable⁹:

$$K = -\frac{A_t \cdot L}{A_c \cdot t} \cdot \ln \frac{h_0}{h}$$

Resumiendo (Ver Tabla 3.6):

¿Qué es la conductividad hidráulica?	Es un parámetro esencial para determinar el movimiento de un fluido en el suelo.										
¿De qué depende?	Depende de: Naturaleza de medios porosos (Textura, porosidad, distribución y forma de poros) Propiedades físicas del fluido (Viscosidad, gravedad específica, densidad)										
La conductividad hidráulica en medio saturado	Se rige por la ley de Darcy										
La Ley de Darcy dice	El flujo de agua en un medio poroso, homogéneo e isotrópico es proporcional a la conductividad del medio poroso o conductividad hidráulica (k) y a una fuerza conductora o gradiente hidráulica (i). $Q = \frac{K \cdot A \cdot h}{L}$										
Limitaciones de Ley de Darcy	La constante de proporcionalidad K no es propia y característica del medio poroso sino que también depende del fluido. En algunas ocasiones, la relación entre el caudal y el gradiente hidráulico no es lineal. Esto puede suceder cuando el valor de K es muy bajo o cuando las velocidades del flujo son muy altas.										
La conductividad hidráulica en medio no saturado decrece porque:	Se vacían los poros grandes, formando meniscos y el agua se sujeta con mayor fuerza al suelo, existiendo gran dificultad en su desplazamiento.										
Al comparar suelos finos y gruesos se encuentra que:	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>Rango húmedo (Baja succión)</td> <td>Rango seco (Mayor succión)</td> </tr> <tr> <td>Suelo grueso</td> <td>↑ K</td> <td>↓ K</td> </tr> <tr> <td>Suelo fino</td> <td>↓ K</td> <td>↑ K</td> </tr> </table>		Rango húmedo (Baja succión)	Rango seco (Mayor succión)	Suelo grueso	↑ K	↓ K	Suelo fino	↓ K	↑ K	
	Rango húmedo (Baja succión)	Rango seco (Mayor succión)									
Suelo grueso	↑ K	↓ K									
Suelo fino	↓ K	↑ K									
Una forma para medir la conductividad es en permeámetros; y estos se clasifican en:	<p><i>Permeámetro de carga constante</i>, es para sedimentos no cohesivos tales como arena y rocas.</p> <p><i>Permeámetro de carga variable</i>, es para sedimentos cohesivos</p>										

Tabla 3.6: Resumen de Conductividad hidráulica.

3.2.4 CURADO ÁCIDO

La distribución anticipada de ácido permite que este reaccione sobre todas y cada una de las partículas del mineral, logrando una acción de transformación de las especies minerales de cobre que están próximas a la superficie; logrando además inhibir la disolución de algunas especies indeseables de la ganga como el aluminio y la sílice (SiO_2).

Una vez armada la pila, se aplica el refino, esta encuentra toda la trayectoria a través del lecho de mineral ya acidulado. Disolviendo el sulfato de cobre ya producido por el pretratamiento de ácido, denominado curado ácido.

En RT, para la distribución uniforme de ácido y agua se utiliza un sistema de regadores dispuestos sobre las correas transportadoras que llevan el mineral hacia las canchas de lixiviación³.

3.2.5 CONSUMO DE ÁCIDO

Si se considera la adición de una solución lixivante, refino, en la parte superior de una pila; se puede ver que inicialmente esta solución presenta condiciones de Eh y de pH correspondientes al campo de estabilidad del ion Cu^{+2} .

Sin embargo, si el mineral que se está tratando presenta una ganga alta o medianamente reactiva, a medida que avanza la lixiviación ácida en un frente descendente el ácido se va consumiendo. Lo mismo ocurrirá si la altura del lecho del mineral es mayor, tal que el ácido se consuma antes de llegar a la parte inferior de la pila. En estos casos, se tiene un frente de reacción que impone una acelerada variación en sentido negativo del valor del Eh y un aumento del pH.

Si la velocidad de reacción de la solución con el mineral y la ganga es mayor que la velocidad de reposición del ácido, entonces se puede llegar a perder la totalidad de los iones férrico y luego se consumirán la totalidad de los iones hidrógeno disponible para la lixiviación. De esta forma las condiciones de Eh/pH del refino dejarán de estar en el campo de estabilidad del ion Cu^{+2} y pasarán al campo de dominio de la crisocola, el cobre nativo o

la calcosina. En este punto la solubilidad del cobre es menor que 10^{-6} molar, es decir, despreciable. La rápida neutralización del ácido en la solución de lixiviación es causada por la reactividad de la ganga presente, porque provoca un verdadero frente de acidez descendente. En la parte superior de este frente se tiene todavía acidez suficiente como para estar en el campo de estabilidad del Cu^{+2} . En la parte inferior el Eh ha cambiado desde 0,6 a 0,1 volts y la solubilidad del cobre disminuye bruscamente desde 0,1 molar a 10^{-6} molar, es decir, experimenta una caída de unos 5 órdenes de magnitud.

Si el frente de ácido se produce en la corona del lecho, la baja solubilidad del cobre en las soluciones neutralizadas puede conducir a una precipitación de todo el cobre disuelto en la parte superior. Los precipitados más corrientes en estos casos incluyen cobre nativo, delafosita y calcosina. Por otro lado, si la neutralización sólo se produce en la parte inferior del lecho, puede ocurrir que el cobre disuelto no alcance a precipitarse, pero queda en evidencia que será muy difícil realizar la disolución del cobre remanente en las zonas más abajo de la pila del mineral.

Es por las razones mencionadas que es indispensable que el ácido este distribuido lo más uniformemente posible a lo largo del camino de las soluciones de lixiviación. Idealmente debe haber un ambiente de acidez, lo más uniforme posible. Sin embargo esto obliga a:

- Agregar exceso de ácido en las soluciones de entrada, con el riesgo de un mayor consumo global.
- Limitar la altura de las pilas que se someten a lixiviación.
- Aceptar menores recuperaciones de cobre.

A partir de este punto surge la idea de incorporar un tratamiento previo con ácido al mineral que se incorpora a las pilas de lixiviación primaria. El ácido se debe distribuir uniformemente antes de ubicarlo en las pilas, logrando con esto una dosificación a la medida de cada requerimiento de los minerales de mena o ganga³.



4 CAPÍTULO IV

4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se propone realizar mezclas con distintas composiciones de UG; óxido superior, óxido inferior, mixto y sulfuro para desarrollar pruebas de lixiviación en columnas de un metro. Para identificar las que presentan mejores características y oportunidad de optimización, según resultados de análisis: químico, mineralógico, granulométrico, humedad, permeabilidad, contenido de arcillas, consumo de ácido y recuperación de cobre.

Lo mencionado se realizará con la finalidad de encontrar la relación que existe entre el consumo de ácido, presencia de arcillas, granulometría, permeabilidad y la recuperación para tomar medidas que permitan disminuir los efectos adversos producidos por las arcillas/finos contenidos en el mineral que ingresará al proceso de lixiviación.



4.1.1 MONTAJE EXPERIMENTAL

➤ EQUIPOS UTILIZADOS

- Trece columnas de PVC, cilíndricas de las siguientes dimensiones: largo 1 m. y diámetro de 30 cm.
- 13 Telas filtrantes
- Estanque de Refino
- Trece bombas de alimentación
- Veinte y seis bidones de alimentación (ON)
- Veinte y seis bidones de descarga (OFF)

➤ REACTIVOS UTILIZADOS

- Refino: Cu^{2+} 1,22 gpl; H^+ 16,75 gpl
- Ácido Sulfúrico 96%; $\rho = 1,84$
- Agua industrial

➤ MINERAL UTILIZADO

El mineral utilizado para realizar las pruebas de lixiviación corresponde al yacimiento Radomiro Tomic y de Mina Sur.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

La caracterización mineralógica se realizó de la siguiente manera:

- Se enviaron 13 muestras para realizar análisis de briquetas y así conocer mediante el recuento de puntos calcográficos la presencia de sulfuros, óxidos, ganga y arcillas (Ver Anexo F).
- Se enviaron 13 muestras a Boris Alarcón, Geólogo, para realizar el mapeo mineralógico visual identificando de manera cualitativa las especies presentes en las muestras (Ver Tabla 4.1).

A continuación se señala la mineralogía de cada una de las muestras, analizadas de forma visual:



Mapeo Mineralógico Visual													
Especie Mineralógica	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
AT	43	70	45	0	50	55	65	45	40	45	30	20	10
CRI	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0
ARC	40	5	10	0	30	25	10	30	25	20	27	20	10
CUW	5	0	0	0	3	3	2	4	4	1	5	3	1
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMA	10	25	15	0	17	17	23	10	15	14	10	5	3
TOX	0,5	0,7	0,6	0	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,3	0,1
CC	0	0	15	49	0	0	0	5	8	10	12	25	37
CV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	5	20	0	0	0	2	2	3	5	10	15
BO	0	0	5	10	0	0	0	1	2	2	3	5	8
DG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PY	0	0	5	20	0	0	0	2	3	5	5	10	15
MO	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
TSULF	0	0	0,3	0,5	0	0	0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,5
HE	25	70	25	50	40	50	65	25	25	25	32	40	45
GT	20	15	25	15	20	20	15	20	25	25	15	20	15
JA	55	5	50	35	40	30	20	55	50	50	53	40	40
TLM	5	5	3	2	5	5	5	5	4	4	5	4	3
KF	80	75	75	75	80	75	80	80	80	78	80	80	75
ST	0	10	5	5	5	5	5	3	3	4	2	2	5
QST	5	10	10	10	5	10	5	7	7	8	7	7	10
TALT	15	5	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	10
CODUA	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF
EST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LX	20	5	5	5	15	15	10	15	12	10	15	15	10
OX	80	95	60	0	85	85	90	75	70	65	60	40	20
SULF	0	0	35	95	0	0	0	10	18	25	25	45	70
VET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZMIN	OX	OX	MX	SULF	OX	OX	OX	MX	MX	MX	MX	MX	MX

Tabla 4.1: Mapeo Mineralógico Visual



Donde:

AT: Atacamita	GT: Goetita
CRI: Crisocola	JA: Jarosita
ARC: Arcillas con cobre	TLM: Total Limonita
CUW: Copper Wad	KF: Alteración Potásica de fondo
MA: Malaquita	ST: Alteración Sericítica Temprana
PMA: Pseudomalaquita	QST: Alteración Cuarzo Sericítica
TOX: Total Óxido	TALT: Total Arcillización
CC: Calcosina	CODUA: Código de Alteración
CV: Covelina	EST: Estéril
CP: Calcopirita	GRE: Grava Estéril
BO: Bornita	GRX: Grava Exótica
DG: Digenita	LX: Lixiviado
PY: Pirita	OX: Óxido
MO: Molibdenita	SULF: Sulfuro
TSULF: Total Sulfuro	VET: Vetas
HE: Hematita	ZMIN: Zona Mineral

Del análisis se desprende que la muestra M-1, por estar conformada en su totalidad de óxido superior, la mena más abundante es la Atacamita; seguida por las Arcillas con cobre y el Copper Wad. El grupo de las Llimonitas y la presencia de arcillización, son características y abundantes en esta UG. Además presenta un 2% de Crisocola mena propia del OXS y de las gravas mineralizadas. Sin embargo, no hay menas de sulfuros secundarios ni primarios porque se trata de una muestra de óxido.

La muestra M-2, está formada por óxido inferior donde la mena principal es la Atacamita y Pseudomalaquita. Al igual que en la muestra anterior se encuentra presente el grupo de las Limonitas, pero la arcillización en esta UG es variable. No se encuentran menas de sulfuros primario; ni secundarios.

La muestra M-3 está integrada por Mixto, que corresponde a una mezcla de minerales oxidados y sulfurados secundarios fuertes. Presenta Atacamita, Arcillas con cobre y Pseudomalaquita menas propias de los óxidos de cobre. Junto con lo mencionado exhibe el



grupo de las Limonitas pero en menor cantidad que en las muestras anteriores. Además presenta menos características del sulfuro secundario fuerte; siendo la principal la Calcosina y le siguen Pirita, Calcopirita.

La muestra M-4 está constituida por sulfuro secundario fuerte lo que se ve reflejado en el alto porcentaje que presenta de Calcosina, mena propia de esta UG. Junto con esta mena ya mencionada se encuentran, pero en menor cantidad Calcopirita, Pirita y Bornita. El grupo de las Limonitas, es considerablemente menor que en las muestras anteriores porque se trata de una muestra conformada completamente de sulfuro secundario fuerte. No hay menos de óxidos.

Las muestras M-5, M-6 y M-7; corresponden a una mezcla de OXS con OXI 25, 50 y 75% de OXI respectivamente. Es por ésta razón que se encuentran menos de óxidos presentes en estas muestras y nula de menos de sulfuros. Las menas propias del OXS, como son las Arcillas con cobre, Copper Wad y Jarosita a medida que la presencia de esta UG disminuye estas lo hacen también. En cambio las menas características de OXI, a medida que aumenta su porcentaje en la muestra, aumenta Atacamita, Pseudomalaquita y Hematita.

Las muestras M-8, M-9 y M-10; corresponden a una mezcla de OXS con Mixto 25, 50 y 75% de Mixto respectivamente. En dichas muestras hay menos de óxidos: Atacamita, Arcillas con cobre, Pseudomalaquita, Copper War, Jarosita y por último Crisocola. Las Arcillas con cobre y el Copper Wad, a medida que baja la presencia de OXS éstas disminuyen. De igual forma, la Jarosita y el grupo de las Limonitas disminuye a medida que decrece la cantidad de OXS en la muestra. Las menas presentes de sulfuros son: Calcosina, Calcopirita, Pirita y Bornita; las que aumentan a medida que se acrecienta la presencia de Mixto en la muestra.

Las muestras M-11, M-12 y M-13; corresponden a una mezcla de OXS con Sulfuro secundario fuerte 25, 50 y 75% de Sulfuro respectivamente. En dichas muestras hay menos de óxidos: Atacamita, Arcillas con cobre, Pseudomalaquita, Copper Wad, Crisocola y el grupo de las Limonitas. Dichas menas, a medida que disminuye la presencia de OXS en la muestra, decrece el porcentaje de éstas. Las menas presentes de sulfuros como Calcosina, Calcopirita, Pirita y Bornita; aumentan a medida que se acrecienta la presencia de Sulfuros en la muestra.



COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se analizó la composición química del mineral por digestión total mediante ataque ácido medido a través de absorción atómica. En la Tabla 4.2 se muestra el análisis químico del mineral.

Análisis Químico de Cabeza									
Tipo de Mezcla	Cu _T	Cu _S	Razón (Cu _S /Cu _T)	Cu _{ins}	Ext. Proyectada	H ³⁰	Cu Test	CAN Kg/Ton	Ext. en medio Ác.
	%	%	%	%	%				Ác.
M-1	0,491	0,358	72,912	0,133	73,131	19	0,345	18,469	70,265
M-2	0,311	0,224	72,026	0,087	74,044	14	0,223	13,657	71,704
M-3	0,519	0,253	48,748	0,266	44,374	15	0,241	14,629	46,435
M-4	1,277	0,099	7,753	1,178	23,876	10	0,081	9,875	6,343
M-5	0,437	0,286	65,446	0,151	52,723	16	0,300	15,538	68,650
M-6	0,33	0,271	82,121	0,059	83,363	13	0,233	12,641	70,606
M-7	0,342	0,205	60,046	0,137	50,023	14	0,200	13,692	58,480
M-8	0,510	0,364	71,373	0,146	55,686	22	0,395	21,392	77,451
M-9	0,465	0,248	53,333	0,217	46,667	14	0,255	13,607	54,839
M-10	0,519	0,258	49,711	0,261	44,855	14	0,275	13,577	52,987
M-11	0,670	0,302	45,075	0,368	42,537	15	0,280	14,569	41,791
M-12	0,810	0,283	34,938	0,527	37,469	20	0,315	19,515	38,889
M-13	1,039	0,149	14,298	0,890	27,149	11	0,140	10,784	13,474

Tabla 4.2: Análisis químico de muestras de cabeza

La muestra M-6 presenta una extracción proyectada de 83,363% de cobre, correspondiente a una mezcla de OXS con un 50% de OXI.

La muestra que presenta la menor extracción proyectada de cobre es M-4 que corresponde a 23,876%. Muestra compuesta totalmente de Sulfuro secundario fuerte.

El valor mínimo obtenido para el consumo de ácido del mineral fue de 10 (kg de ácido/ton mineral) y lo alcanzó la muestra M-4 que corresponde a sulfuro secundario fuerte.

El valor máximo obtenido para el consumo de ácido del mineral fue de 22 (kg de ácido/ton mineral) y lo alcanzó la muestra M-8 que corresponde a una mezcla de OXS con 25% de Mixto.

Debido a la mayor exactitud de los análisis químicos con respecto al mapeo mineralógico visual, es que se utilizan los resultados de los análisis químicos ya mencionados, para realizar los cálculos en el balance metalúrgico.



4.1.2 DISEÑO DE PRUEBAS

Las pruebas de lixiviación se efectuaron en columnas de PVC las cuales se regaron con refino; el sistema de estanques de alimentación y recepción (bidones ON y OFF), de la solución producto de la lixiviación. El riego fue regulado mediante bombas que proporcionaron un flujo constante a cada columna, de 12 cc/min (Ver Figura 4.1).

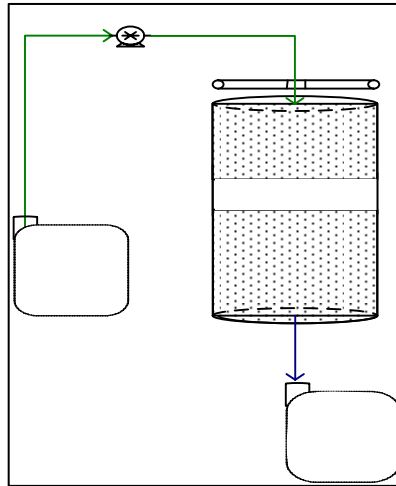


Figura 4.1: Diseño de montaje.

➤ PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Una vez diseñado el circuito se procedió a su implementación en a planta piloto, de tal manera de efectuar 13 pruebas de lixiviación en forma simultánea.

PRUEBAS A REALIZAR

Para conocer el comportamiento del mineral en distintas proporciones, se efectuaron trece pruebas en las que se realizó lixivaciones simultáneas en trece columnas. Tomando muestras diarias de refino (solución ON) y de PLS acumulado (solución OFF) para realizarles análisis químico por absorción atómica.

Al mineral se le realizó un muestreo de cabeza (mineral cargado en las columnas) para enviarlos a análisis granulométrico y químico por fracción, humedad, permeabilidad, arcillas. A los ripios (mineral agotado luego de la lixiviación), se les realizó un muestreo para enviarlos a análisis granulométrico y químico por fracción y humedad.

El curado ácido del mineral se realizó en un paño rodeador donde se dejó en reposo por 24 horas cargado en cada una de las columnas correspondientes.



Las pruebas se realizaron en condiciones ambientales normales durante la época de verano (Ver Figura 4.2).



Figura 4.2: Fotografía del montaje de los equipos.

➤ **CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Las condiciones de operación para llevar a cabo las pruebas, son similares a las utilizadas en RT y son las siguientes:

Condiciones de Operación											
Tipo de Mezcla	Peso aprox. (kg)	Altura (cm)	Granulometría	T. de Curado (kg/Ton)	T. de Agua (kg/Ton)	Tiempo de Reposo (h)	T.de Riego (L/h·m ²)	Razón de LX (m ³ /Ton)	Ciclo de LX (días)	Tipo de Riego	Flujo de Refino (cc/min)
M-1	98,4	90	100 % - 1 1/2"	5,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-2	95,75	89	100 % - 1 1/2"	3,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-3	103,25	92	100 % - 1 1/2"	2,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-4	93,05	86	100 % - 1 1/2"	1,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-5	97,55	92	100 % - 1 1/2"	5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-6	99,4	92	100 % - 1 1/2"	4,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-7	98,65	92,5	100 % - 1 1/2"	3,3	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-8	102,7	93	100 % - 1 1/2"	4,8	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-9	102,1	94,5	100 % - 1 1/2"	4	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-10	100,85	92	100 % - 1 1/2"	3,3	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-11	99,05	91,15	100 % - 1 1/2"	4,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-12	101,5	91,5	100 % - 1 1/2"	3,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12
M-13	96,75	89	100 % - 1 1/2"	2,5	2	24	10	1,1	7	Continuo	12

Tabla 4.3: Condiciones de Operación.



5 CAPÍTULO V

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El trabajo experimental consta básicamente de 1 tipo de pruebas de lixiviación; sin embargo, el análisis de los datos obtenidos se efectúa en forma separada para cada composición y objetivo en estudio.



5.2 GRANULOMETRÍA DEL MINERAL

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRA DE CABEZA
M-1

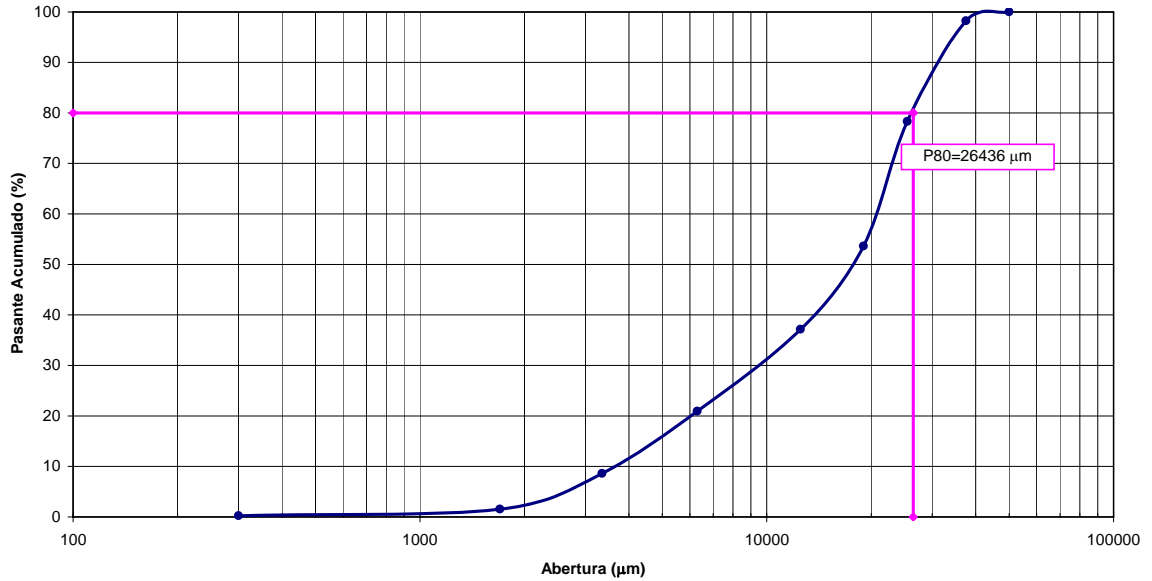


Gráfico 5.1: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-1.

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-2

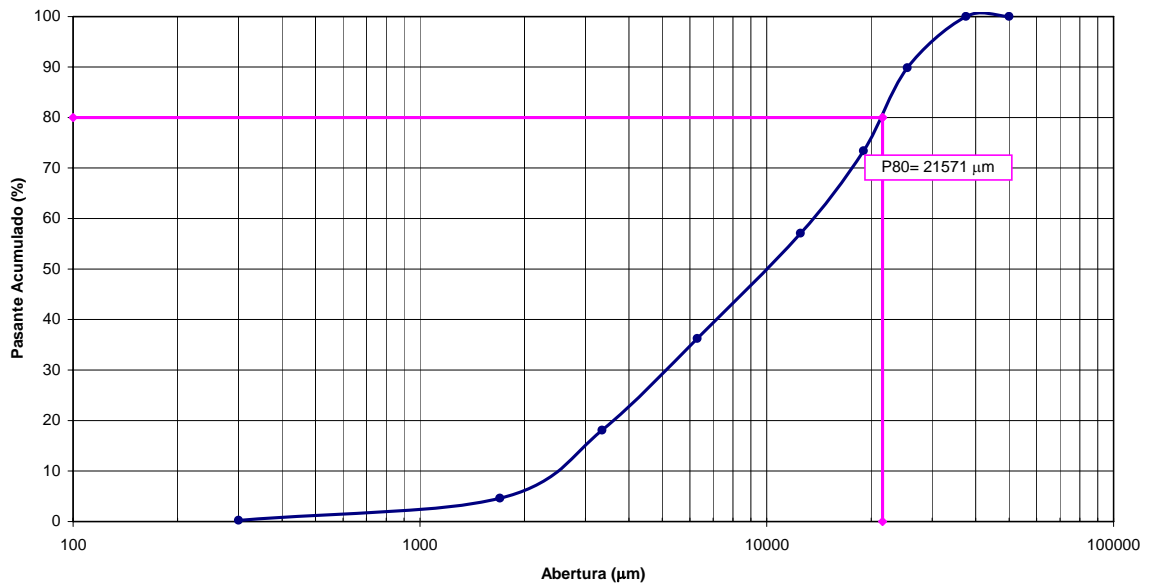


Gráfico 5.2: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-2.



PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-3

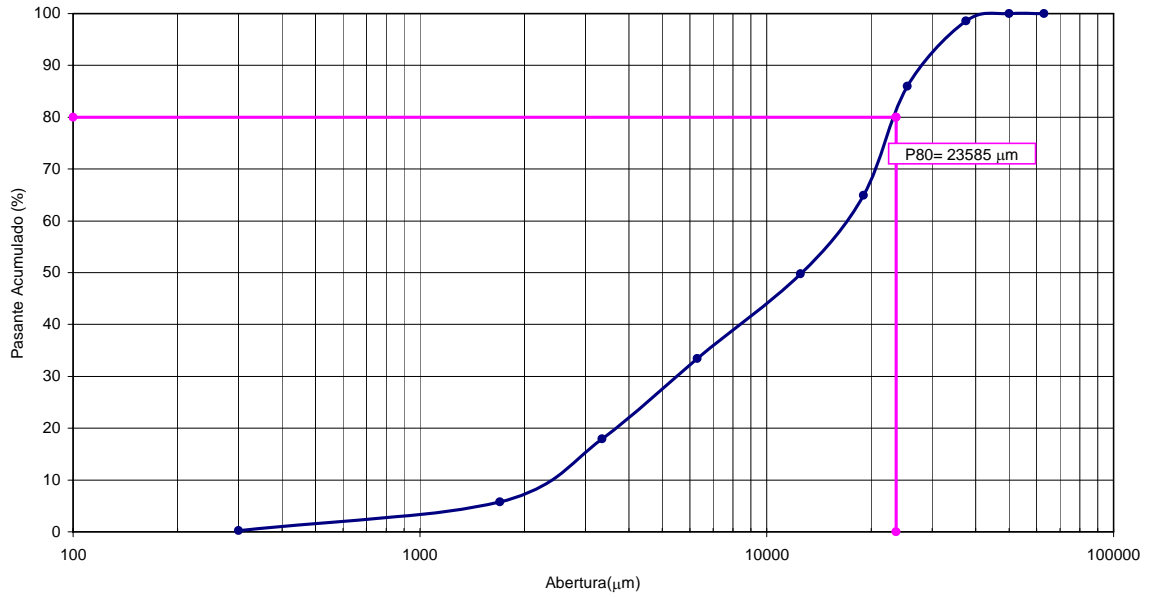


Gráfico 5.3: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-3.

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MUESTRAS DE CABEZA
M-4

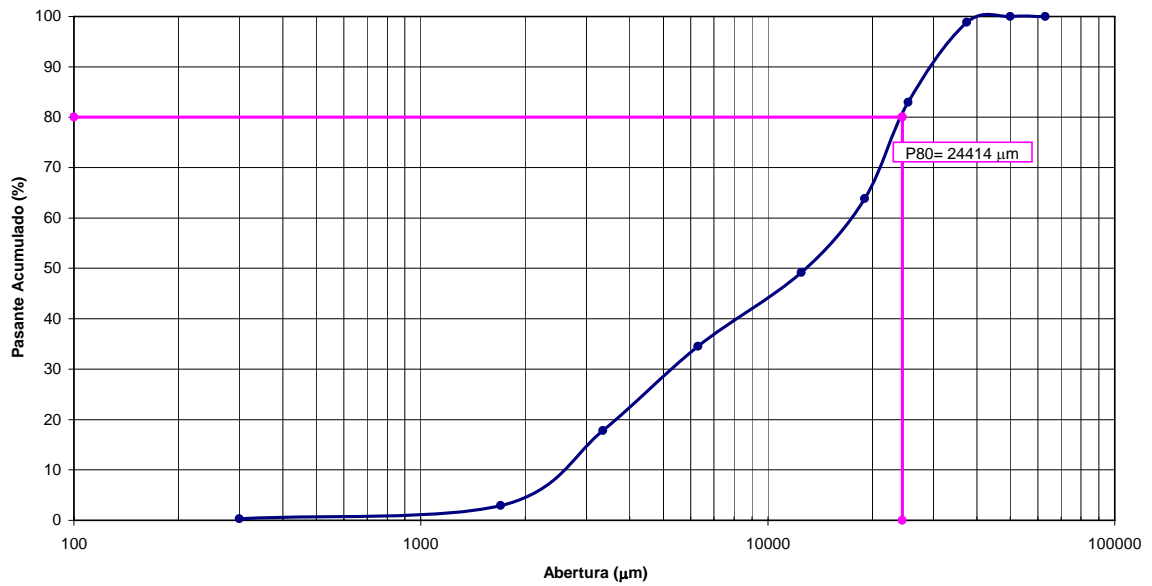


Gráfico 5.4: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-4.



PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MUESTRAS DE CABEZA
M-5

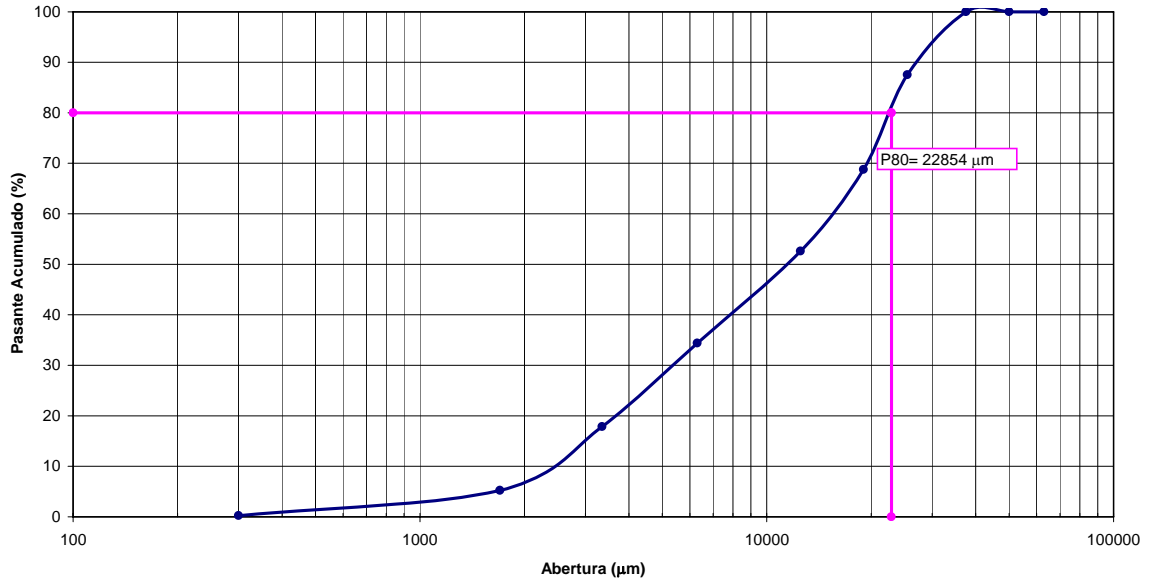


Gráfico 5.5: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-5.

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-6

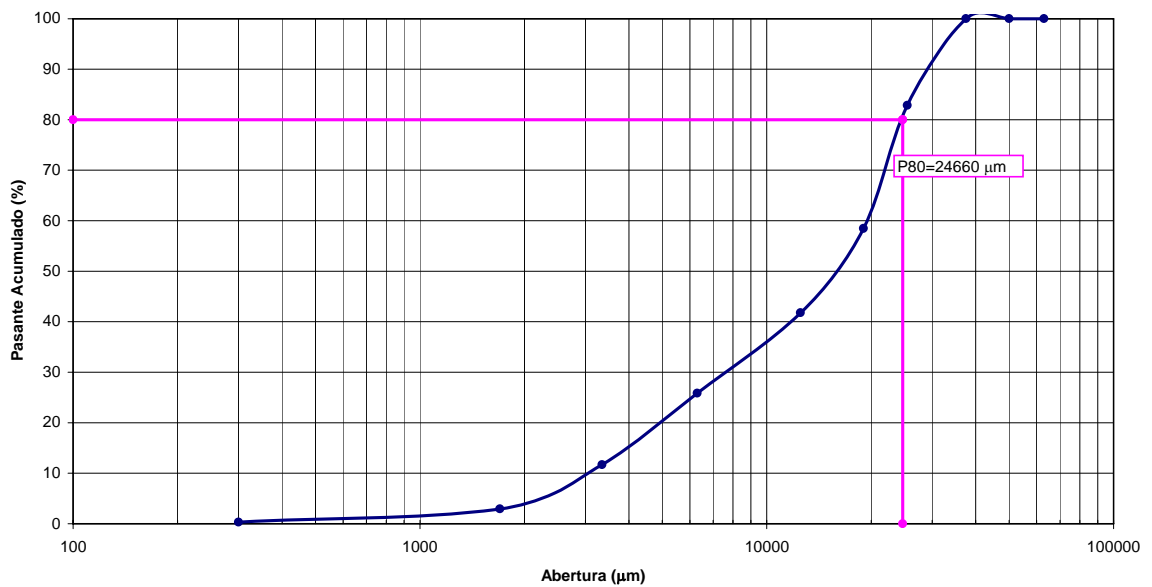


Gráfico 5.6: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-6.

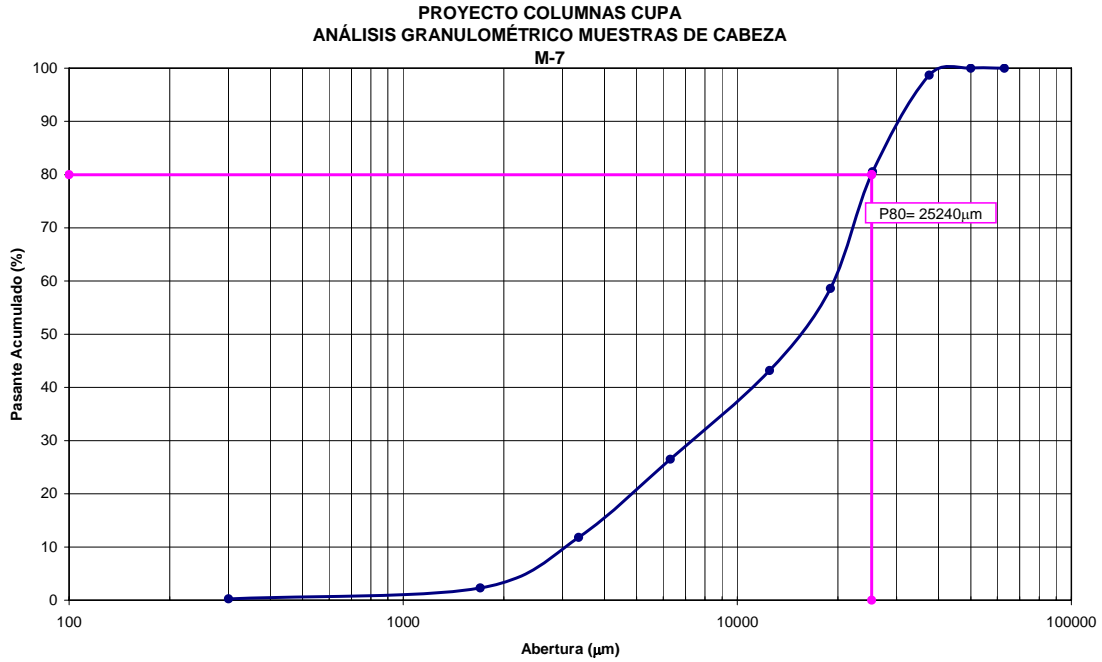


Gráfico 5.7: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-7.

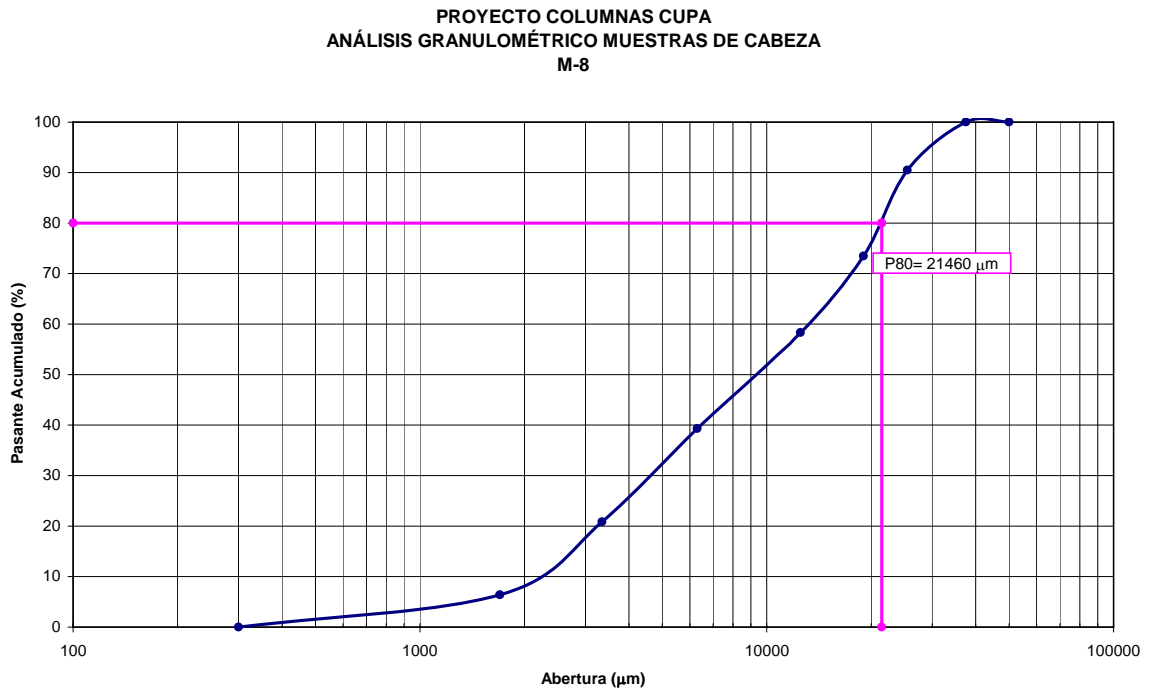


Gráfico 5.8: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-8.



PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-9

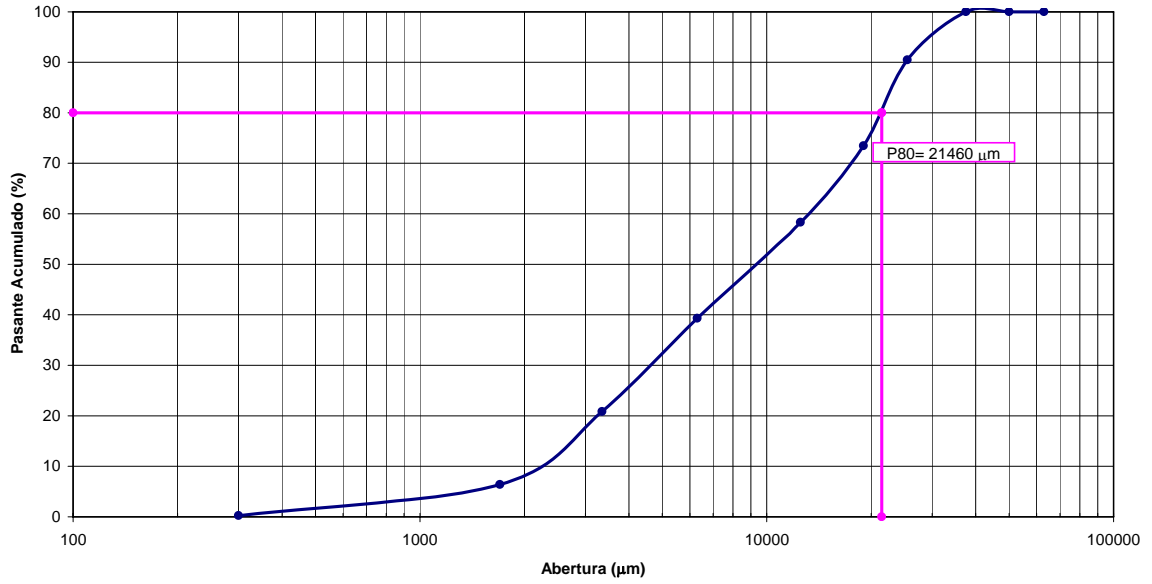


Gráfico 5.9: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-9.

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-10

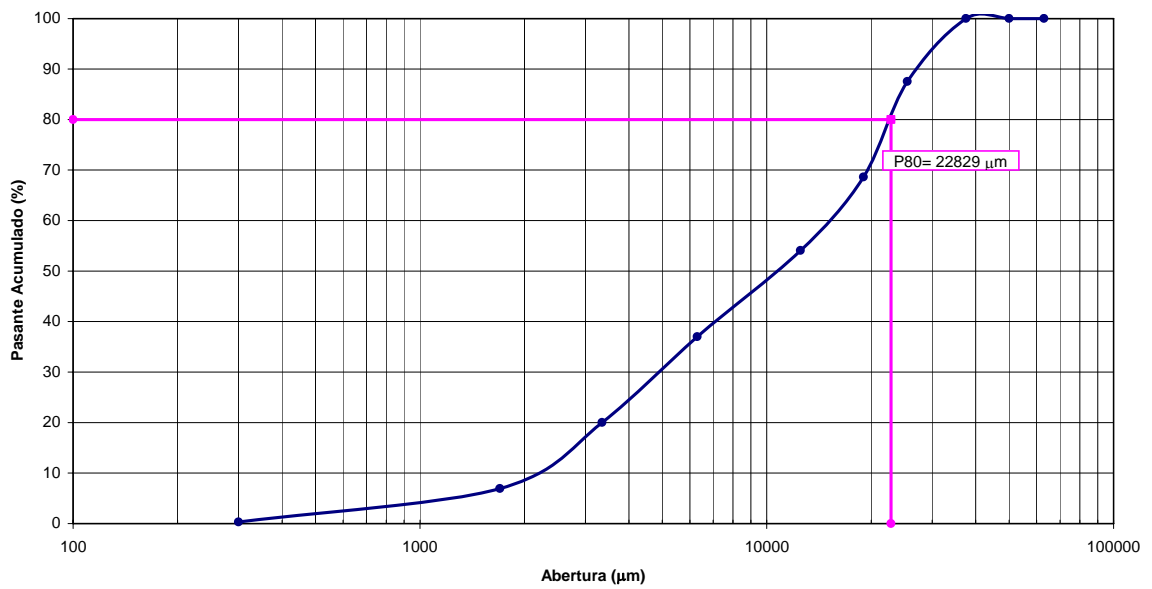


Gráfico 5.10: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-10.



PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-11

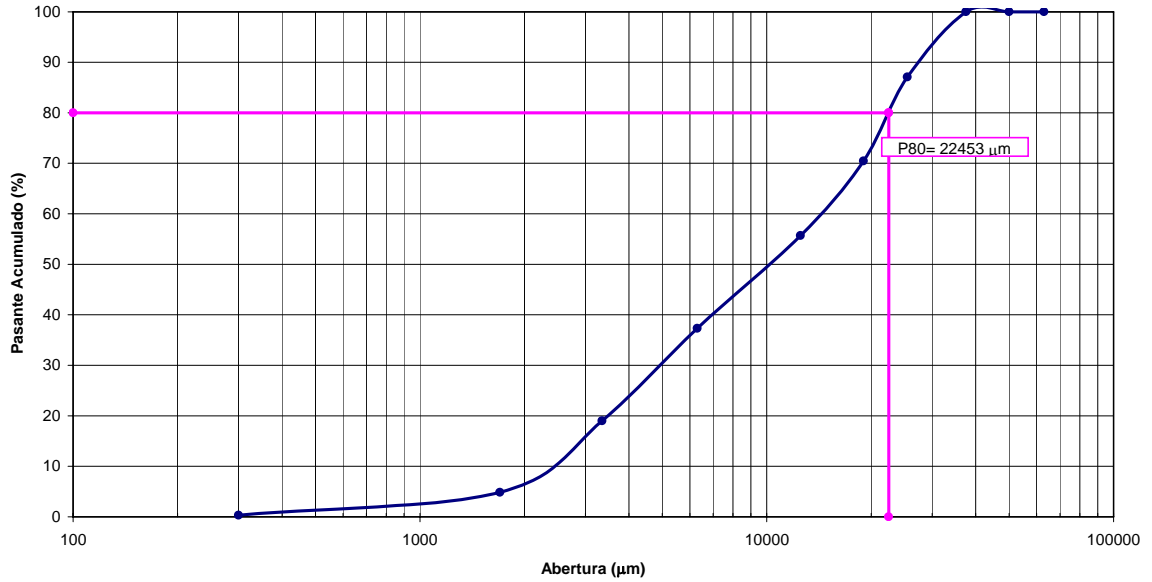


Gráfico 5.11: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-11.

PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-12

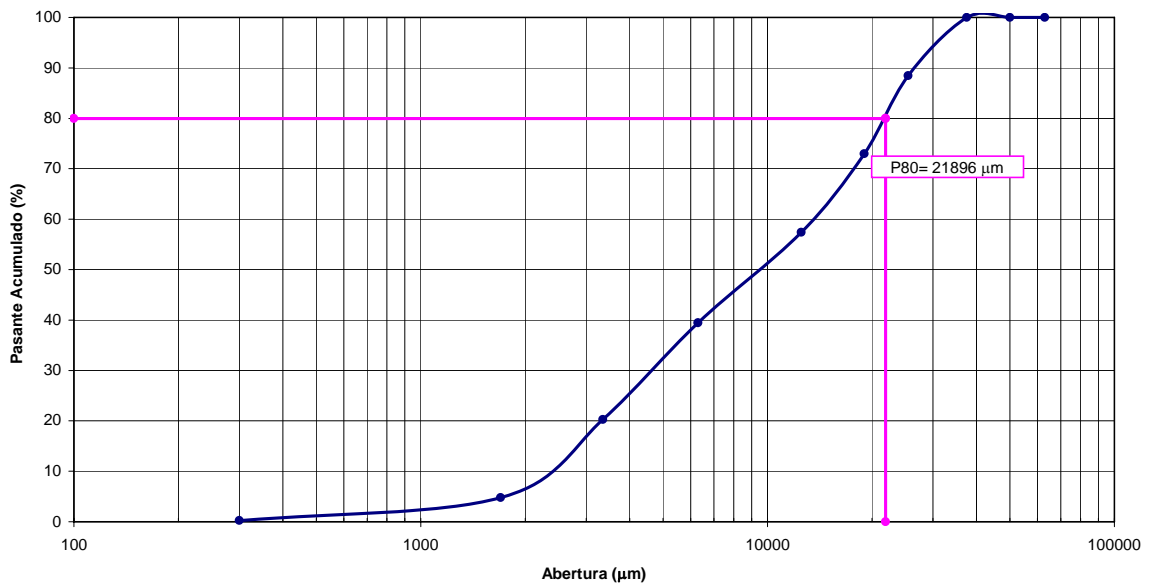


Gráfico 5.12: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-12.



PROYECTO COLUMNAS CUPA
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRAS DE CABEZA
M-13

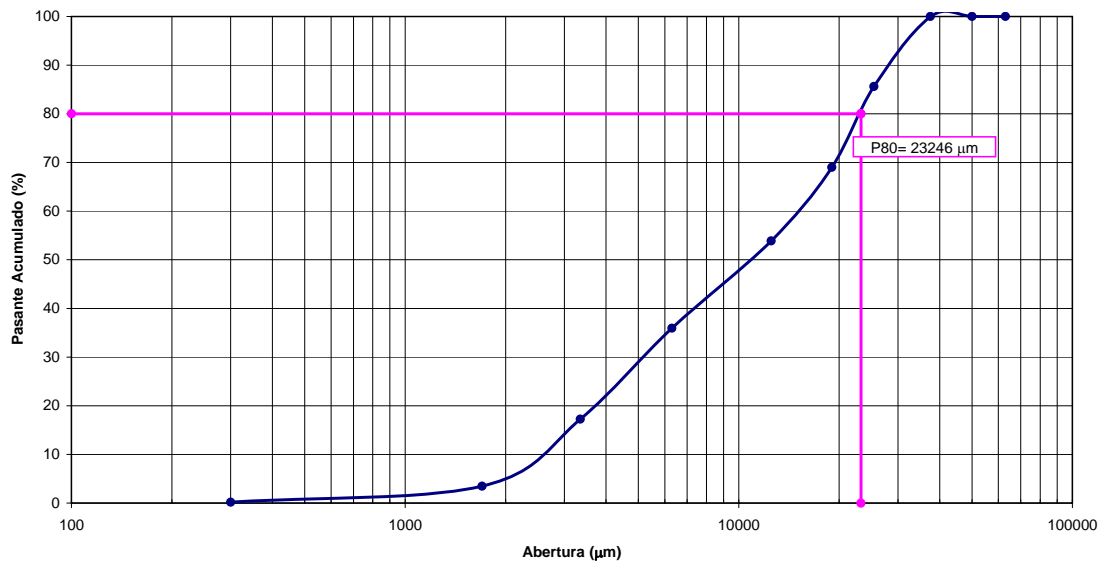


Gráfico 5.13: Análisis granulométrico muestra de cabeza M-13.

Se determinó, al observar desde el Gráfico 5.1 al Gráfico 5.13, que las muestras de cabezas desde M-1 a M-13 tienen un P80 inferior a 31800 µm, lo que está dentro de las condiciones de operación en la planta de chancado.



5.3 PRESENCIA DE ARCILLAS

Se analizó la composición de arcillas en el mineral con Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR) que involucra luz interactuando con el mineral, la muestra a ser analizada es bombardeada con rayos NIR de diferentes longitudes de onda, por cada longitud de onda, algunos de los rayos son entonces absorbidos por uniones químicas específicas. Al mismo tiempo, otros rayos son diseminados y reflejados por otras uniones químicas. En la Tabla 5.1 se muestra el análisis realizado a 6 de la totalidad de las muestras de mineral (Ver Anexo E).

	Presencia de Arcillas (%)					
	M-1	M-3	M-5	M-6	M-9	M-12
Montmorillonita	5,4	3,8	4,3	4	5	4
Moscovita	3,0	8,2	3,0	2,5	6,4	6,8
Caolinita	3,1	3,6	4,5	5,9	3,7	3,4
Pirofilita	0,9	0,8	0,7	0,9	1,1	1,3
Biotita	2,8	2,3	2,7	2,9	2,4	2,6
Clorita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anfibolita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	15,2	18,6	15,2	15,9	18,3	18,1

Tabla 5.1: Presencia de Arcillas (%).

Los resultados que arroja el análisis con respecto a la presencia de Montmorillonita, Moscovita, Caolinita, Pirofilita, Biotita y Clorita son aceptables. Por el contrario; la anfibolita está fuera de rango ya que el mineral de RT no presenta esta especie de arcilla.

La muestra que presenta mayor cantidad de arcillas de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-3, muestra conformada por Mixtos, con un 18,6% total de arcillas.

La muestra que presenta mayor cantidad de Montmorillonita de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-1, muestra conformada por OXS, con un 5,4%.

La muestra que presenta mayor cantidad de Moscovita de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-3, muestra conformada por Mixtos, con un 8,2%.

La muestra que presenta mayor cantidad de Caolinita de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-6, muestra conformada por mezcla de OXS con 50% de OXI, con un 5,9%.

La muestra que presenta mayor cantidad de Pirofilita de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-12, muestra conformada por mezcla de OXS con 50% de Sulfuro secundario fuerte, con un 1,3%.

La muestra que presenta mayor cantidad de Biotita de las que se les realizó el análisis; corresponde a M-6, muestra conformada por mezcla de OXS con 50% de OXI, con un 2,9%.



Entre las muestras de mineral analizadas no se encuentran Clorita ni Anfibolita, porque el mineral de RT no presenta dichas arcillas.

5.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Se analizó la conductividad hidráulica de 13 muestras de mineral bajo procedimiento que se encuentra en Anexo D.

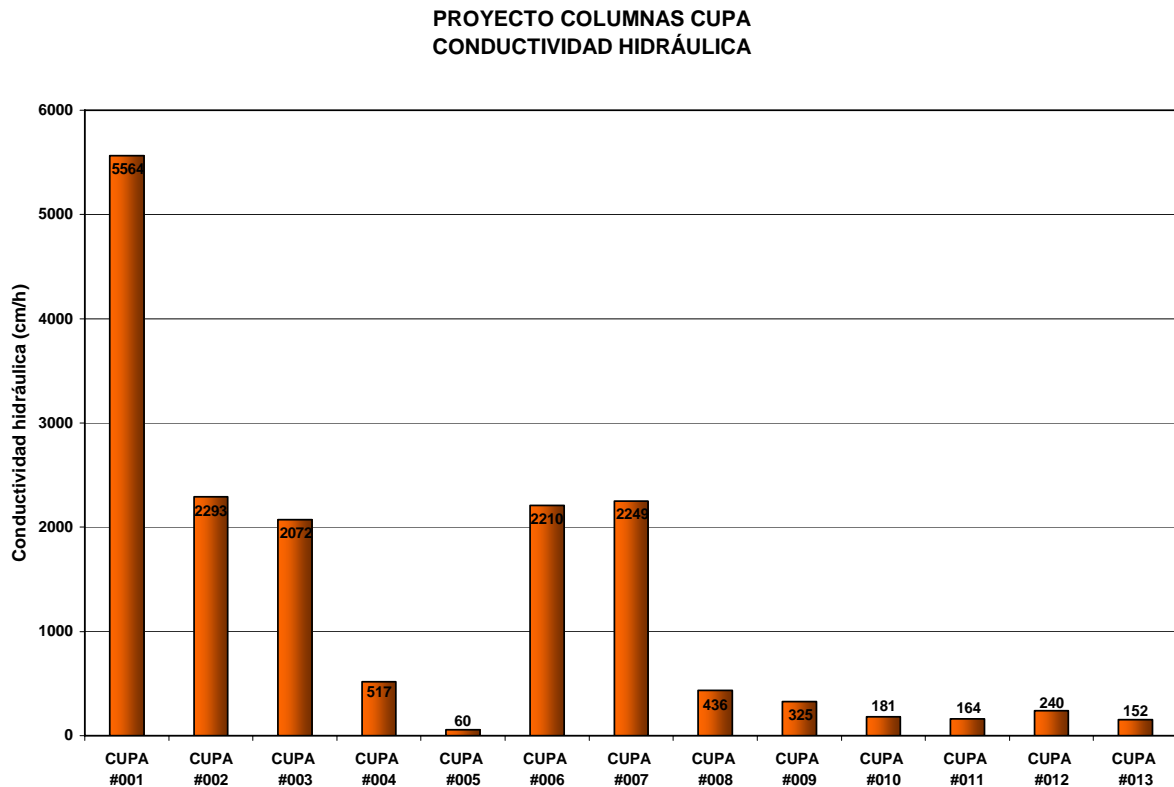


Gráfico 5.14: Conductividad Hidráulica (cm/h).

Del Gráfico 5.14 se desprende que la muestra M-1 conformada en su totalidad por OXS, presenta una conductividad de 5564 (cm/h) lo que sugiere que ésta muestra de mineral no debiese presentar problemas de permeabilidad, pero si presentaría problemas con respecto al tiempo en que la solución lixivante está en contacto con el mineral perjudicando o disminuyendo la recuperación de cobre proyectada. (Ver Tabla 5.3)

Por el contrario, se tiene la muestra M-5 formada por OXS con 25% de OXI que presenta una conductividad de 60 (cm/h) el resultado más bajo entre las muestras analizadas. Pero no se

considera perjudicial porque se encuentra dentro del rango aceptable de este parámetro; el cual establece que este valor no debe ser menor que 5 (cm/h).

5.5 RESULTADOS DE COBRE

Los resultados presentados a continuación se obtuvieron del análisis químico realizado a las soluciones provenientes de lixiviación (PLS) haciendo balances entre los análisis químicos efectuados a la cabeza y los análisis químicos realizados a los rípios de las columnas.

5.5.1 RECUPERACIÓN DE COBRE

En la Tabla 5.2 se presenta la cantidad acumulada de cobre recuperada durante cada período de lixiviación.

EXTRACCIÓN DE COBRE ACUMULADO (kg)													
DIAS	CUPA #001	CUPA #002	CUPA #003	CUPA #004	CUPA #005	CUPA #006	CUPA #007	CUPA #008	CUPA #009	CUPA #010	CUPA #011	CUPA #012	CUPA #013
1	0,062	0,086	0,061	0,030	0,081	0,058	0,071	0,011	0,051	0,033	0,047	0,055	0,041
2	0,238	0,123	0,179	0,099	0,203	0,148	0,134	0,182	0,203	0,190	0,196	0,178	0,128
3	0,295	0,138	0,204	0,140	0,230	0,179	0,155	0,227	0,244	0,227	0,260	0,227	0,174
4	0,327	0,147	0,219	0,169	0,243	0,198	0,167	0,253	0,264	0,240	0,290	0,258	0,205
5	0,344	0,157	0,226	0,199	0,253	0,203	0,175	0,271	0,273	0,250	0,312	0,277	0,229
6	0,348	0,165	0,251	0,207	0,265	0,215	0,191	0,280	0,283	0,264	0,330	0,297	0,249
7	0,355	0,168	0,258	0,225	0,271	0,225	0,195	0,286	0,289	0,269	0,341	0,310	0,264
8	0,359	0,170	0,261	0,230	0,274	0,229	0,199	0,290	0,294	0,276	0,345	0,316	0,268

Tabla 5.2: Masa de Cu Acumulado.

Esta primera impresión de los datos ayuda a darse cuenta que la recuperación es significativa.

En la tabla 5.3 se muestran las recuperaciones porcentuales acumulativas de cobre, las cuales son obtenidas del balance de masa realizado entre la ley de cabeza y los valores de la tabla anterior.

RECUPERACIÓN DE COBRE ACUMULADO (%)													
DIAS	CUPA #001	CUPA #002	CUPA #003	CUPA #004	CUPA #005	CUPA #006	CUPA #007	CUPA #008	CUPA #009	CUPA #010	CUPA #011	CUPA #012	CUPA #013
1	10,493	29,208	10,588	2,552	18,477	14,814	21,297	2,033	9,554	6,033	6,722	6,744	4,068
2	40,250	41,844	31,022	8,359	46,034	37,886	39,997	34,849	37,994	34,270	28,074	21,829	12,768
3	49,983	46,754	35,320	11,781	52,169	45,808	46,345	43,529	45,795	40,812	37,204	27,892	17,290
4	55,301	50,005	38,005	14,225	55,177	50,645	49,833	48,566	49,481	43,264	41,502	31,650	20,447
5	58,174	53,259	39,181	16,748	57,300	52,025	52,167	51,995	51,125	45,031	44,640	34,023	22,786
6	58,889	55,952	43,604	17,425	60,179	55,069	57,096	53,668	52,958	47,545	47,218	36,500	24,829
7	60,049	57,000	44,707	18,883	61,541	57,582	58,383	54,943	54,102	48,482	48,710	38,033	26,247
8	60,760	57,780	45,301	19,322	62,250	58,604	59,345	55,661	55,085	49,659	49,255	38,834	26,661

Tabla 5.3: Recuperación de Cu (%).



Los valores porcentuales de la recuperación de cobre obtenidos representan las cinéticas de recuperación para cada prueba, que se ven en el Gráfico 5.15.

En la Tabla 5.3 se aprecia la columna CUPA #005 que se cargó con el mineral de la muestra M-5, compuesta por una mezcla de OXS con 25% de OXI presenta una recuperación de 62,25% de cobre; sin embargo, este resultado se encuentra sujetos a errores de laboratorio ya que presenta una mayor recuperación que la columna CUPA #001 y #002. Por otro lado, se tiene la columna CUPA #004 que arroja una recuperación de cobre de 19,322%. Dicha columna se cargó con muestra de mineral M-4, conformado completamente con Sulfuros secundario fuerte.

5.5.2 CURVAS CINÉTICAS DE RECUPERACIÓN DE COBRE

Los datos obtenidos para las cinéticas de recuperación son presentados comparándolos entre sí.

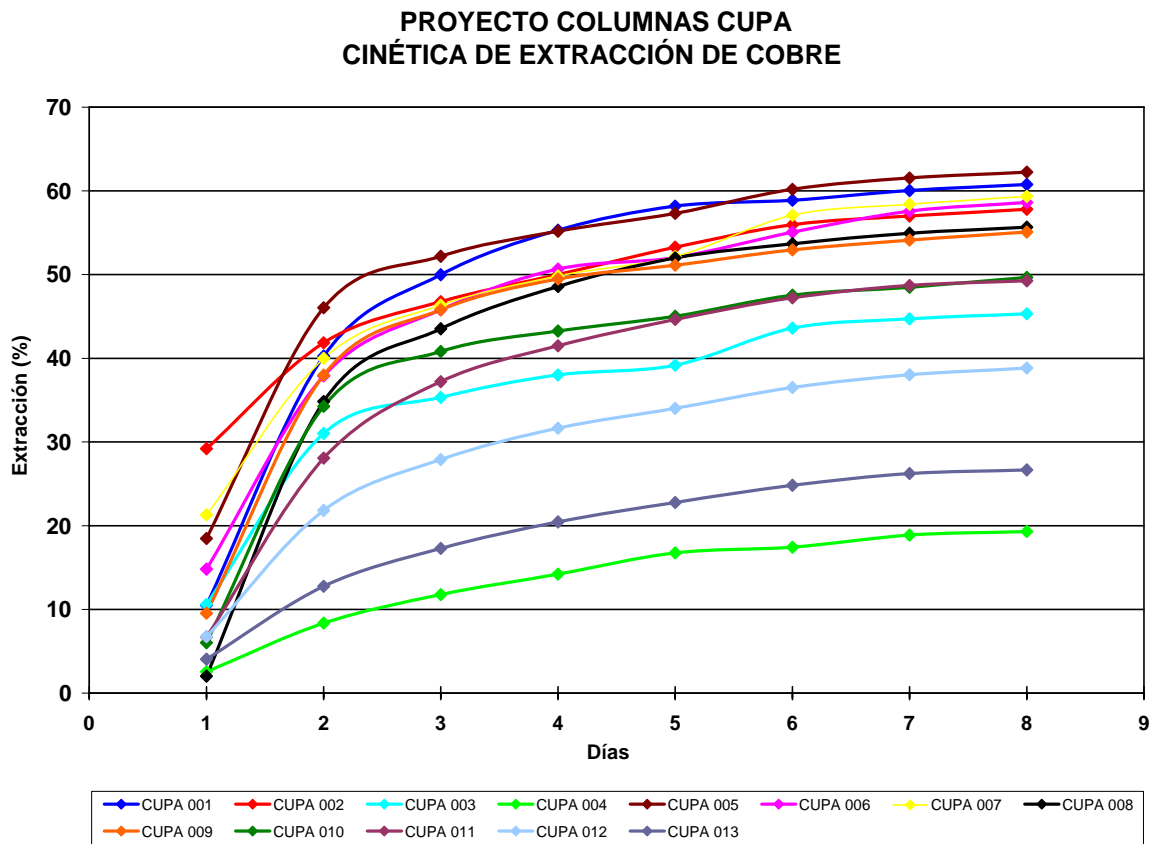


Gráfico 5.15: Cinética de Extracción de Cu.

En el Gráfico 5.15 se observa una mayor recuperación en la columna CUPA #005, para un ciclo de lixiviación de 7 días.

Además se puede apreciar la diferencia significativa entre las curvas cinéticas de extracción de cobre los primeros días por los efectos del curado ácido. Y al aumentar los días se observa una mayor disolución de cobre oxidado, distanciándose considerablemente las mezclas que presentan mayor cantidad de sulfuro secundario fuerte.

En el Gráfico 5.16 se ve la recuperación de cobre.

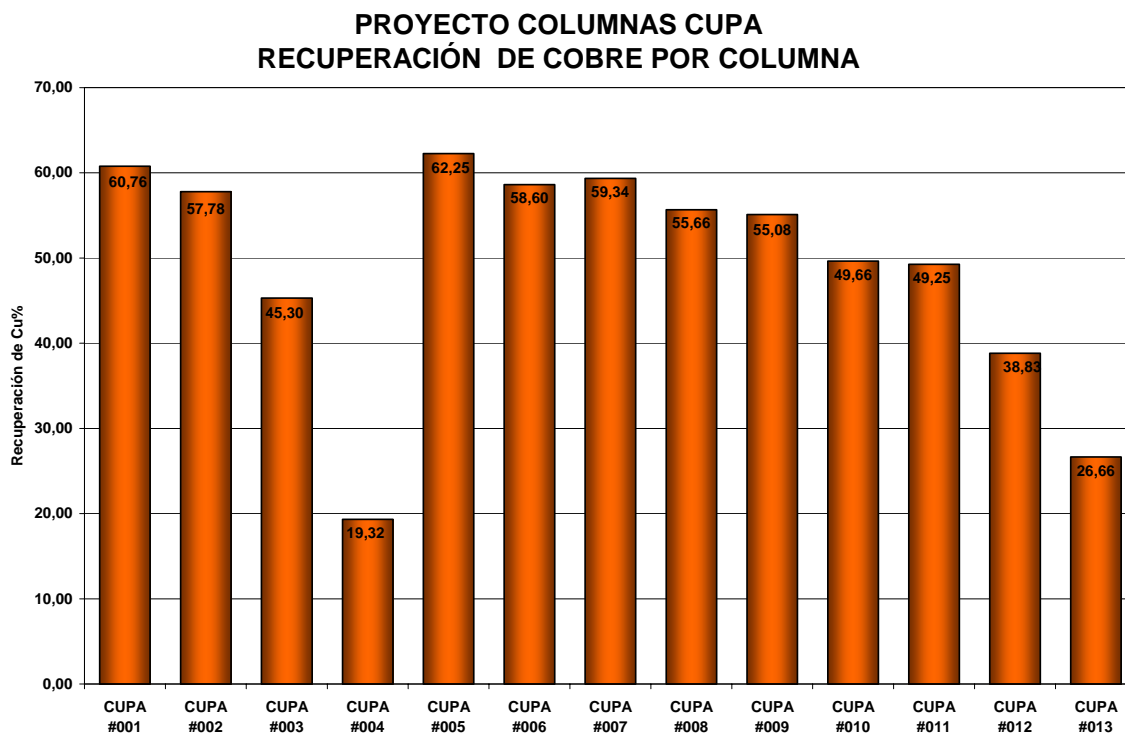


Gráfico 5.16: Recuperación de Cobre (%).

Del Gráfico 5.16, se ve claramente que las muestras puras de OXS, OXI, Mixto y Sulfuro; M-1, M-2, M-3 y M-4 respectivamente poseen una recuperación que va disminuyendo por la ausencia de óxidos. Junto con lo señalado anteriormente, al mezclar OXS con OXI se puede observar que la recuperación de cobre aumenta de 60,76% a 62,25%, siendo mayor que la recuperación que se obtiene de la muestra pura de OXS (60,76%) y la muestra pura de OXI (57,78%). Además se aprecia que al mezclar OXS con Mixto, se alcanza una recuperación mayor de 55,66% que la recuperación de cobre que se obtiene sólo con Mixto (45,30%). Al mezclar OXS con Sulfuro también aumenta la recuperación llegando a 49,25% con una



diferencia de 29,93% de la muestra pura de Sulfuro. (Se debe tener presente que el resultado de la recuperación de cobre está sujeto a errores de laboratorio).

5.6 RENDIMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE LIXIVIACIÓN

Para evaluar de una manera distinta el efecto de la solución lixivante, refino, en la lixiviación y también para independizar el análisis de la variación de flujo; se introduce el concepto de rendimiento de la solución lixivante. El cual consiste en expresar los datos como el volumen de solución necesario para recuperar 1 kg de cobre.

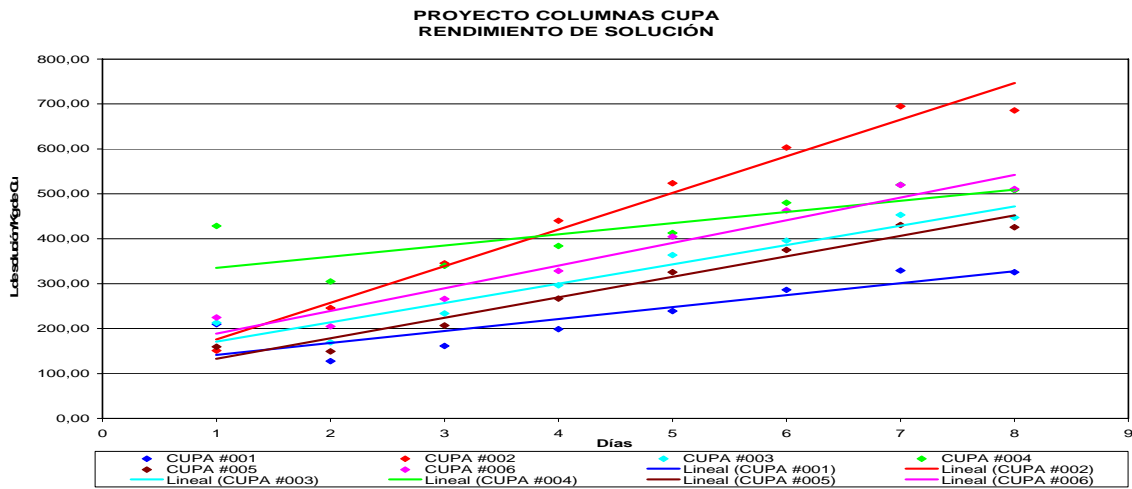


Gráfico 5.17: Rendimiento de la solución lixivante para pruebas en columna, desde CUPA #001 a CUPA #006.

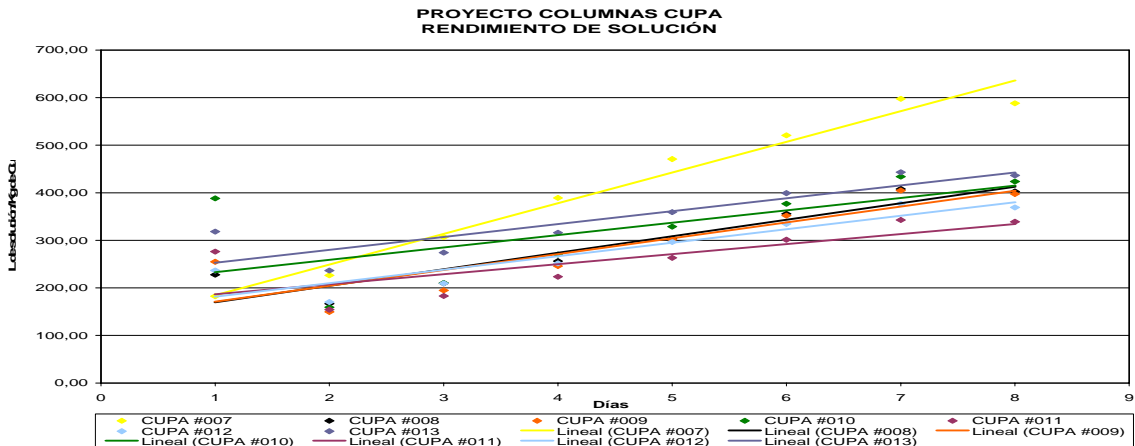


Gráfico 5.18: Rendimiento de la solución lixivante para pruebas en columna, desde CUPA #007 a CUPA #013.

En el Gráfico 5.17 y 5.18, muestran una solución de refino con una concentración 1,22 gpl de cobre, tasa de riego igual a $10 \frac{l}{h \cdot m^2}$ utilizada para todas las columnas; pero donde radica la diferencia es en las mezclas de mineral. Se tiene que para la columna CUPA #001 conformada sólo con OXS es necesario un menor volumen de solución lixivante para extraer 60,76% de cobre. Sin embargo, existe una columna CUPA #002 conformada sólo con OXI es necesario un mayor volumen de refino para extraer 57,78% de cobre.

5.7 RESULTADOS DE ÁCIDO

Los resultados del ácido se analizan en 2 aspectos:

- Consumo de ácido neto
- Consumo de ácido en función del cobre extraído

5.8 CONSUMO DE ÁCIDO NETO

En el Gráfico 5.19 se muestra el consumo de ácido neto obtenido para las 13 columnas con la respectiva recuperación de cobre.

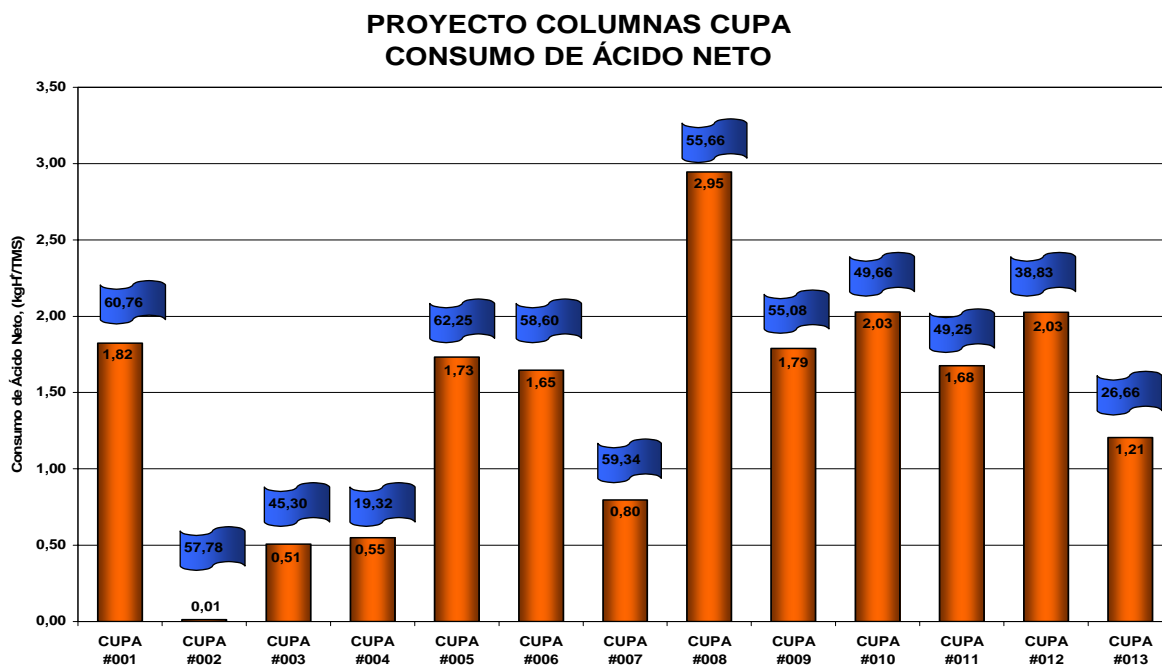


Gráfico 5.19: Consumo de ácido neto.



Se puede observar, del Gráfico 5.19, un mayor consumo de ácido en la columna CUPA #008, cargada con la muestra M-8 que corresponde a una mezcla de OXS y 25% de Mixto. Sin embargo, este mayor consumo de ácido no está relacionado directamente con la mayor recuperación de cobre; sino que se encuentra relacionado con la menas de cobre presente en cada una de las mezclas de mineral.

5.8.1 CONSUMO DE ÁCIDO POR COBRE EXTRAÍDO

La razón de consumo de ácido, para los 7 días de lixiviación, se logra efectuando el cociente entre el ácido consumido y la cantidad de cobre extraído.

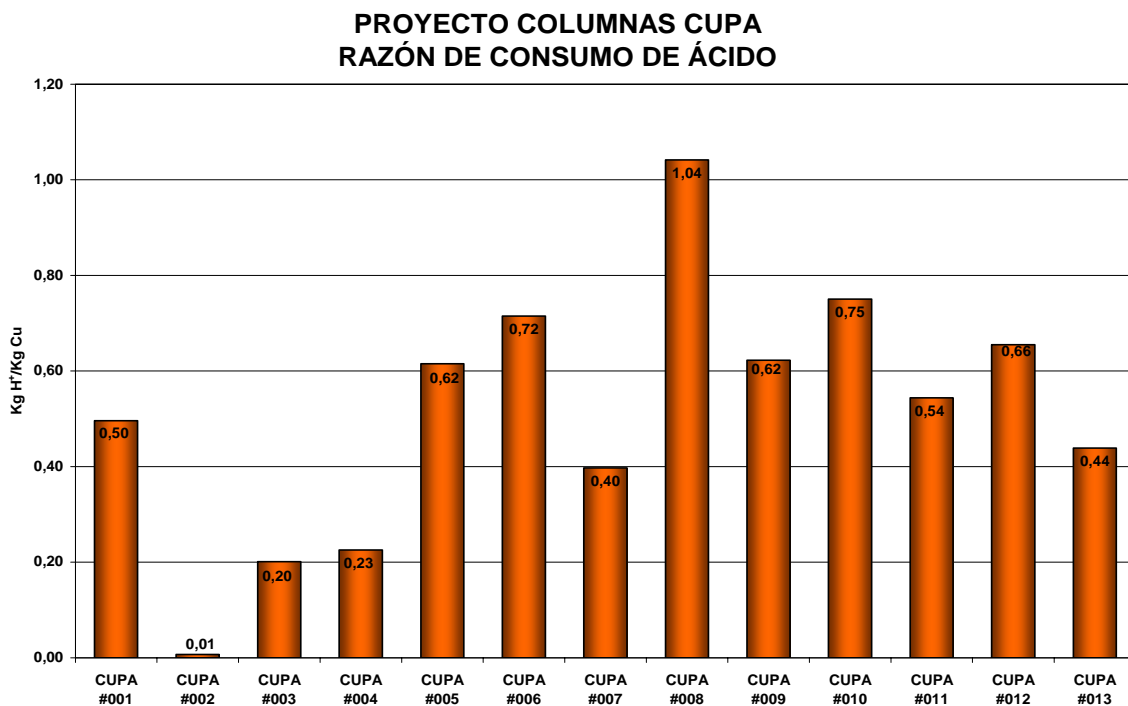


Gráfico 5.20: Razón de consumo de ácido (kg H⁺/kg de Cu).

Se puede observar en el Gráfico 5.20 que la columna CUPA #002 presenta una razón de consumo de ácido del orden de 0,01 por kg de cobre extraído; que corresponde al menor valor entre las 13 columnas CUPA cargadas cada una con distinta mezcla de mineral. Además se aprecia que la columna CUPA #008 presenta una razón de consumo de ácido por kg de cobre extraído mayor que las demás columnas CUPA necesitando 1,04 kg de H⁺ para extraer 1 kg de cobre.



Se debe tener presente que para efectuar el análisis de los resultados obtenidos para el ácido se tomó en cuenta, para realizar los balances, el ácido utilizado para el curado y aglomerado del mineral; anterior a su lixiviación.

5.9 ANÁLISIS DE CONSUMO DE ÁCIDO POR PRESENCIA DE MONTMORILLONITA

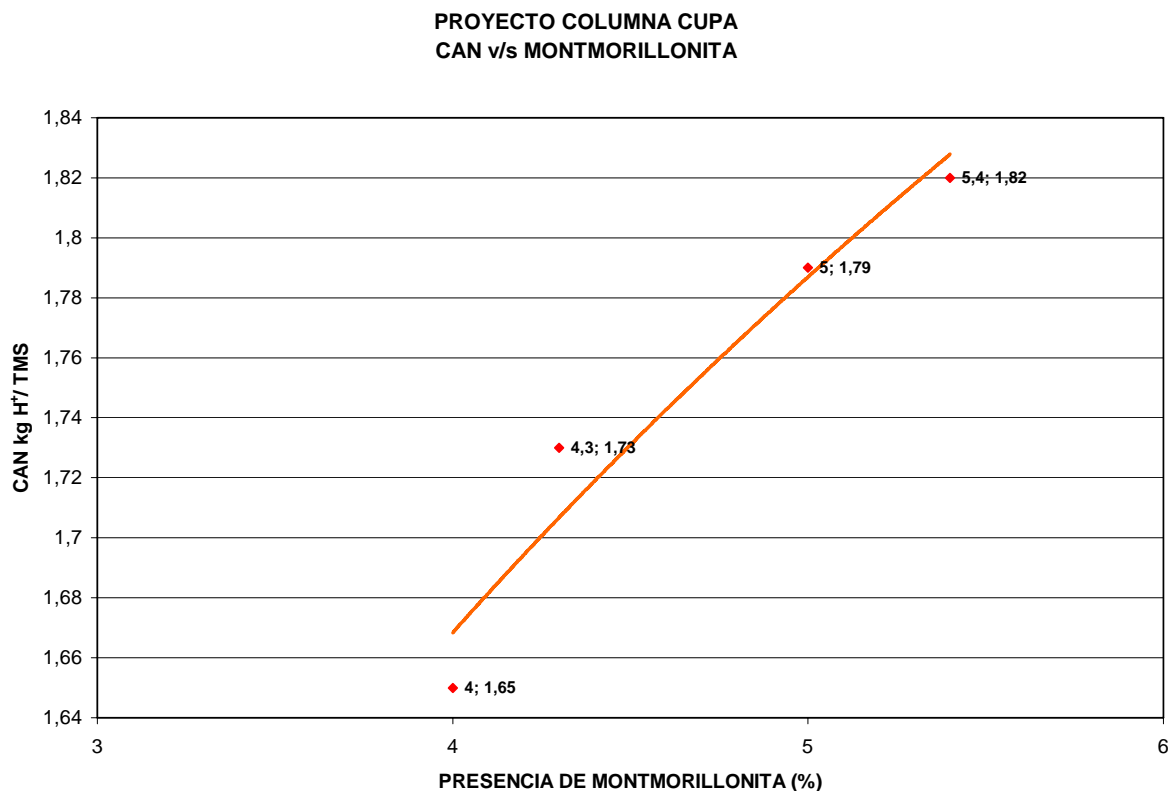


Gráfico 5.21: Consumo de ácido neto v/s montmorillonita.

A partir del Gráfico 5.21, se observa el análisis que se realizó con el equipo NIR 819 cuantificando la presencia de arcillas; en este caso Montmorillonita relacionando éste resultado con el consumo de ácido neto obtenido a partir de los análisis químicos a las muestras de cabeza de mineral. Al relacionar ambos resultados se obtiene una clara tendencia que indica que a medida que aumenta la presencia de Montmorillonita en el



mineral aumenta el consumo de ácido. Además se puede ver que la mezcla de mineral compuesta 100% de OXS presenta mayor cantidad de Montmorillonita y consume mayor cantidad de ácido.

5.10 ANÁLISIS A LOS RIPIOS

		Análisis químico de Ripios												
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13
Cu _T	%	0,230	0,130	0,300	1,010	0,170	0,160	0,140	0,220	0,230	0,270	0,350	0,490	0,740
Cu _S	%	0,115	0,090	0,165	0,082	0,094	0,086	0,083	0,102	0,119	0,138	0,149	0,192	0,098

Tabla 5.4: Análisis químico de Ripios

En la Tabla 5.4 se observa que no todo el cobre soluble es extraído en la lixiviación, lo cual se ve reflejado en el porcentaje que queda de Cu_S en: M-12 compuesta por 50% Sulfuro y 50% OXS, M-3 compuesta 100% de Mixto, M-11 compuesta por 75% OXS y 25% Sulfuro, M-10 compuesta por 75% Mixto y 25% OXS, M-9 compuesta por 50% de Mixto y 50% de OXS, M-1 compuesta 100% de OXS, M-8 compuesta por 75% OXS y 25% Mixto.



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo a las pruebas de lixiviación realizadas se obtiene que:

- ✓ La mezcla de mineral que alcanzó la mayor recuperación de cobre 62,25% corresponde a la columna CUPA #005, que se cargó con 75% de OXS y 25% de OXI con una ley de Cu_T de 0,44 %. Cabe destacar que ésta columna sobrepasó en 9,53% la recuperación proyectada inicialmente a través de los análisis químicos realizados a las muestras de cabeza de mineral. (Se debe tener presente que el resultado de la recuperación de cobre está sujeto a errores de laboratorio; especialmente la recuperación obtenida de cupa #005)
- ✓ El consumo de ácido neto (CAN) de la columna CUPA #005 comparado con el consumo histórico que presenta el mineral de las pilas de lixiviación primaria aumenta en 2,22 (kg H+/TMS) debido a la presencia de 15,2% de arcillas (4,3% Montmorillonita), ya que éste tipo de arcillas incide en el aumento del CAN en el sistema incorporando el ácido a su estructura.
- ✓ La columna que alcanzó una menor recuperación de cobre fue la CUPA #004, la cual corresponde a mineral sulfuro secundario fuerte. El cual posee una cinética muy lenta, ya que la energía que promueve la disolución de cobre en esta UG se debe proporcionar por la presencia de oxígeno o de ión férrico (agente oxidante) para así alcanzar una recuperación mayor que 19,32%.
- ✓ La muestra que presenta una mayor conductividad hidráulica es la que se compone sólo con OXS (CUPA #001), alcanzando 5184 cm/h. Lo cual coincide con la realidad al no presentar problemas de drenaje, irrigación; ni en la distribución de la solución en columna. Sin embargo, al ser tan alto el valor de la conductividad se encuentra que esta UG perjudica la recuperación de cobre porque el tiempo de contacto entre la solución lixivante y el mineral es muy bajo.
- ✓ Se sabe que al disminuir el tamaño de las partículas, la superficie de reacción aumenta. Es por lo mencionado que el chancado del mineral debe ser lo más homogéneo posible y cumplir con ser lo suficientemente fino para que la mayor parte del cobre quede expuesta a la acción del refino, como ya que a medida que



disminuye la malla analizada aumenta la presencia de la especie valiosa. En este caso, se debe continuar con granulometría 100% bajo 1 ½" (P80: 31800 μm).

- ✓ La solución lixivante, el refino utilizado en RT para lixiviar el mineral dispuesto en las columnas rinde más al atacar a OXS o a las mezclas que presentan esta UG necesitando un poco más de 310 L de solución en 7 días para extraer 1 kg de cobre.
- ✓ De acuerdo a los resultados del rendimiento de la solución de lixiviación, se desprende que es de necesidad ajustar el refino logrando alcanzar un mayor rendimiento de éste, según la mezcla cargada para alcanzar una mayor recuperación de cobre.
- ✓ El análisis de arcillas realizado con el equipo NIR 819, arrojó distintos porcentajes de Montmorillonita en las mezclas de mineral analizadas; obteniendo una clara tendencia al aumento de CAN a medida que aumenta la presencia de Montmorillonita en el mineral.
- ✓ A medida que se ausenta el OXS de las mezclas, disminuye la recuperación de cobre, lo cual se debe a la ausencia de óxidos en las mezclas.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las pruebas de lixiviación realizadas se recomienda que:

- ✓ Realizar mezcla de 75% de OXS con 25% de OXI para cargar mineral a la pila para obtener una mayor recuperación.
- ✓ Se debe poner especial atención, al cargar OXS con alto porcentaje de arcillas con cobre, OXI y AMS ya que éstas UG al ser chancadas producen demasiadas partículas finas aumentando la calidad física 1+2; lo que altera la permeabilidad en la pila.
- ✓ Probar adición de Fe^{3+} , O_2 al lixiviar mezclas de mineral que contengan mixtos y sulfuros ya que tiene un efecto positivo como por ejemplo: disminución de tiempo de lixiviación, aumento de la cinética de las reacciones presentes y alcanza una mayor recuperación de cobre; la cual podría ser mayor que la alcanzada en la actualidad.
- ✓ Potenciar caracterización geometalúrgica cuantitativa de los minerales de RT y así tener un mayor control para evitar manipulación de datos a conveniencia.
- ✓ Incorporar como práctica operacional la tecnología NIR para el análisis de arcillas en el mineral de RT.



- ✓ Utilizar la tecnología NIR como herramienta para relacionar el parámetro de conductividad hidráulica con porcentaje de arcillas presentes. Para esto se debe caracterizar la conductividad hidráulica para las distintas arcillas presentes en el mineral.
- ✓ Reemplazar perméametros actuales (cilindros de PVC) por permémetro de carga constante, para determinar el coeficiente de permeabilidad del mineral ya que el análisis actual arroja errores evidentes.
- ✓ Al realizar análisis de muestras líquidas en el laboratorio, especificar las muestras sometidas a análisis con numeración para evitar manipulación de información.
- ✓ Se sugiere el envío de análisis de muestras de cabeza y ripios a laboratorio externo, que entregue validez a la información entregada por el laboratorio que trabaja actualmente en planta piloto.
- ✓ Relacionar los siguientes datos: presencia de arcillas, conductividad hidráulica y consumo de ácido; para implementar un modelo basado en parámetros geológicos y geotécnicos apoyadas en las características mineralógicas del yacimiento. Caracterizando los parámetros ya mencionados para cada uno de los distintas UG, identificando las arcillas en las muestras de cabeza, la humedad residual en los ripios y de esta forma estimar la permeabilidad del mineral que se carga en las pila de lixiviación.



7 BIBLIOGRAFÍA

- ¹ CUADRA, P; GREZ, E; GRÖPPER, H. 1997. *Geología Del Yacimiento de Radomiro Tomic*. Universidad Católica del Norte.
- ² 1998. *Modelamiento Mineralógico Unidad de Óxidos*.
- ³ DOMIC, E. *Hidrometalurgia: fundamentos, procesos y aplicaciones*. 2001. 1° Edición.
- ⁴ *Manual General de Minería y Metalurgia*. 2006. Portal Minero Ediciones.
- ⁵ REGHEZZA, A. 2002. Fundamentos de la Lixiviación. *Hidrometalurgia avanzada*.
- ⁶ JERALDO, C. 2001. *Minerales Arcillosos: estructuras y propiedades físico-químicas*.
- ⁷ GUERRA, N. Geoquímica Exógena. *Las Arcillas: Propiedades y usos*.
- ⁸ CAMBLOR, E. 2008. *Optimización del Proceso de Aglomeración*.
- ⁹ ESPINOZA, C. 2004. Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento. *Ley de Darcy*. Universidad de Chile.

8 GLOSARIO

A

Alteración Hidrotermal: Corresponde a la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental. Tiene lugar a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de la roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Los factores más relevantes en dichos cambios son la temperatura y la composición del fluido hidrotermal (pH).

Alteración Cuarzo-Sericítica: Esta alteración consiste en agregados de sercíta, cuarzo y pirita que anula la textura original del pórfido en halos irregulares de bordes difusos, mediante el reemplazo intenso de la biotita, plagioclasas, feldespatos potásicos. También ocurren cantidades menores de arcillas del tipo caolinita como reemplazo principalmente de la plagioclasa y escasas vetillas localizadas de alunita-cuarzo.

Alteración Potásica de fondo: Consiste en un reemplazo parcial a penetrativo de los feldespatos. Se caracteriza por la biotitización de minerales máficos y por vetilleos con intensidad no mayor al 5% de vetillas tempranas y vetillas gris-verde.

Alteración Supérgena: Esta alteración está representada por sercíta y arcilla; y se desarrolla a expensas de silicatos de origen magmático e hidrotermal.

Arcillas: Producto final de la meteorización de silicatos, cuyas propiedades dependen de su estructura interna y diminuto tamaño. Que formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Arcillas con cobre (ARC): Se forma en condiciones intermedias de acidez, pertenecen al grupo de las esmectitas trioctaédricas, son capaces de contener un catión como el cobre de manera significativa, ya sea ocupando la posición central de la estructura de la arcilla (sitio octaédrico) o adsorbida mediante enlaces débiles en la superficie de sus hojas. Su composición es $(Mg, Cu^{2+})(Si_{3,6}, Al_{0,4})O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$.

Arcillización: Formación y/o incorporación de minerales de arcilla a un material original.

Atacamita (AT): Pertenecer al grupo de los cloruros, es un mineral dominante del yacimiento Radomiro Tomic, que se forma a partir de la evaporación de soluciones cloruradas alcalinas

con una alta razón de OH^-/Cl^- . Su composición es $3\text{CuO} \cdot \text{CuCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ o $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ (59.5% Cu peso).

B

Bornita (BO): Pertenece al grupo de los sulfuros y se encuentra en la zona central del yacimiento RT, diseminada en la roca y en vetillas de cuarzo tempranas. Su composición es Cu_5FeS_4 (63.3%Cu peso).

C

Calcopirita (CP): Es el sulfuro primario más abundante en el depósito, su composición es CuFeS_2 (34.6%Cu peso).

Calcosina (CC): Forma parte del grupo de los sulfuros, se origina en condiciones de alta $a_{\text{Cu}^{2+}}$ y a_{H^+} ; por lo que es el mineral índice de zonas de enriquecimiento intenso. Su composición es Cu_2S (79.9%Cu peso).

Calidad física: Es una manera cualitativa de clasificar físicamente el mineral apilado, anticipando derrumbes, aposamientos; entre otras consecuencias.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Propiedad fundamental e individual de las arcillas que corresponde a la sumatoria de todos los cationes de cambio que puede adsorber un mineral a un pH determinado; lo equivalente a la totalidad de aniones del mineral.

Celda scavenger: Ciento cuarenta y ocho celdas de limpieza, que retienen la mayor parte del orgánico y sólidos en suspensión remantes de la etapa de extracción por solventes.

Ciclo de lixiviación: Duración que abarca desde la carga de la pila a través del puente apilador, hasta su descarga mediante rotopala.

Ciclo de riego: Tiempo de riego efectivo en lixiviación, que depende de la ley de Cu_T .

Chancado primario: Primera etapa de reducción de tamaño con granulometría 60% -10".

Chancado secundario: Segunda etapa de reducción de tamaño con granulometría 100% -4".

Chacado terciario: Tercera etapa de reducción de tamaño con granulometría 100%-1 ½".

Chancador: Equipo que se utiliza para reducir tamaño de partículas.

Conductividad hidráulica: Es un parámetro esencial para determinar el movimiento de un fluido en el suelo.

Copper Wad (CUW): Se distribuye ampliamente, pero generalmente en baja intensidad en todo el yacimiento y su composición es $CuMnO_2Fe$ (posiblemente 5 a 20% Cu peso)

Covelina (CV): Es un mineral perteneciente al grupo de los sulfuros y su composición es CuS (66.4%Cu peso)

Cover: Es el piso bajo la pila hecho con carpeta HDPE en el que se disponen redes de cañerías Drenaflex y sobre estas grava estéril; evitando de esta manera la contaminación de los suelos y disminuyendo sólidos en suspensión en el PLS.

Crisocola (CRI): Pertenece al grupo de los silicatos, en el yacimiento se presenta de las siguientes maneras: en vetillas y disseminaciones en estructuras cuarzo-sericíticas o en vetas de cuarzo; asociado a arcillas con cobre como reemplazo parcial en plagioclasas; en la matriz de gravas exóticas y de manera subordinada, como relleno de fracturas. Su composición es $CuSiO_3 \cdot 2H_2O$ (aprox. 36% Cu peso); con presencia de Mn, Fe.

Curado: Es la distribución anticipada de ácido en correas transportadoras, para transformar las especies minerales de cobre que se encuentran próximas a la superficie e inhibiendo a su vez la disolución de algunas especies de la ganga indeseables.

D

Digenita (DG): Cu_9S_5

DOP: Bomba que cuenta con una turbina relativamente grande y de baja velocidad de rotación; su función consiste en evitar la entrada de aire para producir el movimiento de la dispersión a través de las unidades mezclador-decantador.

E

Extarcción por solventes: Proceso químico de separación en el cual las especies solubles que están en la fase acuosa se distribuyen preferencial y selectivamente en la fase orgánica; siendo ambas fases inmiscibles entre si.

Electroobtención: Recuperación de cobre como metal a partir de una solución electrolítica en una celda electroquímica.

F

Filosilicatos: Agrupa a la mayoría de los productos de meteorización de las rocas, son constituyentes de rocas tales como los esquistos y ciertas rocas ígneas (caso de las micas). Son típicos productos de alteración de feldspatos, anfíboles, piroxenos, olivinos etc.

Finos: Partículas de menor tamaño.

G

Ganga altamente reactiva: Especies que reaccionan con el ácido con rapidez.

Ganga medianamente reactiva: Especies que se disuelven relativamente rápido.

Goetita (GT): Pertenece al grupo de las limonitas, es originada por la lixiviación de un bajo porcentaje de sulfuros, preferentemente pirita, calcopirita y menor calcosina. Su composición es $FeO_2 \cdot H_2O$.

Granulometría: Tamaño de partícula, condición operacional de Lixiviación.

H

Harnero: Equipo de clasificación, que se utiliza en la etapa de chancado para el control de tamaño por medio de la separación del mineral de alimentación.

Hematita (HE): Pertenece al grupo de las limonitas y su composición es Fe_2O_3 .

J

Jarosita (JA): Pertenece al grupo de las limonitas Originada producto de la lixiviación de pirita y calcopirita, en ausencia de calcosina y su composición es $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$.

L

Lecho: Pilas de lixiviación.

Limonita (LM): Se forma por la alteración de minerales de hierro previamente existentes, forma parte del “sombrero de hierro” o “gossan” que es la expresión superficial de la oxidación de los filones de sulfuros. Su composición es $FeO(OH) \cdot nH_2O$.

Lixiviación: Primera etapa de disolución selectiva de cobre en la hidrometalurgia.

Lixiviación primaria: Proceso que permite obtener cobre, poniendo en contacto el mineral de alta ley proveniente de la mina con refino. Removiendo el mineral una vez agotado.

Lixiviación secundaria: Proceso que consiste en el tratamiento de rípios de la lixiviación primaria.

M

Malaquita (MA): Es el carbonato de cobre más abundante en RT, ocurre preferentemente al norte de 6500N, aunque aparece de forma subordinada a partir de 6150N. Se distribuye principalmente al oriente de 3800E. Su composición es $Cu_2CO_3(OH)_2$ (57.5% Cu peso).

Mapeo mineralógico: Catastro visual realizado por expertos, geólogos, para identificar especies mineralógicas y llevar un control de tipo cualitativo. Clasificándolas en óxidos (Atacamita, Crisocola, Arcillas con cobre), sulfuros (Calcosina, Covelina, Bornita, Calcopirita, Pirita), arcillas (Montmorillonita, Caolinita), limonitas (Hematita, Jarosita, Goetita).

Minerales alterados: Son frecuentes en rocas, cristalizan a temperaturas relativamente altas y puede producirse en cualquier momento de la historia de la roca. Algunos ejemplos de minerales alterados son: los feldspatos que se alteran dando lugar a arcillas; los piroxenos y anfíbolos se alteran y dan lugar a arcillas, limonitas y hematita; las micas dan lugar a arcillas.

Minerales oxidados de cobre: Se originan por una oxidación posterior a la zona de enriquecimiento secundario, formando: Atacamita, Arcillas con cobre, Crisocola, Copper Wad, Tenorita, Brochantita, Malaquita; según el ambiente prevaleciente en el cual precipiten.

Mineralogía: Ciencia que se ocupa de identificar minerales y estudiar sus propiedades con el propósito de realizar su clasificación.

Meteorización: Fenómeno geológico.

Módulos: Forma de separación de las pilas de lixiviación primaria, cada pila tiene 13 módulos y cada módulo se divide en dos semi módulos.

Molibdenita (MO): Es precipitada durante la etapa tardimagmática (hidrotermal temprana *sensu strictu*), en vetas rectas de cuarzo muy relacionada a calcopirita, en las zonas de Bo-Cp, Cp y Cp-Py. Su composición es MoS_2 .

N

Nivel Freático: Parte superior de la zona saturada con agua.

P

Permeabilidad: Capacidad del suelo para dejar pasar el fluido; lo que depende de las características del suelo (tamaño de granos, ordenamiento, textura, entre otros).

Permeámetro: Equipo utilizado para medir conductividad hidráulica. Existen de carga constante y de carga variable.

Pirita (PY): Es el mineral más abundante y ubicuo durante la etapa hidrotermal principal y su composición es FeS_2 .

Pórfido cuprífero: Cuerpo intrusivo del tipo Monzonita/Dacita y contiene mineralización primaria diseminada en Calcopirita, Pirita, con subproductos como Molibdenita, Oro, Plata en estado nativo. Sometido por largo tiempo geológico a transformaciones producidas por reacciones redox.

Propiedades hidrodinámicas: Propiedades que controlan la interacción entre la solución y el mineral en el proceso de lixiviación y corresponden a: conductividad hidráulica, humedad, capacidad de infiltración y potencial hídrico.

Pseudomalaquita (PMA): Se asocia a cuerpos de mena con mineralización de arcillas con cobre o atacamita dominantes, aunque localmente constituye mena principal. Es el fosfato más abundante del yacimiento y su composición es $Cu_5(PO_4)_2(OH)_4$ (55.2%Cu peso).

R

Refino: Solución pobre en cobre, con la que se riegan las pilas de lixiviación.

Ripio: Mineral agotado de la etapa de lixiviación primaria, que posee una humedad de alrededor de un 8%.

S

Silicatos: Grupo mineral más abundante, constituyen más del 92% de la corteza terrestre. Son minerales formadores de roca.

Spreader: Equipo que carga el mineral agotado de las pilas de lixiviación primaria y da forma a la pila de lixiviación secundaria de rípios.

T

Tasa de curado: Cantidad de ácido y/o agua agregado al mineral, se mide en $\left(\frac{kg}{TMS}\right)$

Tecnología VSF: Es una tecnología de flujo vertical, *Vertical Smooth Flow*, la que se compone de una unidad de bombeo DOP en cada etapa de SX, dos unidades mezcladoras Spirok en extracción y re-extracción; y una unidad Spirok en la etapa de lavado.



U

Unidad geológica: Clasificación del yacimiento, según modelamiento mineralógico considerando características litológicas, patrones de mineralización, alteración, entre otras.

9 ANEXO

9.1 ANEXO A: INFORMACIÓN DE LIXIVIACIÓN

Condiciones de operación promedio de lixiviación primaria 2009								
Refino a lixiviación			FLS				Consumo de Ácido	
Flujo m ³ /h	Cu ²⁺ gpl	H ₂ SO ₄ gpl	Cu ²⁺ gpl	Cl ⁻ gpl	H ₂ SO ₄ gpl	pH gpl	Kg H ₂ SO ₄	Kg H ₂ SO ₄
							Kg Cu fino	TMS
6826	2,03	18,3	6,9	10,8	11,5	1,2	1,04	4,51

Tabla A.1: Condiciones de operación promedio de lixiviación primaria 2009.

Características promedio de semimódulos apilados 2009										
Cl	Cs	Razón (Cs/Cl)	Ext. Proyectada	CAN	T.C	T. Agua	Calidad +2	Stock	Mxto	Tiempo de Reposo Días
%	%	%	%	Kg/TMS	Kg/Ton	Kg/Ton	%	%	%	
0,536	0,422	78,7	78,2	7,35	3,7	22	17,7	3,7	0,92	1

Tabla A.2: Características promedio de semimódulos apilados 2009.

Características promedio de semimódulos apilados 2009						
Tiempo de Reviente Días	1° Efluente			Ks cm/h	Arcillas con Cu %	Arcillas %
	Cu ²⁺ gpl	H ⁺ gpl	pH			
6	30,9	2,9	1,9	312	17,2	5

Tabla A.3: Características promedio de semimódulos apilados 2009.

Características promedio de semimódulos excavados 2009										
Extracción Cu %			Ley de cabeza %			Humedad cabeza %	Descrip			
Proy	Real	Delta	Cl	Cs	Razón Cs/Cl		Efectivo	Opino	Delta	Laeb
68,5	65,1	-3,06	0,57	0,46	7,4	2,72	66,2	64,8	-1,39	1,7

Tabla A.4: Características promedio de semimódulos excavados 2009.

Características promedio de semimódulos excavados 2009										
AMS %	STOCK72 %	STOCK10 %	Mxto %	Calidad Mineral (+2)%	T.C Kg/Ton	Granulometría		F80 mm	Cu ²⁺ gpl Refino	Fe ²⁺ gpl Refino
						Acum +1 %	bajo #50			
0	0	2,79	15,1	15	33	20,8	67	26	234	2680

Tabla A.5: Características promedio de semimódulos excavados 2009.

Características promedio de semimódulos excavados 2009				
Crisocola %	Conductividad cm/hr	C.A.N	Humedad ripió %	T.A.C / C.N %
0,5	218	8,6	8,0	43

Tabla A.6: Características promedio de semimódulos excavados 2009.

Promedio de extracción de Enero - Diciembre 2009				
Cabeza Cu _T %	Ripio Cu _T %	Ext. Real Cu _T %	Ext. Proy Cu _T %	Delta
0,631	0,171	73,5	70	3,53

Tabla A.7: Promedio de extracción de Enero-Diciembre 2009.

Condiciones de operación promedio de lixiviación secundaria de ripios 2009											
Flujo ponderado día m ³ /hr		Razón Flujo	Cu ²⁺ gpl		H ₂ SO ₄ gpl		Cl ⁻ gpl		Producción TMF	Consumo de Ácido	
ON	OFF Total	OFF/ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF		CAN Kg/TMS	Kg H ₂ SO ₄ Kg Cu prod
1634	1494	91,4	1,65	3,91	28,7	9,05	9,2	9,3	27504	280760	10,4

Tabla A.8: Condiciones de operación promedio de lixiviación secundaria de ripios 2009.

Condiciones de operación promedio de lixiviación OBL 2009											
Flujo ponderado día m ³ /hr		Razón Flujo	Cu ²⁺ gpl		H ₂ SO ₄ gpl		Cl ⁻ gpl		Producción TMF	Consumo de Ácido	
ON	OFF Total	OFF/ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF		CAN Kg/TMS	Kg H ₂ SO ₄ Kg Cu prod
843	766	91	1,56	4,9	28,6	13,3	9,3	9,5	16618	90141	3,25

Tabla A.9: Condiciones de operación promedio de lixiviación OBL 2009.



9.2 ANEXO B: PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

PREPARACIÓN MECÁNICA

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Retroexcavadora
- Chancador de mandíbulas de 10" x 16"
- Harnero vibrador marca Gilson
- Equipo de protección personal (EPP)

Materiales

- Escobillón
- Carretilla
- 2 Palas cuadradas
- 2 Macho
- 5 Rótulos

Procedimiento

El mineral muestreado e identificado, como se ve en la Figura B.1 dispuesto en carpeta se lleva mediante la retroexcavadora al chancador que se encuentra en la Planta Piloto.

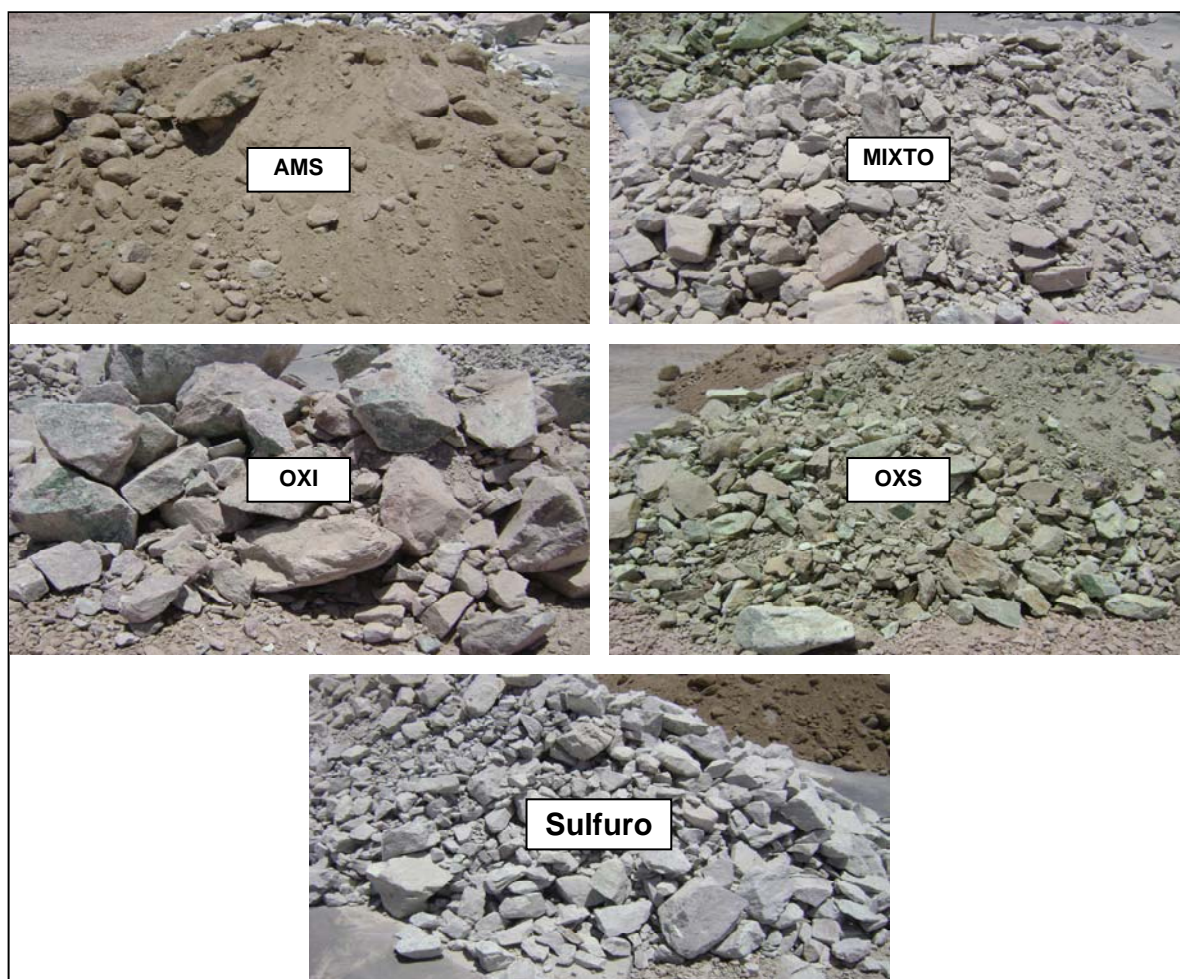


Figura B.1: Mineral para pruebas.

- El material es chancado, cada uno por separado a granulometría de planta 100% -11/2". Pero antes de empezar a cargar, se revisa que lo equipos con los que se debe trabajar se encuentren operativos y en buen estado.
- Cargar tolva con mineral.
- Limpiar el chancador cada vez que la reducción de cada mineral se finalice.
- Trasladar el mineral chancado a la cancha de acopio de la Planta Piloto mediante retroexcavadora y se debe rotular según corresponda, como se ve en Figura B.2:

Pruebas de arcillas/finos en el proceso de lixiviación
Nombre UG

Figura B.2: Rótulo de identificación de lotes.

- Dicha acción se debe repetir 5 veces; para las demás UG (OXI, OXS, AMS, Sulfuro y Mixto)

MUESTREO DE MINERAL

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Retroexcavadora

Materiales

- 3 Palas cuadradas
- 20 Rótulos

Procedimiento

- El mineral dispuesto en la cancha de acopio se homogeniza por separado con la retroexcavadora, esta acción se repite para cada una de las UG.
- Se separa el cono de OXS en 4 sublotes de más o menos 875 kg con la retroexcavadora, retirando mineral de distintos lugares del cono (Ver Figura B.3).
- Cada uno de los 4 sublotes de OXS se dividen en 8 sublotes de 100 kg aproximadamente, con pala (Ver Figura B.3). Se realiza la acción retirando el mineral rodeando el cono y de abajo hacia arriba (Ver Figura B.4).

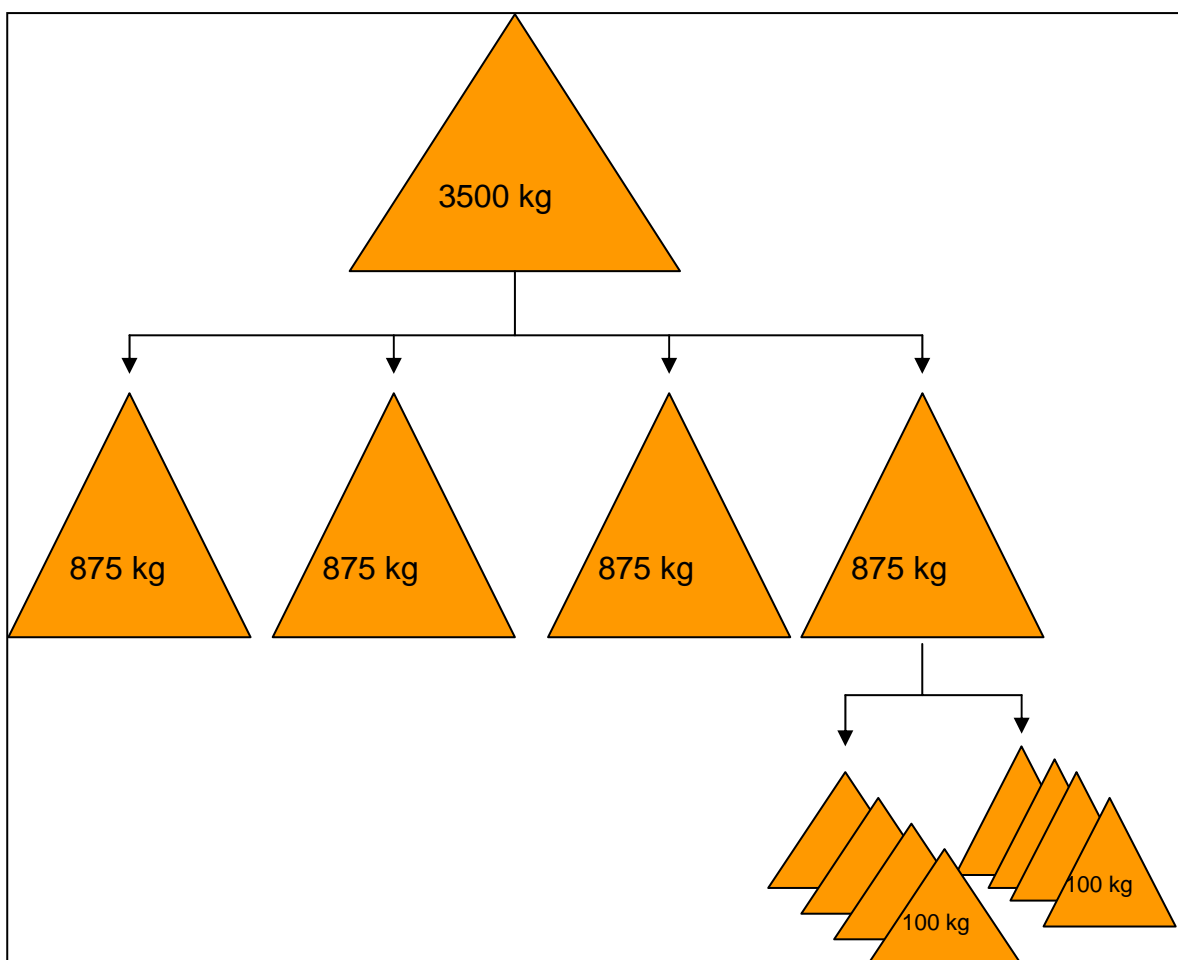


Figura B.3: Separación de OXS.

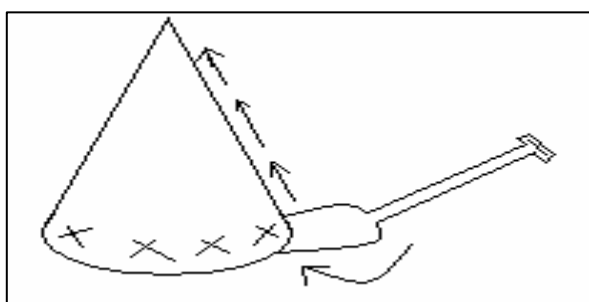


Figura B.4: Especificación de cuarteo.

- Se embolsan los 32 sublotes de OXS y rotulan de la siguiente manera:

Nombre UG
Lote #

Figura B.5: Rótulo de identificación de bolsas.

- Se separa el cono de OXI en 4 sublotos de más o menos 500 kg con la retroexcavadora (Ver Figura B.6), retirando mineral de distintos lugares del cono (Ver Figura B.4).
- Cada uno de los 4 sublotos de OXI se dividen en 5 sublotos de 100 kg aproximadamente con pala (Ver Figura B.6). Se realiza la acción retirando el mineral rodeando el cono y de abajo hacia arriba (Ver Figura B.4).

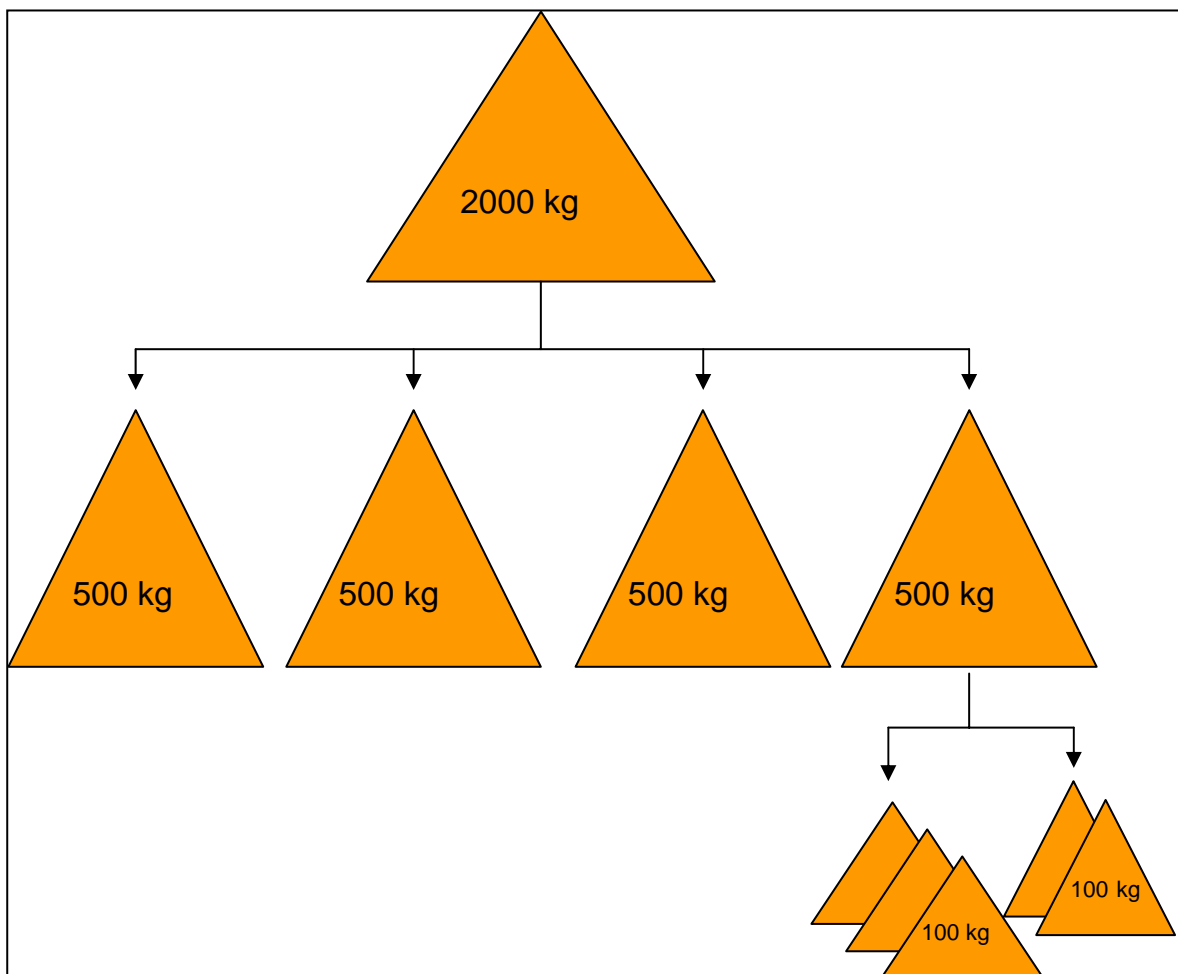


Figura B.6: Separación de OXI.

- Se embolsan los 20 sublotos de OXS y rotulan como se indica en la Figura B.5.
- Se separa el cono de Mixto en 4 sublotos de más o menos 500 kg con la retroexcavadora (Ver Figura B.7), retirando mineral de distintos lugares del cono (Ver Figura B.4)

- Cada uno de los 4 sublotos de Mixto se dividen en 5 sublotos de 100 kg aproximadamente con pala (Ver Figura B.7). Se realiza la acción retirando el mineral rodeando el cono y de abajo hacia arriba (Ver Figura B.4).

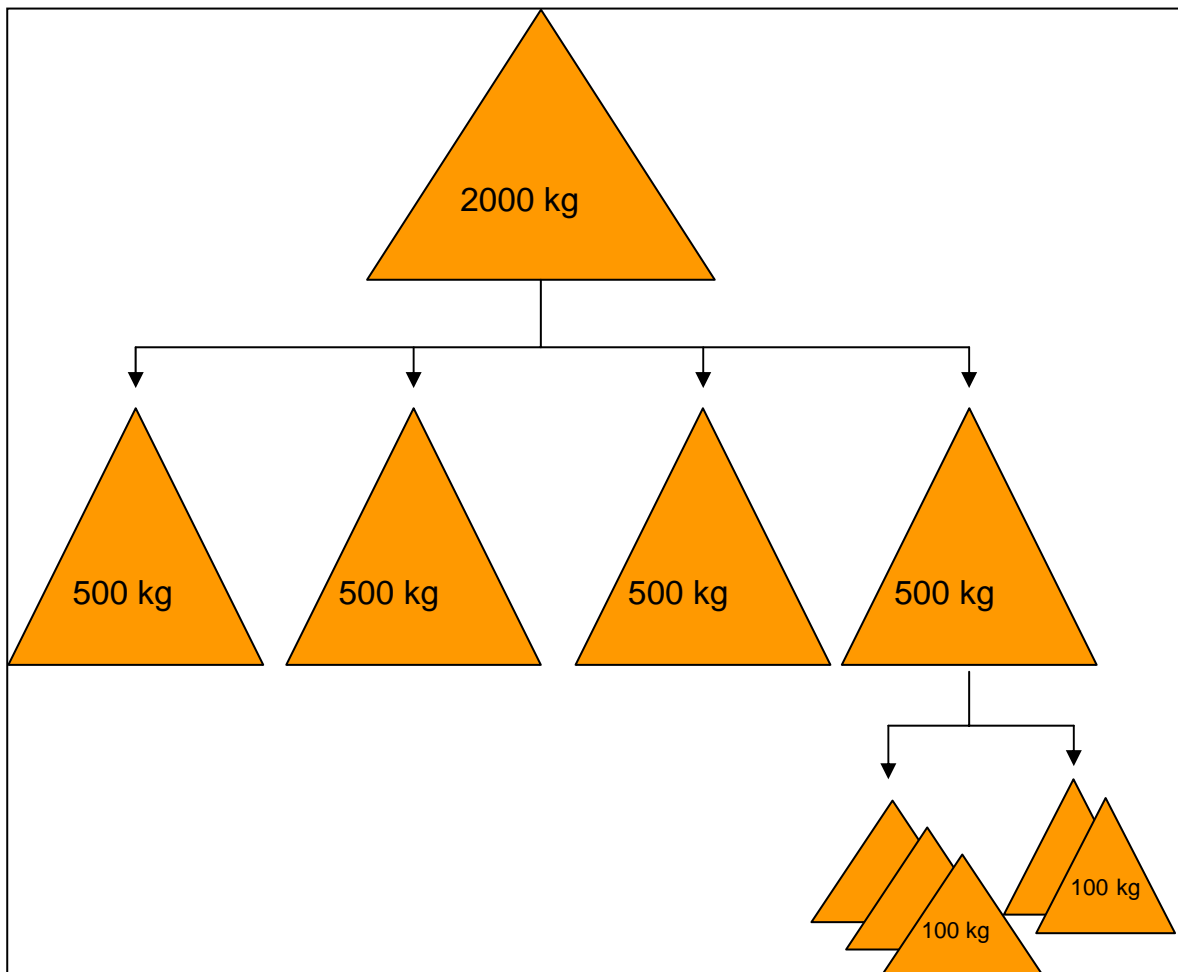


Figura B.7: Separación de Mixto

- Se embolsan los 20 sublotos de Mixto y rotulan como se indica en la Figura B.5.
- Se separa el cono de AMS en 4 sublotos de más o menos 500 kg con la retroexcavadora (Ver Figura B.8), retirando mineral de distintos lugares del cono (Ver Figura B.4).
- Cada uno de los 4 sublotos de AMS se dividen en 5 sublotos de 100 kg aproximadamente con pala (Ver Figura B.8). Se realiza la acción retirando el mineral rodeando el cono y de abajo hacia arriba (Ver Figura B.4).

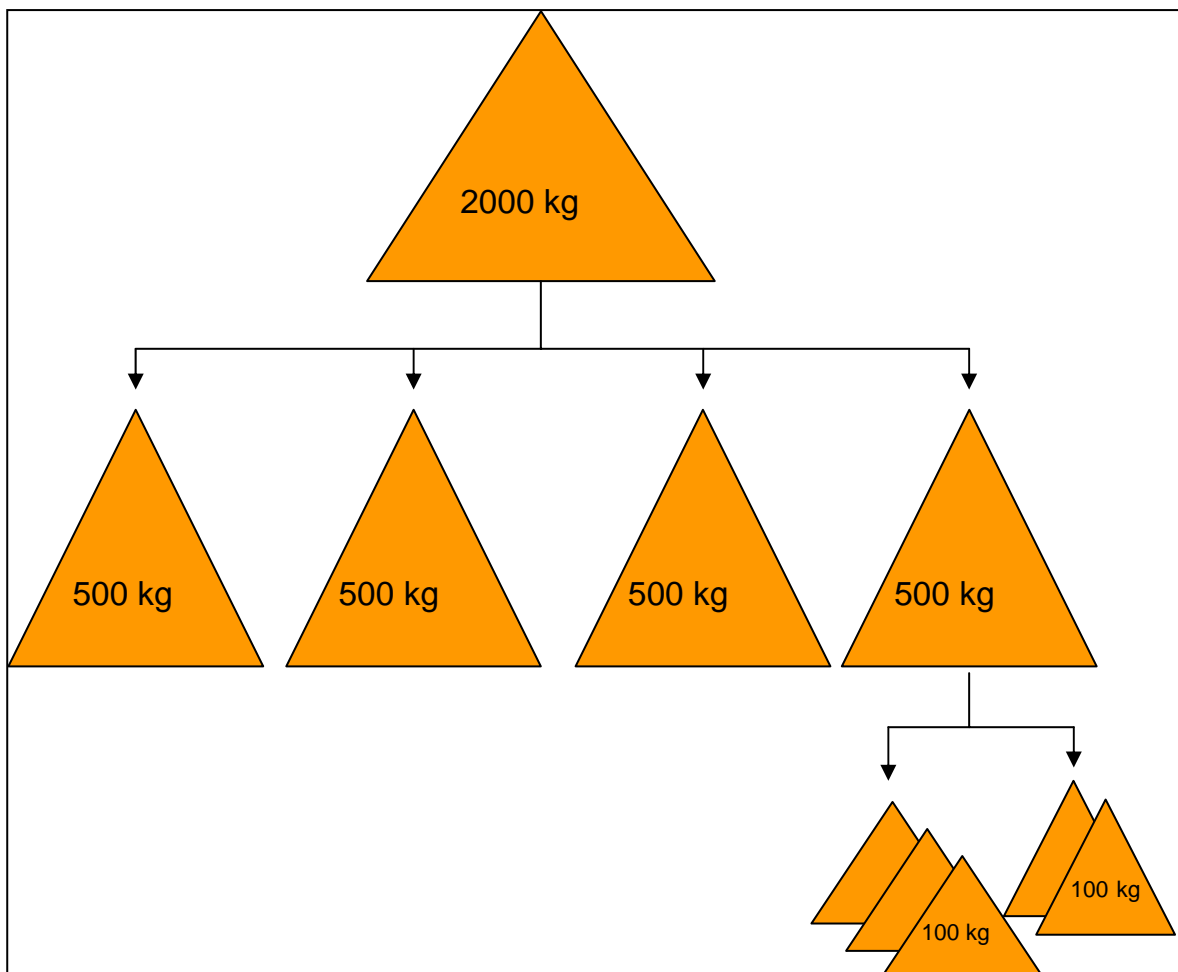


Figura B.8: Separación de AMS.

- Se embolsan los 20 sublotos de AMS y rotulan como se indica en la Figura B.5.
- Se separa el cono de Sulfuro en 4 sublotos de más o menos 500 kg con la retroexcavadora (Ver Figura B.9), retirando mineral de distintos lugares del cono (Ver Figura B.4).
- Cada uno de los 4 sublotos de Sulfuro se dividen en 5 sublotos de 100 kg aproximadamente con pala (Ver Figura B.9). Se realiza la acción retirando el mineral rodeando el cono y de abajo hacia arriba (Ver Figura B.4).

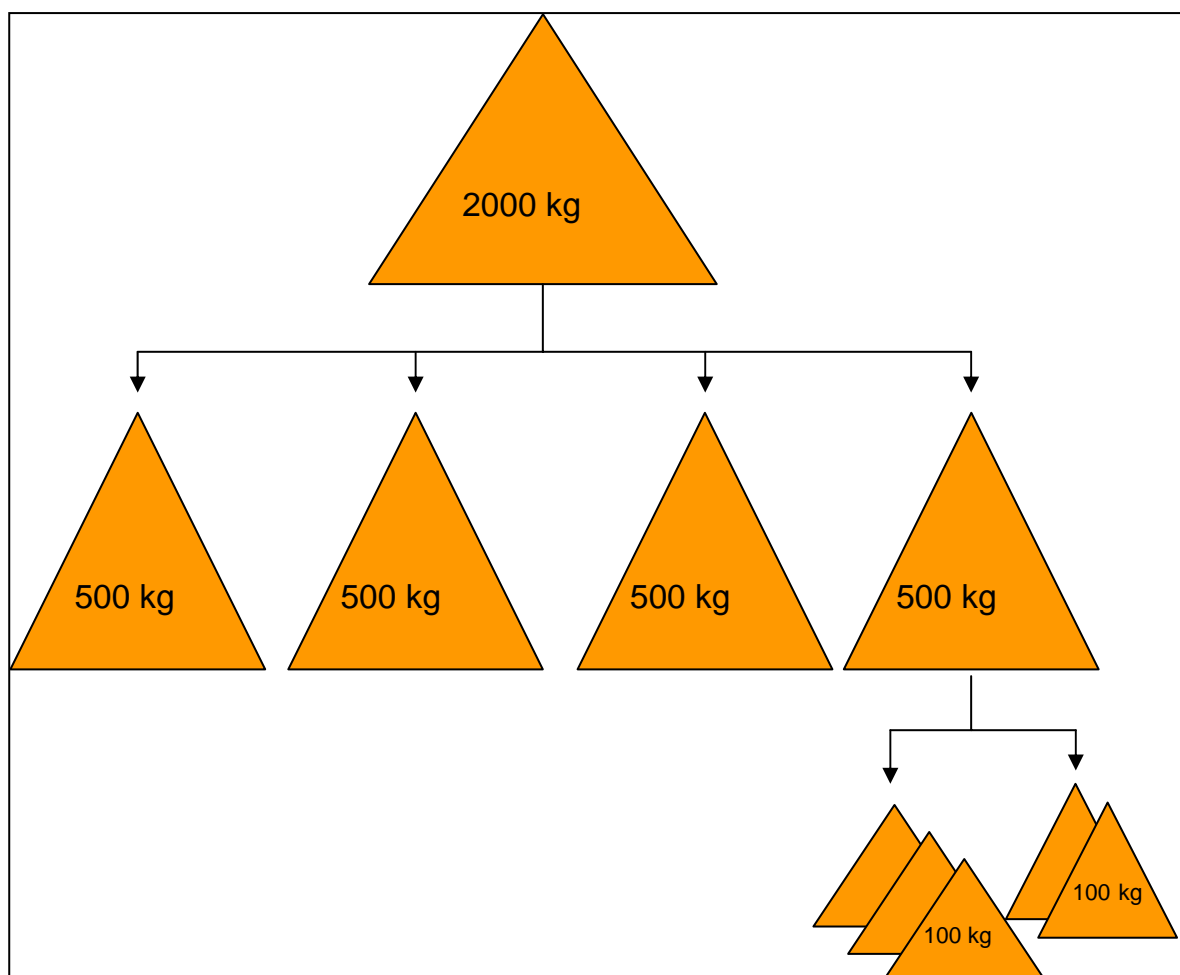


Figura B.9: Separación de Sulfuro

- Se embolsan los 20 sublotes de Sulfuro y rotulan como se indica en la Figura B.5.

PREPARACIÓN DE MEZCLAS

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Balanza
- EPP

Materiales

- Bolsas de 20 kg. de capacidad 40 x 60.
- 3 Palas cuadradas.
- Pala Jis
- Escobillón.
- Plumón

Procedimiento

A continuación se muestra la composición de las mezclas en la Tabla B.1:

Muestra	UG %				PESO kg.
	OXS	OXI	MX	SULFURO	
M-1	100				200
M-2		100			200
M-3			100		200
M-4				100	200
M-5	75	25			200
M-6	50	50			200
M-7	25	75			200
M-8	75		25		200
M-9	50		50		200
M-10	25		75		200
M-11	75			25	200
M-12	50			50	200
M-13	25			75	200

Tabla B.1: Composición de mezclas

- M-1 se forma a partir del lote N°6 de OXS completo, con un peso de 213,7 kg. Se dispone la totalidad del mineral que compone M-1 en la cancha de acopio, formando un cono. Luego, con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, aproximadamente cada uno de 100 kg. Uno de los lotes se embolsa y rotula como se muestra a continuación:

Nombre de mezcla Ej.: M-1

Figura B.10: Rótulo para mezclas.

El lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11:

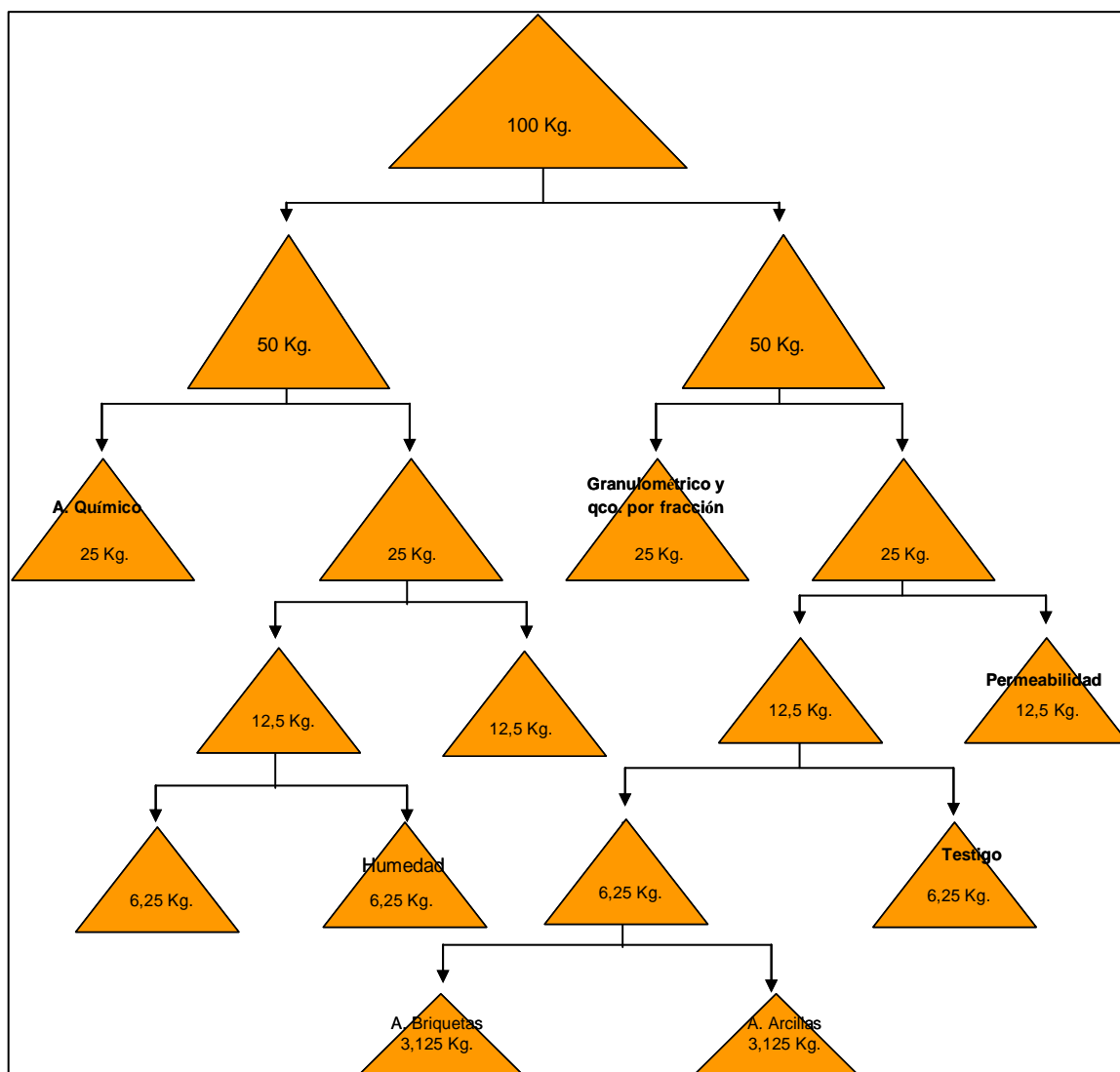


Figura B.11: Cuarteo de muestras.

- Se pesan las muestras
- M-2 se forma a partir del lote N°4 de OXI completo, con un peso de 229,3 kg. Disponiendo la totalidad de mineral que compone M-2 en la cancha de acopio, formando un cono. Luego con paladas alternadas, se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuarteo con pala como se indica en Figura B.11.
- Se pesan las muestras.

- M-3 se forma a partir del lote N°4 de Mixto completo, con un peso de 204,6 kg. Disponiendo completamente el mineral que compone M-3 en la cancha de acopio, formando un cono. Mediante paladas alternadas, se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-4 se forma a partir del lote N°1 de Sulfuro completo, además se agregan los lotes N°2 D y N°2G. Conformando una muestra de 209,65 kg. Se dispone del total del mineral que compone M-4 en la cancha de acopio, formando un cono. Mediante paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-5 se forma a partir del lote N°2 de OXS, sacando el lote N°2 E, G; conformando una muestra de 163,2 kg. Además se dispone en la cancha de acopio separado de la anterior UG el lote N°1 E, F, I de OXI conformando una muestra de 71,2 kg. A dicha muestra se le retira 17,1 kg de mineral con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 217,3 kg. Luego mediante paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-6 se forma a partir del lote N°5 A, B, C, H, I de OXS alcanzando un peso de 115,75 kg. De esta UG se retira 5,3 kg con pala Jis. Además se dispone en la cancha de acopio separado de la anterior UG el lote N°3 E, F, G, I, J de OXI pesando 119,1 kg. retirando 3,2 kg. con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 226,35 kg. Luego con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.

- Se pesan las muestras.
- M-7 se forma a partir del lote N°5 E, F, G de OXS, conformando una muestra de 76,8 kg. Retirando con pala Jis 18,50 kg. Además se dispone en la cancha de acopio separado de la anterior UG el lote N°1 A, B, C, D, G, H, J y el lote N°5 H de OXI conformando una muestra de 180,8 kg. A dicha muestra se le retira 5,9 kg de mineral con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 233,2 kg. Con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuarteo con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-8 se conforma a partir del lote N°3 A, C, D, E, F, G, H de OXS alcanzando un peso de 186,6 kg. De esta UG se retira 12,70 kg con pala Jis. Además se dispone en la cancha de acopio; separado de la anterior UG el lote N°2 C, H y el lote N°3 F de Mixto pesando 79,8 kg. retirando 21,85 kg. con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 231,85 kg. Con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuarteo con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-9 se forma a partir del lote N°4 A, B, D, F, G de OXS, conformando una muestra de 117,9 kg. retirando con pala Jis 7,7 kg. Además se dispone en la cancha de acopio; separado de la anterior UG el lote N°3 A, B, C, E, H de Mixto conformando una muestra de 134,05 kg. A dicha muestra se le retira 23,5 kg de mineral con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 220,75 kg. Con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuarteo con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-10 se forma a partir del lote N°4 H, I de OXS alcanzando un peso de 53,3 kg. De esta UG se retira 0,95 kg con pala Jis. Además se dispone en la cancha de acopio;

separado de la anterior UG el lote N°2 A, B, D, E, F, G y el lote N°1 B de Mixto pesando 176,65 kg. retirando 19,55 kg. con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 209,45 kg. Con paladas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.

- Se pesan las muestras.
- M-11 se conforma a partir del lote N°8 A, B, D, E, G, H, I de OXS, conformando una muestra de 169,3 kg. retirando con pala Jis 2,2 kg. Además se dispone en la cancha de acopio; separado de la anterior UG el lote N°2 A, B, E de Sulfuro conformando una muestra de 67,65 kg. A dicha muestra se le retira 11,9 kg de mineral con pala Jis. Los conos separados dispuestos en la cancha de acopio se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 222,85 kg. Con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-12 se forma a partir del lote N°7 A, B, D, H, I de OXS, conformando una muestra de 117,45 kg. retirando con pala Jis 6,0 kg. Además se dispone en la cancha de acopio; separado de la anterior UG el lote N°3 A, B, C, E, H de Sulfuro conformando una muestra de 127,75 kg. A dicha muestra se le retira 16,25 kg de mineral con pala Jis. Los conos separados, dispuestos en la cancha de acopio, se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 222,95 kg. Con paladas alternadas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se debe cuartear con pala como se indica en la Figura B.11.
- Se pesan las muestras.
- M-13 se conforma a partir del lote N°7 C, E de OXS, formando una muestra de 53,65 kg. retirando con pala Jis 2,35 kg. Además se dispone en la cancha de acopio; separado de la anterior UG el lote N°5 completo de Sulfuro conformando una muestra de 153,8 kg. Los conos separados, dispuestos en la cancha de acopio, se mezclan a través de paladas alternadas para conformar una mezcla de 205,1 kg. Con paladas se separa el cono principal en dos, cada uno de 100 kg aproximadamente. Uno de los

lotes se embolsa y rotula, como se indica en la Figura B.10 y el lote restante se cuartea con pala como se indica en la Figura B.11.

- Se pesan las muestras.

CURADO ÁCIDO Y AGLOMERADO DEL MINERAL

El curado ácido del mineral se realizó en un paño roleador para luego cargarlo en las respectivas columnas donde se dejó en reposo por 24 horas.

Las pruebas se realizaron en condiciones ambientales normales durante la época de verano.

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Balanza
- EPP

Materiales

- Paño roleador
- Planilla de control
- Carretilla
- Pala Jis
- 2 Pala
- Calculadora
- Frasco de 250 cc
- Frasco de 500 cc
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 96%
- Agua industrial
- 2 Probetas
- 13 Bolsas 40 x 60
- 1 Plumón

Procedimiento

- Se pesó cada muestra de mineral en balanza y se anotó el peso en la planilla de control (Ver Figura C.1).
- Se dispuso en el paño rodeador la muestra de mineral y se homogenizó.
- Se hizo un cono con el mineral y se acható con la pala (Ver Figura B.12).
- Según tasa de curado ácido para cada UG, parámetro utilizado por metalurgia en RT, se calculó para cada muestra la dosis de ácido.
- Según tasa de agua, parámetro utilizado por metalurgia en RT, se calculó la dosis de agua para cada una de las muestras.
- Se anotó la tasa de curado ácido y de agua en planilla de control.
- Se sacó la cantidad de agua del bidón, necesaria para cada muestra mineral, con la probeta y se agregó su contenido en el frasco de 250 cc (Ver Figura B.12).
- Se sacó la cantidad de ácido del bidón, necesaria para cada muestra de mineral, con la probeta y se agregó su contenido en el frasco de 500 cc (Ver Figura B.12).
- Se agregó la dosis de ácido y la dosis de agua al mineral dispuesto en el paño rodeador.
- Se roleó el mineral (Ver Figura B.12) y luego se sacó la muestra de humedad, alrededor de 5 kg., con pala Jis. El mineral se dispuso en bolsa rotulada y se cerró.
- Se pesó el resto del mineral curado y aglomerado y se anotó el peso en planilla de control (Ver Figura C.1).
- Se repitió el procedimiento para cada una de las 13 muestras.



Figura B.12: Fotografía de secuencia de curado y aglomerado del mineral.

CARGA DE COLUMNAS

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Balanza
- EPP

Materiales

- Planilla de control
- Carretilla
- Pala Jis
- Flexómetro
- Calculadora
- 13 Bolsas
- Plumón

Procedimiento

- Luego de pesar mineral ya curado y de anotar el peso en la planilla de control, se procedió a cargar cada una de las columnas con la respectiva muestra de mineral.
- Se cargó el mineral en la columna, hasta que se alcanzó la marca que posee por dentro y luego se midió la altura libre con flexómetro y se anotó este dato en la planilla de control (Ver Figura C.1).
- El mineral que no se cargó, se pesó e identificó como rechazo húmedo. Este dato se anotó en la planilla de control (Ver Figura C.1).
- El mineral cargado se dejó en reposo por 24 horas, en las columnas.
- El procedimiento para cargar columnas se repitió cada una de estas.

➤ CONTROLES

Materiales

- Planilla de control
- Cronómetro
- Probeta

Irrigación y control de flujos

Procedimiento

- La solución de riego, se alimentó a bidones individuales por gravedad. Estos estanques se llenaron el primer día con 13 l de solución y el resto de los días se llenó con 17,3 l.
- La irrigación de las columnas se efectuó con bombas y se controló cada una hora el flujo.
- A su vez cada una hora se midió durante un minuto, con una probeta y cronómetro en mano, el caudal arrojado por la línea de alimentación de refino hacia los ramales.
- La tasa de riego se mantuvo en 10 l/h/m² y se anotó el dato en planilla de control. (Ver Figura C.2)

Formación de Muestra ON y OFF diaria

Procedimiento

- Se conformó el compósito de muestra líquida ON diaria, que corresponde al refinado con el cual se regó la columna. Se pidió la respectiva orden de trabajo para identificar la muestra que se debe enviar a análisis químico de muestras líquidas.
- Es responsabilidad del operador velar que el goteo no se interrumpa durante el turno y que el caudal se mantenga en Aprox. 12 cc/min.
- Se pidió orden de trabajo para rotular frascos.
- Al finalizar el “día de operación” (11:00 AM), se pesó el bidón OFF, se midió el volumen de la solución y se obtuvo la densidad. Luego se tomó una muestra de solución OFF en un frasco de 250 cc e identificó y envió a análisis químico de muestras líquidas.
- Al finalizar el ciclo de lixiviación, al cumplir los 7 días, se toman las muestras antes mencionadas y se dispuso bajo cada columna un bidón OFF para rescatar la solución que queda en la columna hasta el momento sin drenar. Anotando el peso de la solución cada 2 horas. Por último al no ver aumento en el peso de la solución, se midió el volumen y se sacó la densidad; anotando los datos en la planilla de control. (Ver Figura C.3)

DESCARGA DE COLUMNAS

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Balanza
- EPP

Materiales

- Planilla de control
- Carretilla
- Pala Jis
- Plumón

- Flexómetro
- 2 Pala
- 78 Bolsas
- Rafia
- Trozos de carpetas
- Durmientes

Procedimiento

- Se desarmó el montaje de equipo, sacando bidones ON y OFF, bombas, sujetador de manguera y la protección que poseen las columnas.
- Entre tres personas se tomó la columna y se vació su contenido en la carretilla.
- Se pesó el mineral y se anotó dato en planilla de control. (Ver Figura C.4)
- Se sacó muestra de mineral húmedo (ripio) con pala Jis alrededor de 5 kg.; se embolsó, pesó, cerró e identificó las muestras. (Ver Figura B.13) Se anotó dato en planilla de control. (Ver Figura C.4)



Figura B.13: Fotografía de secuencia de descarga de mineral, pesaje y toma de muestra de humedad.

- El ripio, que se encuentra en carretilla, se dispuso en trozos de carpetas para secarlo al sol durante 5 días. Durante estos 5 días el mineral se debió traspalear. (Ver Figura B.14)



Figura B.14: Fotografía de ripios en carpeta para secado.

- Luego de 5 días el mineral ya seco, se embolsó, se cerró e identificó.
- El procedimiento se repitió para cada una de las columnas.

9.3 ANEXO C: PLANILLAS DE CONTROL

REGISTRO CARGA DE CUPA

QR-09-06PRT

Tipo de Mineral :	CURADO
Tasa de Curado :	Fecha Inicio :
Tasa de agua :	Hora Inicio :
Granulometría :	Fecha Término :
COLUMNA Nº :	Hora Término :
FECHA :	T. de reposo :

Tipo de Mineral :	CURADO
Tasa de Curado :	Fecha Inicio :
Tasa de agua :	Hora Inicio :
Granulometría :	Fecha Término :
COLUMNA Nº :	Hora Término :
FECHA :	T. de reposo :

CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	ACIDO cc	AGUA Lt
1					
2					
3					
4					
5					
6					
TOTAL =					

CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	ACIDO cc	AGUA Lt
1					
2					
3					
4					
5					
6					
TOTAL =					

RECHAZO SECO	
RECHAZO HUMEDO	
PESO MUESTRA DE HUMEDAD	
ALTURA DE CARGA COLUMNA	
MASA HUMEDA CARGADA	

RECHAZO SECO	
RECHAZO HUMEDO	
PESO MUESTRA DE HUMEDAD	
ALTURA DE CARGA COLUMNA	
MASA HUMEDA CARGADA	

Tipo de Mineral :	CURADO
Tasa de Curado :	Fecha Inicio :
Tasa de agua :	Hora Inicio :
Granulometría :	Fecha Término :
COLUMNA Nº :	Hora Término :
FECHA :	T. de reposo :

Tipo de Mineral :	CURADO
Tasa de Curado :	Fecha Inicio :
Tasa de agua :	Hora Inicio :
Granulometría :	Fecha Término :
COLUMNA Nº :	Hora Término :
FECHA :	T. de reposo :

CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	ACIDO cc	AGUA Lt
1					
2					
3					
4					
5					
6					
TOTAL =					

CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	ACIDO cc	AGUA Lt
1					
2					
3					
4					
5					
6					
TOTAL =					

RECHAZO SECO	
RECHAZO HUMEDO	
PESO MUESTRA DE HUMEDAD	
ALTURA DE CARGA COLUMNA	
MASA HUMEDA CARGADA	

RECHAZO SECO	
RECHAZO HUMEDO	
PESO MUESTRA DE HUMEDAD	
ALTURA DE CARGA COLUMNA	
MASA HUMEDA CARGADA	

Figura C.1: Planilla de control de carga en columnas.



**CONTROL DE SOLUCIONES DE ALIMENTACION Y DE SALIDA EN COLUMNAS
PROYECTO CUPA**

Fecha Operación : _____

Mediciones de flujo y de volumen de solución de alimentación															
Columna	N°			N°			N°			N°			N°		
	Flujo cc/min inst.	ajuste	Flujo Aire lt./min.	Flujo cc/min inst.	ajuste	Flujo Aire lt./min.	Flujo cc/min inst.	ajuste	Flujo Aire lt./min.	Flujo cc/min inst.	ajuste	Flujo Aire lt./min.	Flujo cc/min inst.	ajuste	Flujo Aire lt./min.
Vol. Inicial															
11:00 hrs															
12:00 hrs															
13:00 hrs															
14:00 hrs															
15:00 hrs															
16:00 hrs															
17:00 hrs															
18:00 hrs															
Acum.															
19:00 hrs															
20:00 hrs															
21:00 hrs															
22:00 hrs															
23:00 hrs															
00:00 hrs															
01:00 hrs															
02:00 hrs															
Acum.															
03:00 hrs															
04:00 hrs															
05:00 hrs															
06:00 hrs															
07:00 hrs															
08:00 hrs															
09:00 hrs															
10:00 hrs															
Acum.															
Acum. Dia															
Diferen.															
Total Día															

Control Soluciones de Salida															
Mediciones Especiales	Hora		Hora		Hora		Hora		Hora		Hora		Hora		
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	
Peso															
Volumen															
Densidad															
Peso Remanente															
Vol. Remanente															

REGISTROS IMPORTANTES

	Hora Inicio riego	Hora 1º Efluente	Hora Parada		Hora Reinicio	Hora Detención	Hora In. Lavado	Hora Fin. Lavado
Colum. N°								
Colum. N°								
Colum. N°								
Colum. N°								
Colum. N°								
Colum. N°								

OBSERVACIONES: _____

 Nombre y Firma Operador
 Turno A

 Nombre y Firma Operador
 Turno B

 Vº Bº Jefe Turno

Figura C.2: Planilla de control de soluciones de alimentación y de salida en columnas.

MEDICIÓN DRENAJE COLUMNAS CUPA

Fecha Operación :

Tara	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº	CUPA Nº
11:00									
13:00									
15:00									
17:00									
19:00									
21:00									
23:00									
1:00									
3:00									
5:00									
7:00									
9:00									
11:00									
13:00									
15:00									
17:00									
19:00									
21:00									
23:00									
1:00									
3:00									
5:00									
7:00									
9:00									
11:00									
13:00									
15:00									
17:00									
19:00									
21:00									
23:00									
1:00									
3:00									
5:00									
7:00									
9:00									
11:00									
13:00									
15:00									
17:00									
19:00									
21:00									
23:00									
1:00									
3:00									
5:00									
7:00									
9:00									
11:00									
13:00									
15:00									
17:00									
19:00									
21:00									
23:00									
1:00									
3:00									
5:00									
7:00									
9:00									
11:00									

Nombre y Firma Operador _____

Figura C.3: Planilla de control medición de drenaje.

REGISTRO DE DESCARGA DE CUPA

QR-09-06PP

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5				Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5				Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Columna N° : _____</td></tr> <tr><td>FECHA : _____</td></tr> <tr><td>PESO HUMEDAD : _____</td></tr> <tr><td>ALTURA : _____</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">CONTROL</th> <th style="width: 20%;">PESO BRUTO Kg</th> <th style="width: 20%;">TARA BALDE Kg</th> <th style="width: 20%;">PESO NETO Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5				Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5				Columna N° : _____	FECHA : _____	PESO HUMEDAD : _____	ALTURA : _____	CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg	1				2				3				4				5			
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									
Columna N° : _____																																																																																																																																																																									
FECHA : _____																																																																																																																																																																									
PESO HUMEDAD : _____																																																																																																																																																																									
ALTURA : _____																																																																																																																																																																									
CONTROL	PESO BRUTO Kg	TARA BALDE Kg	PESO NETO Kg																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																									
2																																																																																																																																																																									
3																																																																																																																																																																									
4																																																																																																																																																																									
5																																																																																																																																																																									

Figura C.4: Planilla de control de descarga.

9.4 ANEXO D: PROCEDIMIENTO DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- Permeámetro provisto de rejilla en su interior (Cilindro de PVC de 30 cm de alto).
- Equipo de protección personal (EPP)

Materiales

- Mineral # - 6 Tyler.
- Cortador Rifle.
- Pala Jis.
- Probetas 1000 ml.
- Embudos
- Bidón de Refino (5 l.)

Procedimiento

- En el cortador Rifle (Ver Figura D.1), se dispuso el mineral que se sometió a la prueba de conductividad hidráulica.
- Se realizó 3 veces el corte de la muestra, para luego tomar una bandeja (Ver Figura D.1) y con la pala Jis (Ver Figura D.1) se sacó mineral para vaciar su contenido en el permeámetro de PVC (Ver Figura D.1) hasta la primera marca, que alcanza los 25 cm de alto, cuidando que la superficie del material simule un plano horizontal sin depresiones ni montículos.



Figura D.1: Muestras de mineral, cortador rifle, bandeja con pala Jis y permémetros.

- Se dispuso el permémetro en un embudo y luego en una rejilla.
- Se agregó refino en una probeta de 1000 ml. y se humectó el mineral. (Ver Figura D.2)
- El mineral humectado, se dejó reposar durante 24 horas.



Figura D.2: Bidón de 5 l., probeta de 1000 ml. y humectación de mineral.

- Se conectó y fijó la parte superior del perméametro a la fuente de alimentación (bidón de 5 litros)
- Luego se procedió a ajustar el nivel en la fuente de alimentación a la altura necesaria para lograr una altura de solución en el cilindro de 5 cm sobre la superficie del material granular.
- Se ubicó la probeta graduada bajo el extremo inferior del embudo (Ver Figura D.3)

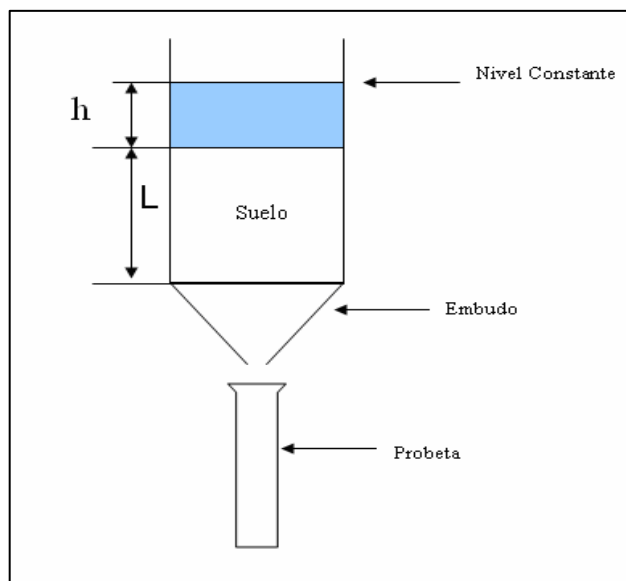


Figura D.3: Disposición de equipo.

- Además se verificó el correcto ajuste del cilindro a la plataforma y a la fuente de alimentación (bidón de 5 litros)
- Se preparó el cronómetro y los formularios de registro.
- Se abrió la llave de suministro de solución a la fuente de alimentación y se verificó el flujo regular de solución a través del sistema utilizando la primera probeta de prueba para tales efectos.
- Se inició la prueba con una segunda probeta registrando el tiempo 1 requerido para completar 250 ml. Junto con lo señalado, se debe registrar el tiempo 2 requerido para denar 500 ml.
- Al drenar 500 ml de solución se cortó el suministro de solución.
- Con los 2 pares de datos parciales volumen-tiempo obtenidos para la muestra, se calculó el flujo promedio. Este valor expresado en cm^3/h corresponde a Q en la fórmula para calcular K_s .

9.5 ANEXO E: PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE ARCILLAS

➤ Equipos, materiales y procedimiento

Equipos

- NIR 819.
- Aire comprimido.

Materiales

- Lupas.
- Compactador.
- Muestras # - 50.

Procedimiento

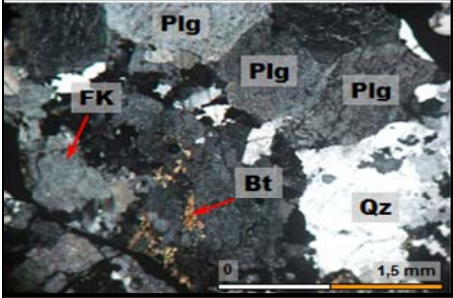
- Antes de comenzar a realizar el análisis de arcillas, en muestras de mineral, se limpió el equipo: lupas y lector, para eliminar restos de mineral de análisis rutinarios que contaminen la muestra en cuestión.
- Seguido de la acción anterior, se calibró el equipo utilizando un blanco para asegurar el correcto funcionamiento del NIR 819 (Ver Figura E.1) y de esta manera evitar errores en la lectura de arcillas.



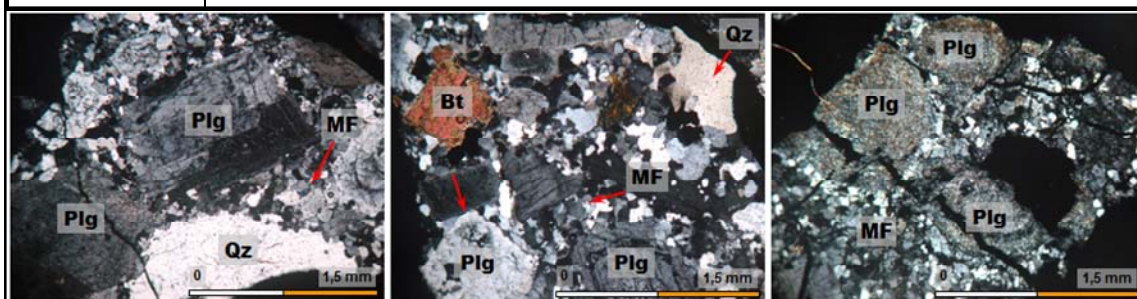
Figura E.1: Equipo NIR 819.

- Luego, se dispuso mineral con granulometría bajo # 50 y se compactó la muestra, por que no deben existir espacios sin mineral ya que esto conlleva a errores en los resultados.
- Se realizaron 3 lecturas de cada muestra para sacar un promedio.
- Observación: Cada 10 análisis de muestras se realizó un duplicado y la calibración del equipo.

9.6 ANEXO F: ANÁLISIS DE BRIQUETAS

FRAGMENTOS TIPO 1	100%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsofídica crecida. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	95%			
Cuarzo	18%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm, alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (5%) + FK (10%)	D
Feldespato Potásico	15%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 2,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL	5%	Probable masa fundamental Felsofídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	0,2%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita (70%) y Brochantita (30%), ambos ocurriendo de forma diseminada.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
		Fotomicrografía N°1. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz), Feldespato Potásico (FK) y pequeños cristales de Biotita (Bt). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.		

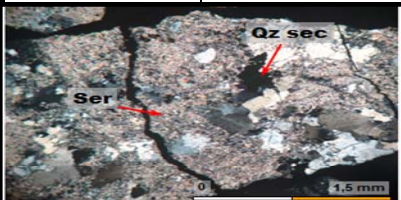
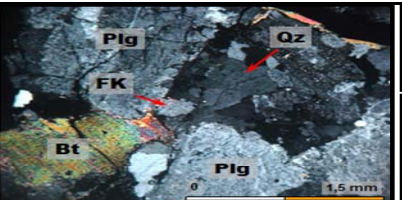
FRAGMENTOS TIPO 1		100% Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental Felsosídica levemente crecida. Fotomicrografías N°1 y		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	85%			
Cuarzo	17%	Cristales anhedrales monocristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	55%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm, alterados y/o, en ocasiones, reemplazados pseudomórficamente por Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico (Fotomicrografía N°3).	Arc (5-10%) + Ser (5-10%) + FK (10%)	D-M
Feldespato Potásico	10%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 2,5 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	3%	Subhedrales de hasta 1,5 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (5-10%) + Op (1-5%)	MD-D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL	15%	Masa fundamental Felsosídica levemente crecida (< a 0,2 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita y Crisocola, ambos ocurriendo de forma diseminada.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN	Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES	No se observan.			
OBSERVACIONES	La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).			



Fotomicrografía N°1. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Oeste, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg) y Cuarzo monocristalinos (Qz), ambos inmersos en una masa fundamental Felsosídica levemente crecida (MF).
Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

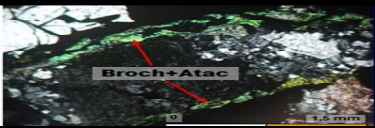
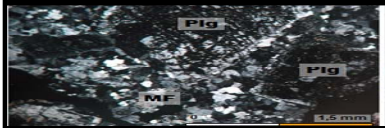
Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Oeste, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo monocristalinos (Qz) y Biotita (Bt), todos inmersos en una masa fundamental Felsosídica levemente crecida (MF).
Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

Fotomicrografía N°3. Fenocristales de Plagioclasa (Plg) reemplazados pseudomórficamente por minerales de arcilla y Sericita.
Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

FRAGMENTOS TIPO 1		10%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía Nº1.	
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		0%		
Cuarzo	30%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	70%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespató Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%		
OPACOS		0,1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.	
ÓXIDOS DE COBRE		0,0%	No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.		
FRAGMENTOS TIPO 2		90%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespató Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsofídica crecida. Fotomicrografía Nº2.	
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		95%		
Cuarzo	18%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 4,0 mm, alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespató Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (20-30%)	D-M
Feldespató Potásico	15%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 2,5 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL		5%	Probable masa fundamental Felsofídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)
OPACOS		0,1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		0,5%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita(60%) y Brochantita(40%), ambos ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespató Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásico de Fondo (PF).		
				<p>Fotomicrografía Nº1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p> <p>Fotomicrografía Nº2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz), Feldespató Potásico (FK) y Biotita (Bt). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>

FRAGMENTOS TIPO 1		30%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.			
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES		ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		0%			
Cuarzo	25%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.		No aplica	No aplica
Sericita	75%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.		No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.		No se aplica	No se aplica
Feldespató Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.		No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.			
MASA FUNDAMENTAL		0%			
OPACOS	0,5%	Diseminados y/o rellenando oquedades.			
ÓXIDOS DE COBRE	0,0%	No se observan.			
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.			
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.			
FRAGMENTOS TIPO 2		70%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespató Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsosídica crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica (Fotomicrografía N°3), Perlitica.			
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES		ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		95%			
Cuarzo	18%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,5 mm.		Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 4,0 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespató Potásico.		Arc (5-10%) + Ser (5%) + FK (20-30%)	M
Feldespató Potásico	15%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.		Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.		Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.		Chi (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.			
MASA FUNDAMENTAL		5%		Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS		0,3%		Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		0,0%		No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespató Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.			
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).			
Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.		Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz), Feldespató Potásico (FK) y Biotita (Bt). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.		Fotomicrografía N°3. Textura Poiquilitica, en la cual se observa como cristal de Feldespató Potásico (FK) engloba a cristales menores de Plagioclasa (Plg). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.	

FRAGMENTOS TIPO 1		70%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA			Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN			OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES					
Cuarzo	60%		Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	40%		Ocurre de forma penetrativa y/o en cómulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%		Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespatio Potásico	10%		Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios			No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%			
OPACOS		0,1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.		
ÓXIDOS DE COBRE		0,0%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN			Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES			No se observan.		
OBSERVACIONES			El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericita.		
FRAGMENTOS TIPO 1		100%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental felsolítica levemente crecida. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA			Holocristalina, Hipidionórfica, Inequigranular (Porfídica), Poliquilítica, Peritética.		
COMPOSICIÓN			OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		85%			
Cuarzo	15%		Cristales anhedralmente monocristalinos, deformados (distorsión ondulatoria y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	55%		En su mayoría subhedralmente de hasta 3,0 mm, fuertemente alterados por Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico. En ocasiones, son reemplazados pseudomórficamente por Sericita.	Arc (5%) + Ser (10-20%) + FK (30%)	M
Feldespato Potásico	13%		En su mayoría anhedralmente de hasta 3,0 mm, fuertemente alterados por Sericita y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%		Subhedralmente de hasta 1,5 mm, levemente deformados y asociados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bi sec (5-10%) + Op (1-5%)	MD-D
Cilropiroxeno	1%		Subhedralmente de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr		Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL		15%	Masa fundamental felsolítica levemente crecida (< a 0,2 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS		0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE		0,5%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita y Brochantita, ambos ocurriendo como relleno de probables microfrazuras y/o de forma discontinua (Fotomicrografía N°3).		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN			Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plagioclasa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES			Se reconocen probables microfrazuras rellenas de óxidos de Cobre (Brochantita, Atacamita) (Fotomicrografía N°3).		
OBSERVACIONES			La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fordo (PF).		
FRAGMENTOS TIPO 3		35%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental felsolítica levemente crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA			Holocristalina, Hipidionórfica, Inequigranular (Porfídica), Poliquilítica, Peritética.		
COMPOSICIÓN			OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		85%			
Cuarzo	15%		Cristales anhedralmente monocristalinos, levemente deformados (distorsión ondulatoria), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	Sin alteración, pero levemente deformados.	
Plagioclasa	60%		En su mayoría subhedralmente de hasta 3,0 mm, alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (10-20%)	D-M
Feldespato Potásico	8%		Anhedralmente de hasta 2,0 mm, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%		Subhedralmente de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bi sec (5-10%) + Op (1-5%)	MD-D
Cilropiroxeno	1%		Subhedralmente de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr		Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL		15%	Masa fundamental felsolítica levemente crecida (< a 0,3 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS		0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE		0,1%	Se advierte la presencia de cristales de Brochantita con cantidades submicrométricas de Atacamita.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN			Minerales de Arcilla alterando levemente tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristal de Plagioclasa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES			No se observan.		
OBSERVACIONES			La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fordo (PF).		
FRAGMENTOS TIPO 3		5%	Fragmentos de Qz policristalinos.		
TEXTURA			No se aplica.		
COMPOSICIÓN			OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES					
Cuarzo	100%		Corresponde a fragmentos de Qz policristalinos, fuertemente deformados (generación de subgranos y granos recristalizados de Qz), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	No presenta.	
Plagioclasa					
Feldespato Potásico					
Biotita					
Accesorios					
MASA FUNDAMENTAL					
OPACOS		1,0%	En su mayoría, corresponden a óxidos de Hierro (Goethita).		
ÓXIDOS DE COBRE		0,1%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN			No presenta.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES			No se observan.		
OBSERVACIONES			Probablemente, este tipo de fragmentos corresponderían a restos de aquellos fragmentos alterados a Cuarzo + Sericita, o bien, corresponderían a restos de fenocristales de Qz constituyentes del Pórfido Indiferenciado ya descrito.		
FRAGMENTOS TIPO 2		30%	Fragmentos de roca alterada a Vetillas tipo E.D.M. con leve sobrerimpresión de alteración Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1 y 2.		
TEXTURA			Obliterada por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN			OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES					
Cuarzo	25%		Cuarzo secundarios, anhedralmente > 0,05 mm.	No aplica	
Sericita	20%		La mayoría de la Sericita observada en este tipo de fragmentos son producto de un probable evento Qz-Sericita sobrerimpresión.	No aplica	
Epidota	5%		Anhedralmente > 0,1 mm.	No aplica	
Feldespato Potásico	45%		Anhedralmente de hasta 0,2 mm.	Arc (5-10%)	MD-D
Biotita	5%		Secundarias, anhedralmente de hasta 0,1 mm.	No aplica	
OPACOS		Tr	Diseminado al interior de las Vetillas tipo E.D.M.		
ÓXIDOS DE COBRE		0,0%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN			Cuarzo y Feldespato, ambos secundarios, además de Sericita y Epidota, y pequeñas cantidades de Biotita secundaria, todos como constituyentes de Vetillas tipo E.D.M.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES			Vetillas tipo E.D.M., constituidas de Cuarzo y Feldespato, ambos secundarios, además de Sericita y Epidota, y pequeñas cantidades de Biotita secundaria.		
OBSERVACIONES			La alteración presente en este tipo de fragmento corresponde a una alteración de Vetillas tipo E.D.M.		



Fotomicrografía N°1. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Oeste, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg), fuertemente alterados por Feldespato Potásico secundario y minerales de arcilla, e inmersos en una masa fundamental felsolítica levemente crecida (MF).
Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

Fotomicrografía N°2. Fenocristales de Plagioclasa (Plg) reemplazados pseudomórficamente por Sericita. Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

Fotomicrografía N°3. Mineralización de óxidos de Cobre rellenando probables microfrazuras. Dicha mineralización está constituida por una mezcla entre Brochantita y Atacamita (Broch+Atac), siendo la primera la más abundante. Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

FRAGMENTOS TIPO 1	10%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		0%		
Cuarzo	65%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	35%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespatio Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%		
OPACOS		0,1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.	
ÓXIDOS DE COBRE		0,0%	No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.		
FRAGMENTOS TIPO 2	100%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespatio Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental Felsosídica levemente crecida. Fotomicrografías N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		85%		
Cuarzo	17%	Cristales anhedrales monocristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,5 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	53%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm, levemente alterados por Sericita, minerales de arcilla y Feldespatio Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (10%)	D
Feldespatio Potásico	13%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,2 mm, levemente deformados y moderadamente alterados por Sericita y Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos (Fotomicrografía N°3).	Ser (20-30%) + Bt sec (5-10%) + Op (1-5%)	M
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL		15%	Masa fundamental Felsosídica levemente crecida (< a 0,2 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	MD
OPACOS		0,1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		0,1%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita(35%) y Brochantita(65%), ambos ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando levemente tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespatio Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando también levemente.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Oeste?, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg) y Cuarzo monocristalinos (Qz), ambos inmersos en una masa fundamental Felsosídica levemente crecida (MF). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°3. Fenocristal de Biotita (Bt) fuertemente reemplazado por Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>

FRAGMENTOS TIPO 1	80%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Porfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental felsosídica levemente crecida. Fotomicrografías N°1 y		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Peritica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	85%			
Cuarzo	18%	Cristales anhédrales monocristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	55%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm, levemente alterados por Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (10%)	D
Feldespato Potásico	10%	Cristales anhédrales, con tamaños de hasta 2,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y moderadamente alterados por Sericita, Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Ser (20%) + Bt sec (5-10%) + Op (1-5%)	M
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Ch (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL	15%	Masa fundamental felsosídica levemente crecida (< a 0,2 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	0,3%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita ocurriendo de forma diseminada.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando levemente tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando también levemente.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
FRAGMENTOS TIPO 3	35%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Porfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una masa fundamental felsosídica levemente crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Peritica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	85%			
Cuarzo	15%	Cristales anhédrales monocristalinos, levemente deformados (extinción ondulante), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	Sin alteración, pero levemente deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales de hasta 3,0 mm, alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (10-20%)	D-M
Feldespato Potásico	8%	Anhédrales de hasta 2,0 mm, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (5-10%) + Op (1-5%)	MD-D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Ch (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL	15%	Masa fundamental felsosídica levemente crecida (< a 0,3 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0,1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	0,1%	Se advierte la presencia de cristales de Brochantita con cantidades subordinadas de Atacamita.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando levemente tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristal.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
FRAGMENTOS TIPO 3	5%	Fragmentos de Qz policristalinos.		
TEXTURA		No se aplica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES				
Cuarzo	100%	Corresponde a fragmentos de Qz policristalinos, fuertemente deformados (generación de subgranos y granos neoformados de Qz), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	No presenta.	
Plagioclasa				
Feldespato Potásico				
Biotita				
Accesorios				
MASA FUNDAMENTAL				
OPACOS	1,0%	En su mayoría, corresponden a óxidos de Hierro (Goethita).		
ÓXIDOS DE COBRE				
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		No presenta.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observaron.		
OBSERVACIONES		Probablemente, este tipo de fragmentos corresponderían a restos de aquellos fragmentos alterados a Cuarzo - Sericita, o bien, corresponderían a restos de fenocristales de Qz constituyentes del Porfido indiferenciado ya descrito.		
FRAGMENTOS TIPO 2	20%	Fragmentos de roca alterada a Vetillas tipo E.D.M. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Obliterada por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES				
Cuarzo	20%	Cuarzo secundarios, anhédrales > 0,1 mm.	No aplica	
Sericita	30%	La mayoría de la Sericita observada en este tipo de fragmentos son producto de un probable evento Qz-Sericita sobrimpuesto.	No aplica	
Epídota	5%	Anhédrales = 0,1 mm.	No aplica	
Feldespato Potásico	45%	Anhédrales de hasta 0,3 mm.	Arc (5-10%)	MD-D
Biotita	5%	Secundarias, anhédrales de hasta 0,2 mm.	No aplica	
OPACOS	Tr	Diseminado al interior de las Vetillas tipo E.D.M.		
ÓXIDOS DE COBRE	0,0%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo y Feldespato, ambos secundarios, además de Sericita y pequeñas cantidades de Biotita secundaria, todos como constituyentes de Vetillas tipo E.D.M.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		Vetillas tipo E.D.M., constituidas de Cuarzo y Feldespato, ambos secundarios, además de Sericita y pequeñas cantidades de Biotita secundaria.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento corresponde a una alteración de Vetillas tipo E.D.M.		
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento perteneciente, probablemente, a Porfido Oeste, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo monocristalinos (Qz) y Biotita (Bt), todos inmersos en una masa fundamental felsosídica levemente crecida (MF). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicotles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Fragmento de roca alterada a Vetillas tipo E.D.M., constituida de cristales de Cuarzo (Qz sec) y Feldespato Potásico (fk), ambos secundarios, además de Sericita (Ser) y pequeñas cantidades de Biotita secundaria (Bt sec). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicotles Cruzados. Aumento 50x.</p>		

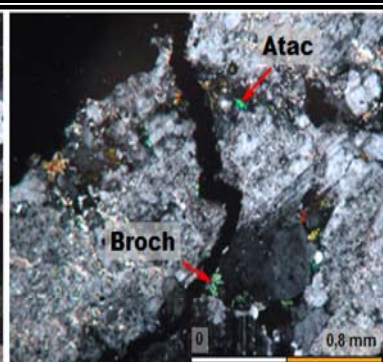
FRAGMENTOS TIPO 1	15%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		0%		
Cuarzo	25%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	75%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespato Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%		
OPACOS		0.1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.	
ÓXIDOS DE COBRE		0.0%	No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.		
FRAGMENTOS TIPO 2	50%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsofídica crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Perítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		95%		
Cuarzo	17%	Cristales anhedralmente policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedralmente, con tamaños de hasta 3,0 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (20%)	D-M
Feldespato Potásico	15%	Cristales anhedralmente, con tamaños de hasta 2,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	3%	Subhedralmente de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedralmente de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esteno.		
MASA FUNDAMENTAL		5%	Probable masa fundamental Felsofídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	
OPACOS		0.1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		0.1%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
FRAGMENTOS TIPO 3	35%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Oeste, constituidos por fenocristales de Cuarzo monocristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsofídica levemente crecida. Fotomicrografía N°3.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Perítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		85%		
Cuarzo	15%	Cristales anhedralmente monocristalinos, levemente deformados (extinción ondulante), con tamaños que van desde 0,5 a 2,0 mm.	Sin alteración, pero levemente deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedralmente de hasta 3,0 mm, moderadamente alterados por Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (10-20%) + FK (30%)	M
Feldespato Potásico	8%	Anhedralmente de hasta 1,5 mm, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedralmente de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (5-10%) + Op (1-5%)	MD-D
Clinopiroxeno	1%	Subhedralmente de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón.		
MASA FUNDAMENTAL		15%	Masa fundamental Felsofídica levemente crecida (< a 0,2 mm) compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	
OPACOS		0.1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		Tr	Se advierte la presencia de trazas de cristales de Atacamita (100%) ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz) y Feldespato Potásico (FK). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°3. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Oeste, constituido por fenocristales de Plagioclasa (Plg), e inmersos en una masa fundamental Felsofídica levemente crecida (MF). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>

FRAGMENTOS TIPO 1	10%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		0%		
Cuarzo	20%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	80%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespato Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%		
OPACOS		0.1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.	
ÓXIDOS DE COBRE		0.0%	No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.		
FRAGMENTOS TIPO 2	90%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este?, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsosídica crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES		95%		
Cuarzo	18%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (20%)	D-M
Feldespato Potásico	15%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL		5%	Probable masa fundamental Felsosídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)
OPACOS		0.1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		Tr	Se advierte la presencia de trazas de cristales de Atacamita(100%) ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		

Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

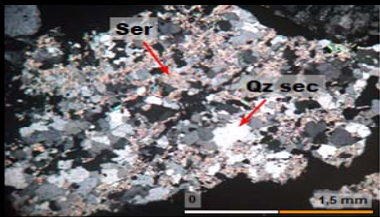
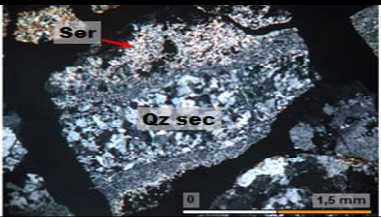

Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz) y Feldespato Potásico (FK). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

FRAGMENTOS TIPO 1		100% Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsofídica crecida. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	95%			
Cuarzo	15%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,5 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (5-10%) + Ser (5%) + FK (20-30%)	D-M
Feldespato Potásico	18%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL	5%	Probable masa fundamental Felsofídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0.1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	0.2%	Se advierte la presencia de pequeños cristales de Atacamita(65%) y Brochantita(35%), ambos ocurriendo de forma diseminada (Fotomicrografía N°2).		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN	Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES	No se observan.			
OBSERVACIONES	La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).			



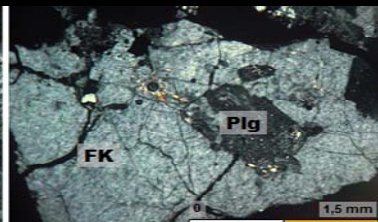


Fotomicrografía N°1. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz) y Feldespato Potásico (FK). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.

Fotomicrografía N°2. Mineralización de oxidados de Cobre constituida de cristales de Atacamita (Atac) y Brochantita (Brochantita), ambos ocurriendo de forma diseminada. Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 100x.

FRAGMENTOS TIPO 1	25%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1 y 2.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRIETALES		0%		
Cuarzo	40%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa y/o en sutura central de probable Vetilla de Sericita Gris Verde (SGV) (Fotomicrografía N°2).	No aplica	No aplica
Sericita	60%	Ocurre de forma penetrativa, en cúmulos y/o en el halo de probable Vetilla de Sericita Gris Verde (SGV) (Fotomicrografía N°2).	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespatos Potásicos	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL		0%		
OPACOS		0.1%	Diseminados y/o en vetillas.	
ÓXIDOS DE COBRE		0.0%	No se observan.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa y/o como constituyentes de probable Vetilla de Sericita Gris Verde (SGV) (Fotomicrografía N°2).		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		Se reconoce probable Vetilla de Sericita Gris Verde (SGV), constituida de una sutura central de cristales de Cuarzo secundario, y un halo formado de Sericita (Fotomicrografía N°2).		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico temprano (probables Vetillas de Sericita Gris Verde (SGV)).		
FRAGMENTOS TIPO 2	75%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespatos Potásicos y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsosídica crecida. Fotomicrografía N°3.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilítica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRIETALES		95%		
Cuarzo	15%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	62%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespatos Potásicos.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (20%)	D-M
Feldespatos Potásicos	17%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	1%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados por Sericita, Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Ser (5-10%) + Bt sec (10%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL		5%	Probable masa fundamental Felsosídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)
OPACOS		0.1%	Diseminados.	
ÓXIDOS DE COBRE		0.1%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita(100%) ocurriendo de forma diseminada.	
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespatos Potásicos como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
				
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser), ambos ocurriendo de forma penetrativa. Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Probable Vetilla de Sericita Gris Verde (SGV), constituida de una sutura central de cristales de Cuarzo secundario (Qz sec), y un halo formado de Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°3. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz) y Feldespatos Potásicos (FK). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>

FRAGMENTOS TIPO 1	25%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.		
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	0%			
Cuarzo	30%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica
Sericita	70%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Feldespato Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica
Accesorios		No se observan.		
MASA FUNDAMENTAL	0%			
OPACOS	0.1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.		
ÓXIDOS DE COBRE	0.0%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.		
FRAGMENTOS TIPO 2	75%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsosídica crecida. Fotomicrografía N°2.		
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica, Pertítica.		
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD
FENOCRISTALES	95%			
Cuarzo	18%	Cristales anhedral policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 3,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.	
Plagioclasa	58%	En su mayoría subhedral, con tamaños de hasta 3,5 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (5-10%) + FK (20%)	M
Feldespato Potásico	17%	Cristales anhedral, con tamaños de hasta 2,0 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD
Biotita	2%	Subhedral de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10-20%) + Op (1-5%)	D
Clinopiroxeno	1%	Subhedral de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.		
MASA FUNDAMENTAL	5%	Probable masa fundamental Felsosídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS	0.1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE	0.4%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita(100%) ocurriendo de forma diseminada (Fotomicrografía N°3).		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag		
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.		
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).		
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz) y Feldespato Potásico (FK). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°3. Mineralización de oxidados de Cobre, constituida de cristales de Atacamita (Atac), ocurriendo de forma diseminada. Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nícoles Cruzados. Aumento 50x.</p>

FRAGMENTOS TIPO 1	20%	Fragmentos de roca alterada a Qz-Sericita. Fotomicrografía N°1.			
TEXTURA		Obliterada en su totalidad por la alteración presente.			
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD	
FENOCRISTALES		0%			
Cuarzo	65%	Secundario, policristalino y deformado; ocurre de forma penetrativa.	No aplica	No aplica	
Sericita	35%	Ocurre de forma penetrativa y/o en cúmulos.	No aplica	No aplica	
Epidota	5%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica	
Feldespato Potásico	10%	Probablemente se trate de cristales relictos de una alteración de Vetillas tipo E.D.M.	No se aplica	No se aplica	
Accesorios		No se observan.			
MASA FUNDAMENTAL		0%			
OPACOS		0.1%	Diseminados y/o rellenando oquedades.		
ÓXIDOS DE COBRE		0.0%	No se observan.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Cuarzo secundario y Sericita, ambos ocurriendo de forma penetrativa.			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.			
OBSERVACIONES		El presente tipo de fragmentos se ve afectado por un intenso evento Qz-Sericítico.			
FRAGMENTOS TIPO 2	80%	Fragmentos pertenecientes, probablemente, a Pórfido Este, constituidos por fenocristales de Cuarzo policristalinos, Plagioclasa, Feldespato Potásico y Biotita, todos inmersos en una probable masa fundamental Felsosídica crecida. Fotomicrografía N°2.			
TEXTURA		Holocristalina, Hipidiomórfica, Inequigranular (Porfídica), Poiquilitica (Fotomicrografía N°3), Pertítica.			
COMPOSICIÓN		OBSERVACIONES	ALTERACIÓN	INTENSIDAD	
FENOCRISTALES		95%			
Cuarzo	15%	Cristales anhedrales policristalinos, deformados (extinción ondulante y generación de subgranos de Cuarzo), con tamaños que van desde 0,5 a 2,0 mm.	Sin alteración, pero deformados.		
Plagioclasa	60%	En su mayoría subhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm, moderadamente alterados a Sericita, minerales de arcilla y Feldespato Potásico.	Arc (1-5%) + Ser (1-5%) + FK (20%)	D-M	
Feldespato Potásico	18%	Cristales anhedrales, con tamaños de hasta 3,5 mm aproximadamente, levemente alterados a minerales de arcilla.	Arc (1-5%)	MD	
Biotita	2%	Subhedrales de hasta 1,0 mm, levemente deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Bt sec (10%) + Op (1-5%)	D	
Clinopiroxeno	1%	Subhedrales de hasta 2,0 mm, deformados y alterados a Biotita secundaria y/o asociados a minerales opacos.	Chl (1-5%)	MD	
Accesorios	Tr	Se advierte la presencia de cristales de Zircón y Esfeno.			
MASA FUNDAMENTAL		5%	Probable masa fundamental Felsosídica crecida (< a 0,4 mm), compuesta de cristales de Cuarzo y Feldespatos.	Arc (1-5%) + Ser (1%)	MD
OPACOS		0.1%	Diseminados.		
ÓXIDOS DE COBRE		0.2%	Se advierte la presencia de cristales de Atacamita(70%) y Brochantita(30%), ambos ocurriendo de forma diseminada.		
ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN		Minerales de Arcilla alterando tanto a fenocristales de Plagioclasa y Feldespato Potásico como a la masa fundamental constituida, en parte, por los minerales antes mencionados. Además, se advierte la presencia de Sericita alterando a fenocristales de Plag			
VETILLAS, FRACTURAS Y OQUEDADES		No se observan.			
OBSERVACIONES		La alteración presente en este tipo de fragmento podría corresponder a una alteración de tipo Potásica de Fondo (PF).			
					
<p>Fotomicrografía N°1. Fragmento de roca constituido exclusivamente por Cuarzo secundario (Qz sec) y Sericita (Ser). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°2. Fragmento perteneciente, probablemente, a Pórfido Este, constituido por cristales de Plagioclasa (Plg), Cuarzo policristalinos (Qz), Feldespato Potásico (FK) y Biotita (Bt). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.</p>		<p>Fotomicrografía N°3. Textura Poiquilitica, en la cual se observa como cristal de Feldespato Potásico (FK) engloba a cristal de Plagioclasa (Plg). Fotomicrografía en Luz Transmitida. Nicoles Cruzados. Aumento 50x.</p>	

9.7 ANEXO G: ARCILLAS

➤ ESTRUCTURA

Las arcillas, como todos los filosilicatos, poseen hábito hojoso, son blandos, de bajo peso específico y poseen una dirección de exfoliación dominante. Estas características son producto del predominio en su estructura de la lámina de silicio-oxígeno de extensión definida. En ella, tres de los cuatro oxígenos de cada tetraedro SiO_4 se comparten con los tetraedros vecinos resultando una relación $\text{Si}:\text{O} = 2:5$ (Ver Figura G.1).

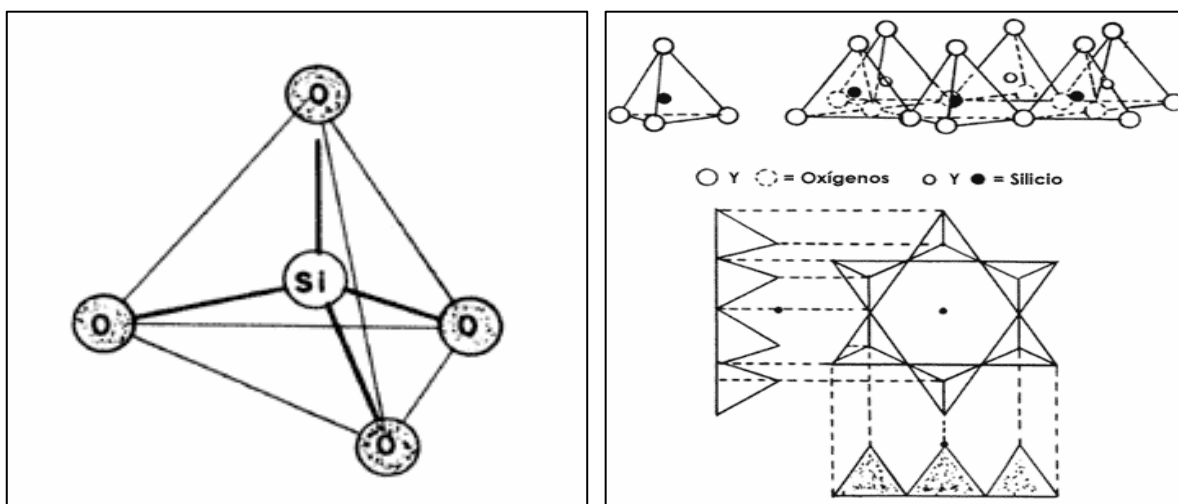


Figura G.1: Estructura elemental de las arcillas.

Internamente, las arcillas se encuentran constituidas por capas de dos tipos:

- **Capa Octaédrica ó O:** Formada por Al^{+3} u otro catión tal como Mg^{2+} , OH^- , O^{2-} . Donde los aniones están agrupados octaédricamente en torno a Al^{+3} , satisfaciendo el equilibrio de valencias de la estructura completa (Ver Figura G.2).

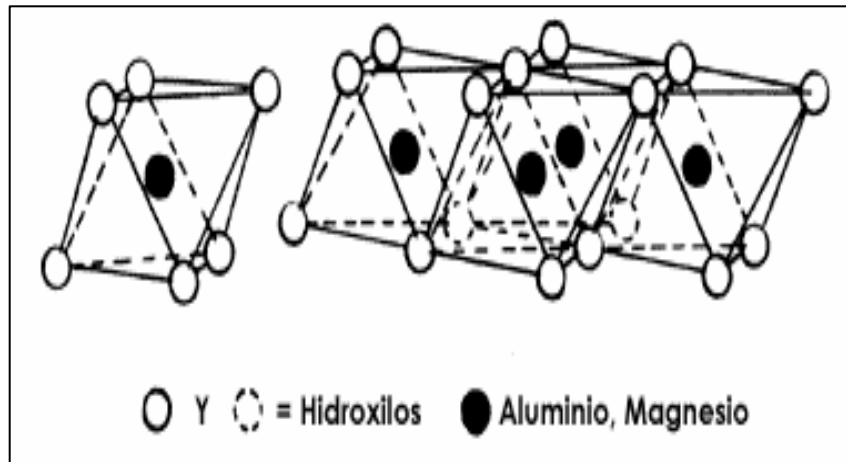


Figura G.2: Estructura de la capa octaédrica.

Dependiendo del modo de coordinación de los grupos hidroxilos, la primera capa puede ser de dos tipos:

- a) Hojas de iones OH^- coordinadas por iones Mg^{+2} , dando lugar a la estructura de la brucita $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$. La relación de radios del magnesio al hidroxilo es tal, que la coordinación 6 del hidroxilo en torno al magnesio es la de mayor estabilidad. De esta forma, los iones hidroxilo pueden ser imaginados ocupando los vértices de un octaedro regular, con el catión magnesio en su centro. La lámina de brucita se constituye de octaedros tumbados y agrupados de manera que algunas de las caras (111) sean coplanarias. Cada ion magnesio está compartido por los seis aniones que coordina, mientras que cada hidroxilo se encuentra compartido por tres cationes magnesio. De esto resulta que para mantener el necesario equilibrio electrostático, existe el doble de iones hidroxilo que de magnesio. Esta configuración se le denomina hoja trioctaédrica, que aloja preferentemente iones divalentes de tamaño tal que pueden entrar en coordinación seis con los hidroxilos.
- b) Hojas de iones hidroxilo OH^- coordinadas por iones Al^{+3} , generando la estructura de la gibsita $\text{Al}_2(\text{OH})_6$. Debido a su similar radio iónico, al igual que el magnesio, el aluminio forma un poliedro estable de coordinación con los

seis hidroxilos, pero debido a la mayor carga del ion aluminio, sólo entran en la estructura 2/3 de ellos.

Esta omisión conduce a una proporción de dos iones de aluminio por cada octaedro de iones hidroxilo, configuración llamada dioctaédrica, estructura que aloja preferentemente iones trivalentes de tamaño apropiado para una coordinación octaédrica con los hidroxilos.

- **Capa tetraédrica o T:** El Si^{4+} coordina a iones O^{2-} u OH^- , ocupando el centro de un tetraedro regular. Los tetraedros se disponen como hojas y los oxígenos de su base se enlazan como anillos hexagonales. Las capas tetraédricas se unen a las octaédricas de tipo gibsita o brucita. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros, que se encuentran sin compartir con otros tetraedros y por grupos OH^- de la capa brucítica o gibsítica, de forma que en este plano quede un OH^- en el centro de cada hexágono formado por seis oxígenos apicales. El resto de los OH^- son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (Ver Figura G.3). Una unión similar puede ocurrir en la superficie opuesta de la capa octaédrica. Así los filosilicatos pueden estar formados por dos capas, una tetraédrica más octaédrica denominada bilaminar 1:1 o T:O o bien, por tres capas una octaédrica y dos tetraédricas T:O:T. A la unidad formada por una capa octaédrica más una o dos tetraédricas, se le denomina lámina. De esta forma se clasifican los distintos grupos de arcillas, dentro del contexto de los filosilicatos.

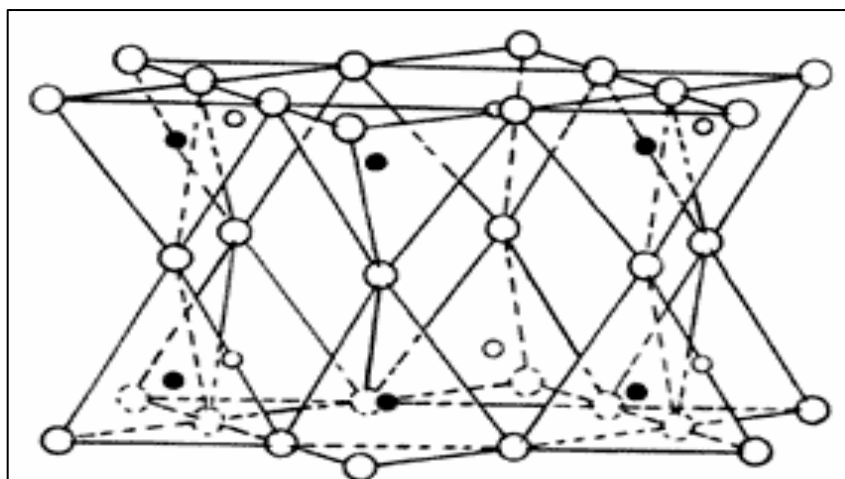
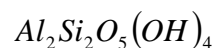


Figura G.3: Estructura de la capa tetraédrica.

a) **Arcillas de estructura bilaminar, 1:1 o T:O** (Ver Figura G.4): en este tipo de arcillas, la sustitución de silicio por otro elemento, como el aluminio en la hoja T, o bien la sustitución del aluminio en la hoja O por otro elemento de menor carga, como por ejemplo el magnesio, causa un cambio químico en la arcilla, pero mantiene especialmente la misma estructura, dando origen al grupo bilaminar o familia de los caolines. Los minerales nacrita, dickita, halloisita y caolinita poseen la misma composición química por cada unidad estructural:



Estos minerales sólo difieren entre sí, sólo por su arreglo laminar. Es posible comparar la estructura de estas arcillas con un paquete de naipes. En la nacrita todas las cartas se encuentran ordenadas perfectamente, en este caso el paquete de cartas puede llegar a ser muy alto debido a que la estructura ordenada es más estable. En cambio, la dickita está dispuesta de tal forma que el paquete de naipes se abre más de un lado que del otro, entre 6 y 7 grados, mientras que la caolinita se abre hasta 15 grados. Se debe mencionar que existe un mineral asociado que es livesita, que presenta una abertura a un lado que es siempre regular, mientras que la carta siguiente se abre de forma irregular hacia el otro lado; dando origen a una estructura laminar muy desordenada y poco estable.

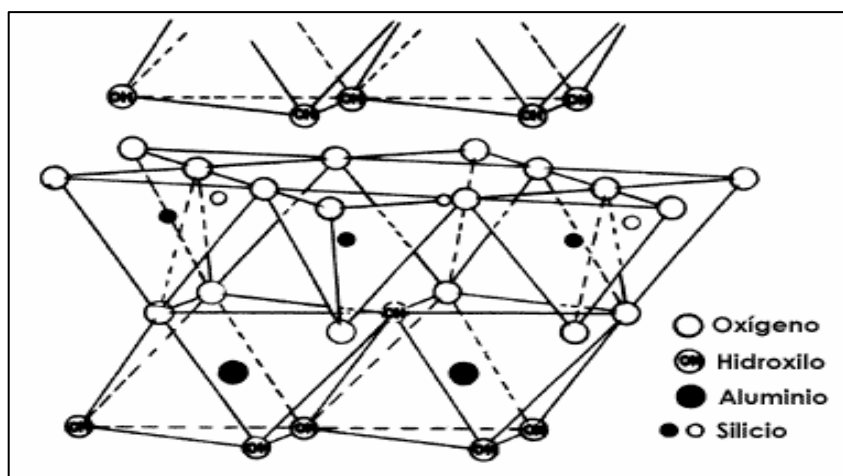
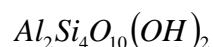


Figura G.4: Estructura laminar T-O.

b) Arcillas de estructura trilaminar, 2:1 o T:O:T (Ver Figura G.5): la familia de las esmectitas se encuentra formada por todas aquellas arcillas que presentan una estructura constituida por dos hojas de tipo T y por otra intermedia de tipo O. La fórmula tipo de estas arcillas es la siguiente:



Esta estructura es eléctricamente neutra debido a que todas las posiciones en la hoja T se encuentran ocupadas por átomos de silicio. Mientras que todas las posiciones de la capa O contienen aluminio. Esta es la fórmula típica de la pirofilita. Sin embargo, para las otras arcillas del grupo de las esmectitas, el aluminio sustituye al silicio parcialmente en la capa O, e inclusive el flúor F⁻ puede sustituir al oxígeno de la capa OH⁻. Estas diferencias de composición química hacen que las propiedades de cada arcilla sean distintas.

Entre todas las esmectitas, el grupo de las arcillas dioctaédricas presenta propiedades muy interesantes, derivadas de su estructura laminar, su espacio interlaminar y carga residual. La composición de las láminas T:O:T para todas las arcillas del tipo esmectita, se destaca la montmorillonita donde la hoja tetraédrica está compuesta sólo de silicio y aluminio mientras que la hoja octaédrica contiene aluminio y una variedad de cationes. Es así como se pueden generar gran variedad de arcillas tipo esmectitas, simplemente cambiando el cation de la hoja octaédrica y manteniendo ocupada la hoja T con Si y Al. La sustitución del aluminio (capa O) y silicio (capa T) por un cation de menor carga eléctrica, por ejemplo Mg⁺², origina una deficiencia de carga eléctrica que es responsable de algunas de las propiedades superficiales más importantes de las arcillas como es la capacidad de intercambio catiónico, la adsorción de moléculas polares como el agua, así como de otros compuestos orgánicos, por ejemplo las aminas las que al introducirse en el espacio interlaminar causan el hinchamiento de la estructura laminar de las arcillas.

Existe otra familia de arcillas que se asemeja a la de las montmorillonitas: las vermiculitas. Presentan un grado de sustitución mayor en la hoja octaédrica, originando una mayor carga residual que en las montmorillonitas; provocando mayor atracción entre las láminas, determinando de esta forma una estructura menos expansible⁶.

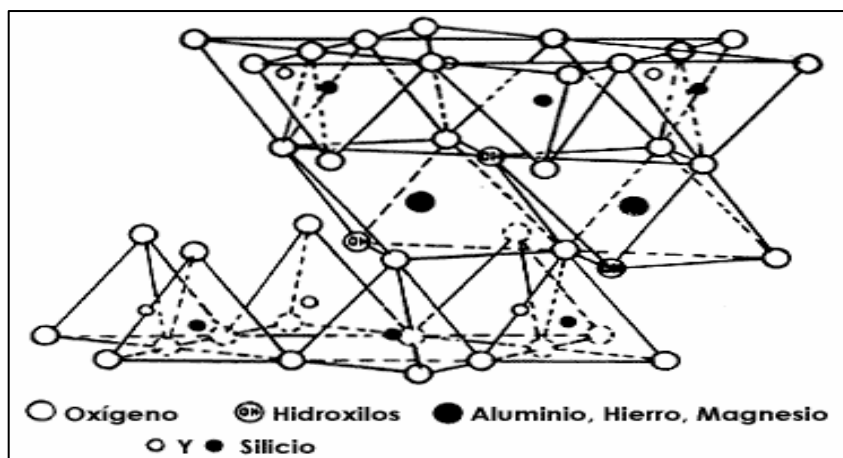


Figura G.5: Estructura laminar T-O-T.

➤ CLASIFICACIÓN

De los 6 grupos de arcillas, 5 son de estructura laminar y uno es de forma fibrosa.

- **Grupo Caolinita**, capas T-O enlazadas entre sí, por fuerzas débiles de Van der Waals. Corresponde a una arcilla blanca, algunas veces con tinte rojizo, pardo o azulino; siendo el principal mineral la Caolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Además éste grupo lo integra la Dickita y la Nacrita, que junto a la Halloysita constituyen el grupo de las Kanditas. Se presentan como productos de alteración hidrotermal o meteórico de rocas que contienen feldspatos y moscovita; también se presentan en sedimentos a partir de la erosión de rocas ácidas caolinizadas.
- **Grupo Illita**, es un término general para los minerales arcillosos parecidos a la mica; sin embargo, difieren de éstas porque tienen menos Si sustituido por Al, más agua y parte de K se sustituye por Ca y Mg. Este grupo lo integran además de la illita, las micas hidratadas, Phengita, Brammallita, Glauconita y Celadonita. La fórmula general de la Illita se puede expresar de la siguiente manera: $K_Y Al_4 (Si_{8-Y}, Al_Y) O_{20} (OH)_4$

Donde $Y < 2$; más bien cercano a 1,5.

- **Grupo Esmectita**, capas T-O-T, capas moléculas de agua, capas T-O-T. También se conoce como grupo Montmorillonita y se divide en dos grupos:
 - a) Las dioctaédricas: Montmorillonita, beidellita, Nontronita.
 - b) Las trioctaédricas: Saponita, Hectorita, Sauconita, Estevencita.

Estos minerales suelen presentarse en agregados laminares o en masas suaves y blandas, suelen precipitar en cuencas sedimentarias endorreicas con pH alcalino y gran concentración iónica. También pueden aparecer como productos de alteración hidrotermal de rocas ácidas o neutras.

- **Grupo Clorita**, capas T-O-T, hoja simple octaédrica, capas T-O-T. Las cloritas son un grupo de minerales que se parecen en muchos aspectos a las micas. Se encuentran principalmente en las rocas afectadas por metamorfismo regional de bajo grado, en los productos de alteración de los minerales ferromagnesianos de rocas ígneas y junto con minerales arcillosos en los sedimentos argílicos. Poseen gran capacidad de sustitución catiónica y de formar soluciones sólidas. Entre las variedades de las cloritas se tiene el Clinocloro (rica en Mg), Chamosita (rica en Fe), Penantita (rica en Mn) y la Seudita (rica en Al).
- **Grupo Vermiculita**, la vermiculita tiene mucha similitud química con las micas y esmectitas trioctaédricas, particularmente con la Flogopita y Saponita. Se originan principalmente por la meteorización de grandes hojuelas de biotita.

Al comparar las vermiculitas y las esmectitas se encuentra lo siguiente:

- a) Las vermiculitas, poseen una cantidad de agua admitida entre capas menos variable que las esmectitas.
 - b) Poseen un tamaño de grano inferior.
 - c) Tienen mayor capacidad de intercambio catiónico y mayor sustitución de Al^{4+} por Si.
 - d) Se re-hidratán más rápidamente.
- **Grupo Paligorskita**, este grupo lo compone la Paligorskita y la Sepiolita, minerales fibrosos; sin embargo, tienen mucho en común con los minerales arcillosos laminares. Sus estructuras tienen hojas continuas de $(Si, Al)_2O_5$, pero en forma de cinta más bien que hojas de octaedro (Al, Mg, Fe) , dejando canales que pueden acomodar agua y moléculas orgánicas. Se encuentran en un amplio rango de ambientes, pero raramente en grandes depósitos⁷.

➤ TIPOS DE CARGA

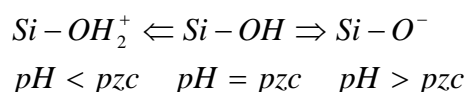
La presencia de cargas en una lámina de arcilla, le permite atraer sustancias ubicadas en alguna solución en contacto con ella. Las láminas de arcilla presentan cargas con dos orígenes diferentes:

- Permanentes
- Dependientes del pH

a) Cargas permanentes: las cargas permanentes, constantes o estructurales se han generado a través de los procesos geológicos, debido a sustituciones

isomórficas en las estructuras cristalinas, generalmente negativas debido al reemplazo de átomos de la estructura por otros de menor valencia (típicamente Al^{+3} por Mg^{+2} , Si^{+4} por Al^{+3}). Estas cargas resultan independientes del entorno del mineral.

b) Cargas dependientes del pH: en los bordes de la lámina de arcilla, aparecen cargas que son dependientes del pH del medio y por lo tanto son variables. Surgen de la disociación de grupos superficiales, como se ve a continuación:



Donde las láminas de arcilla sólo se encuentran neutralizadas bajo una cierta condición de pH, denominada punto de carga cero (PZC), que depende del tipo de enlace químico involucrado. Cuando el pH se eleva por encima del pzc en un medio más alcalinizado, la superficie de borde adquiere carga negativa ($pH > pzc$) mientras que al descender el pH por debajo del pzc, en un medio más ácido se vuelve positiva. Esto no implica que el valor de pzc sea neutro, dependiendo del tipo de arcilla que puede oscilar entre ácido y alcalino⁶.