

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



**FLOTACION DE SULFUROS Y SULFOARSENIUROS EN LA
LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMETRICOS DE
CASITERITA
MINA SAN RAFAEL – MINSUR S.A.**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

Rolando Ferrer Huamán Esteban

Lima – Perú

2005

RESUMEN

En base a la experimentación efectuada el Flujograma sugerido (**figura 3**) para la clasificación en la Planta , se está llevando en la práctica actualmente.

- El propósito del presente informe es moler las partículas mayores a m65 debido a que en el rango grueso se encuentran el mayor porcentaje de los sulfuros principalmente el azufre y arsénico.
- Los concentrados de Jigs de gruesos, intermedios y finos es enviado a los clasificadores 3, 4 y 17 para eliminar el agua y los finos es espesado en el espesador de 40-I para luego recuperar en mesas; el grueso es alimentado a la tolva de concentrado de gravimetría para luego alimentar al M5'x6'.
- La descarga del M5'x6' se junta con el concentrado de mesas, el cual es bombeado hacia la zaranda Derrick 5'x14', cuya malla es de 0,43 mm .
- La fracción gruesa retorna al M5'x6' para cerrar el circuito de molienda de concentrados.
- Los finos de la zaranda Derrick 5'x14' es alimentado por gravedad a las celdas outokumpu OK-5.
- La alimentación a las celdas OK-05 es de 8 a 10 TM de concentrado con una ley de 45 a 47 %Sn, en el cual se realiza la limpieza de sulfuros principalmente el azufre y arsénico en un rango de pH de 3.80 a 4.20 .
- Después de flotar se obtiene el non float con contenidos de azufre menores a 0.60%S y de arsénico menores a 0.1%As; con el cual estamos cumpliendo el objetivo trazado por FUNSUR.

ÍNDICE

FLOTACIÓN DE SULFUROS Y SULFOARSENIUROS EN LA LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS DE CASITERITA MINA SAN RAFAEL – MINSUR S.A.

	Pág.
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1 UBICACIÓN Y ACCESO	01
1.2 CLIMA Y VEGETACIÓN	01
1.3 BREVE RESUMEN HISTÓRICO	02
1.4 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	03
1.5 ASPECTOS DE EXPLOTACIÓN MINERA	06
1.5.1 EXPLOTACIÓN	06
1.5.2 EXTRACCIÓN	08
1.5.3 DESARROLLOS Y PREPARACIONES	09
1.5.4 PRODUCTIVIDAD	09
CAPÍTULO II	
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA	
2.1 SECCIÓN CHANCADO Y JIGS	10
2.2 SECCIÓN MOLIENDA, CLASIFICACIÓN Y MESAS	11
2.3 SECCIÓN FLOTACIÓN DE CASITERITA	12

2.3.1	ETAPA DE REMOLIENDA Y CLASIFICACIÓN	12
2.3.2	ETAPA DE DESLAMADO Y FLOTACIÓN DE SULFUROS	13
2.3.3	ETAPA DE FLOTACIÓN DE CASITERITA	13
2.4	SECCIÓN LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS	14
2.5	SECCION FILTRADO Y DESPACHO DE CONCENTRADOS	15

CAPÍTULO III

FLOTACIÓN DE SULFUROS Y SULFOARSENIUROS EN LA LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMETRICOS DE CASITERITA

3.1	INTRODUCCIÓN	16
3.2	EXPERIMENTACIÓN	17
3.2.1	ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMÚN, ANÁLISIS GRANULOMETRICO Y DISTRIBUCIÓN DE ESTAÑO, AZUFRE Y ARSÉNICO	17
3.2.2	PRUEBAS DE FLOTACIÓN DE SULFUROS EN CELDA UNITARIA CON Y SIN MOLIENDA EMPLEANDO SULFATO DE COBRE COMO ACTIVADOR	20

CAPÍTULO IV

ASPECTOS MEDIOS AMBIENTALES

4.1	TIPOS DE EMISIONES DE EFLUENTES	30
4.2	ESTADO INICIAL DE MANEJO AMBIENTAL	30
4.3	IMPACTOS AMBIENTALES	30
4.3.1	RECURSOS AGUA	30

4.3.2	RECURSO SUELO	31
4.3.3	RECURSO AIRE	31
4.4	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	33
4.4.1	CRITERIOS GENERALES DEL MANEJO AMBIENTAL	33
4.5	PLAN DE ABANDONO	34
4.6	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO	35
CAPÍTULO V		
	COMENTARIOS	36
CAPÍTULO VI		
	CONCLUSIONES	39
	ANEXOS	41
	BIBLIOGRAFÍA	47

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN Y ACCESO

El yacimiento minero San Rafael, se encuentra ubicado en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno.

Las coordenadas geográficas del área, son las siguientes:

Longitud : 77°22'15" Oeste

Latitud : 14°12'00" Sur

Es accesible a través de dos vías:

Vía terrestre: De Lima a Arequipa 1000 km, de Arequipa a Juliaca 280 km, y de Juliaca con dirección norte por Pucará, Asillo, San Antón, Antauta hasta San Rafael 180 km.

Vía aérea: De Lima a la Mina San Rafael en avioneta, dos horas en vuelo.

1.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

En la zona hay dos estaciones bien marcadas durante el año, una seca y fría de Abril a Setiembre, donde se produce las más bajas temperaturas por las noches y la mayor insolación durante el día. La otra estación húmeda y fría que corresponde los meses de octubre a marzo, caracterizada por abundantes precipitaciones pluviales en forma de nieve y granizo con fuertes vientos.

La vegetación es típica de la región Puna y Cordillera, consiste en su totalidad de ichu y pastos naturales apropiados para la crianza de auquénidos.

1.3 BREVE RESUMEN HISTÓRICO

Los principales datos indican que el año 1947, un cateador de nombre Rafael Avendaño, descubrió la veta principal.

El Sr. Manuel González Polar, enterado de la existencia del yacimiento, procede a denunciar la zona y realiza cateos superficiales.

La Cía. Hoschild en 1949 realiza los primeros estudios y trabajos de exploración.

En 1950 la Cía. The Lampa Mining Co. adquiere la concesión y realiza labores de reconocimiento y algunos taladros de Diamond Drill.

A partir de 1958 adquiere importancia en la minería peruana siendo la única productora de estaño, inicialmente con baja ley.

En 1966, es adquirida por Minsur Sociedad Limitada (Grace).

A partir del 1° de Agosto de 1976 pertenece a Minsur S.A. (Grupo Brecia) quién a la fecha lleva adelante las operaciones con un tratamiento diario de 2720 TMS.

1.4 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

En el área se exponen rocas de edad Paleozoica inferior hasta el Cenozoico. Los sedimentos antiguos están fuertemente plegados y fallados, comprenden: Fillitas, pizarras, cuarcitas, siendo más abundantes las pizarras. Estos sedimentos son intrusivos por cuerpos batolíticos de edad triásica y por stock terciarios de composición granítica principalmente; hay dos stock, uno en la mina San Rafael denominado San Bartolomé de Quenamari y el otro en la mina Carabaya, en el nevado San Francisco de Quenamari.

La mineralización de origen hidrotermal y está en vetas de tipo relleno de fracturas y de reemplazamiento en bolsonadas, en el intrusivo y en las fillitas.

En la veta San Rafael hay un marcado zoneamiento vertical, cobre en la parte superior (sobre el nivel 666), cobre -casiterita en agujas (entre los niveles 666 y 533), estaño oscuro de grano grueso en la parte inferior (debajo del nivel 533) y por debajo del nivel 3800 la casiterita (estaño) se presenta en forma de pequeños cristales acompañados de una alteración sericitica.

En la zona de estaño, la veta San Rafael presenta por tramos cuerpos de mineral conocidos como bolsonadas, que se forman por un cambio de rumbo (dirección) y cuando presenta un fracturamiento lateral convergente, dando lugar a la formación de cimoides compuestos, originándose estos cuerpos, que en nuestro caso son conocidos como: Ore shoot, cuerpo de brecha, cuerpo contacto, cuerpo 310 - sur, cuerpo 250, brecha silificada y cuerpo rampa 410;

tienen longitudes de 30 a 210 m. y anchos de 15 a 40 m.; presentan buenas características mineralógicas con leyes que promedian entre 5 a 8% de estaño.

En lo que respecta al distrito minero en sí, además del sistema de vetas San Rafael, existen otras casi paralelas en fracturamiento, tales como: Quenamari, Nazareth, San Gregario y Condoriquiña ubicados a 2,5 km. al EN, conocidos como mina Carabaya o Quenamari; el potencial de esta área mineralizada reviste cierto interés, especialmente en profundidad. Su integración se realizará a través del cruce 3850-01-E de San Rafael a Quenamari, cuyo inicio será en el segundo semestre del año 2005.

MINERALOGIA

Los minerales económicos principales son: Casiterita y chalcopirita, en menor proporción estannita, galena, tetrahedrita.

- **Minerales abundantes:** Casiterita, estannita, arsenopirita, clorita, cuarzo, pirita, sílice, turmalina.
- **Minerales Menores:** Bismuto nativo, bornita, calcita, chalcopirita, caolinita, calcosina, covelita, cuprita, esfalerita, fluorita, galena, hematita, malaquita, marcasita, pirrotita, siderita.
- **Minerales Raros:** Cobre nativo, cubanita, enargita, jamesonita, estibina, oro, plata nativa, schelita, wolframita.

Secuencias de la Mineralización

Se han diferenciado cuatro eventos principales hipogénicos en la veta San Rafael, que contribuyeron a las secuencias de la mineralización.

- **Primera Etapa:** Vetas de cuarzo y turmalina, comprende venillas de turmalina, vetas de cuarzo - turmalina y brechas de turmalina sin valores económicos.
- **Segunda Etapa:** Casiterita botroidal - cuarzo - cloritas; es el evento más importante de la mineralización, consiste de casiterita botroidal de color marrón y negro.
- **Tercera Etapa:** Chalcopirita, estaño en agujas de cuarzo - cloritas, la chalcopirita asociada con galena.
- **Cuarta Etapa:** Vetas de cuarzo - calcita, de 3 mm a 1 cm. Las varillas de cuarzo, cuarzo - clorita. La pirrotita ha sido convertida en marcasita, arsenopirita, pirita.

Controles de la Mineralización

Las vetas y los clavos de mineral son más definidas y continuos en el intrusivo, hacia los contactos y en las fillitas las estructuras se ramifican o se adelgazan. Los ramales de un lazo cimoide mineralizan desigualmente, a veces, más favorable para el ramal este es más persistente en profundidad. La unión norte es más favorable para la formación de algunos cuerpos de mineral. En unión inferior de un lazo cimoide a la intersección con vetas de buzamiento contrario son pobres (veta Quenamari, San Gregorio, San Rafael).

Cambios de rumbo en dirección N – S son favorables cuando están acompañados de un cambio de buzamiento más echado. A mayor ancho, mayor es la riqueza de la mineralización.

Hay una íntima asociación de clorita y arsenopirita con la casiterita cuando mayor es la cantidad de clorita y mayor es su tamaño, mayor es también la abundancia de la casiterita.

1.5 ASPECTOS DE EXPLOTACIÓN MINERA

1.5.1 EXPLOTACIÓN

La explotación de la mina se inicia por el año 1955, a razón de 30 a 35 TMD de minerales de cobre. Producto del pallaqueo con leyes del orden del 30%, en niveles superiores a 4820 m.s.n.m.

En el año 1962 se instala la primera planta de flotación de minerales de Cu, a razón de 50 TMD, por lo que en mina se inicia la explotación de la veta San Rafael con el método de almacenamiento provisional convencional dinámico (Shirinkage).

A partir del año 1969 se incrementa la producción a 230 TMD, obteniéndose ya minerales de Cobre y Estaño con leyes de cabeza de 4,00 y 0,68% respectivamente.

Continuándose con el mismo sistema de minado tradicional con voladura convencional y extracción sobre rieles. Posteriormente en el año de 1976 se eleva la producción a 350 TMD, con leyes de 3,50% Cu y 0,80% Sn.

Por el año de 1978, debido a la tendencia creciente de la ley de estaño en profundidad se toma la decisión de introducir el sistema mecanizado trackless con el desarrollo de una rampa a partir del nivel 533 – 536 para abrir nuevos niveles inferiores de trabajo.

En el año de 1980 se desarrolla la actual rampa 523, desde superficie que avanza paralela a la veta San Rafael, con pendiente de -10% a partir de la cual se desarrollaron los diferentes niveles de operación; con la introducción progresiva de voladura eléctrica y luego FANEL, así como la utilización de ANFO, tanto en preparaciones como en tajeo en explotación.

En el año de 1985, con la introducción del sistema de trackless en la extracción y acarreo interno se incrementa la producción a 800 TMD, con leyes de 2,80% Sn y 0,60% Cu, manteniéndose el mismo sistema de minado, excepto la perforación en tajeos que se cambian de gradines invertidos con taladros de 5 pies, a perforación vertical de 7 pies, aplicándose por primera vez la perforación del perforista sin ayudante, obteniéndose un incremento de productividad de 14 TM

perforadas/hombre guardia a 51 TM perforadas/hombre guardia.

Para mecanizar la explotación de los cuerpos mineralizados de estaño en la veta San Rafael, se introduce a partir del año 1990 la perforación de taladros largos con el equipo long holle wagon drill.

En el año 1990 se incrementa la producción a 1000 TMD solamente por estaño con ley de 4,50% Sn; con el consiguiente cambio del método de minado Shirinkage, por el de SUB – LEVEL STOPING; desarrollándose niveles cada 20 metros; para lo cual se requería contar con nuevo equipo de perforación, decidiéndose la adquisición inmediata de un equipo SIMBA y un D.T.H. (1995), que hicieron posible hacer perforaciones de taladros con diámetros de 3" y 3½" con longitudes hasta 25 metros. Lográndose obtener voladuras masivas que garantizan los incrementos de producción de 1000 a 1500 y posteriormente a 2720 TMSD.

1.5.2 EXTRACCIÓN

Inicialmente esta actividad se realizó con locomotora hasta nivel 533. A partir del nivel 493 con la implementación del sistema trackless se realiza la extracción a superficie con camiones de bajo perfil 4156 y 426.

En el año de 1987 debido a los incrementos de producción y al bajo rendimiento de este sistema scoop-camión se implementa echaderos de mineral (Ore – Pass) para el uso de volquetes volvo de 10 TMS, los que fueron reemplazados por los de 20 TMS y posteriormente 25 TMS.

1.5.3 DESARROLLOS Y PREPARACIONES

En sus inicios la mina San Rafael se desarrolló bajo el sistema de perforación neumática con perforadora jackleg. Con la introducción de sistema trackless los desarrollos se efectuaron con jumbos neumáticos e hidráulicas, operados por personal de contratistas.

A partir del año 1990 la Compañía decide asumir los trabajos de desarrollo y preparaciones con su propio personal; lográndose mejorar sustancialmente los avances, repercutiendo en el incremento de reservas por el descubrimiento de nuevos cuerpos de mineral en los niveles inferiores.

1.5.4 PRODUCTIVIDAD

Como consecuencia de los cambios introducidos y el incremento progresivo de la producción se logró mejorar la productividad de Mina durante los seis últimos años, suprimiéndose totalmente las horas extras de sobretiempo sin alterar el cumplimiento de los programas establecidos de producción y desarrollo.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA

2.1 SECCIÓN CHANCADO Y JIGS

El mineral que es extraído de mina, es depositada en una tolva metálica de 100 TM., la cual tiene una parrilla de 24" x 24", de aquí mediante un alimentador de orugas es alimentado a dos chancadoras de quijadas Comesa 24" x 36", cuya descarga <5" es almacenada a través de fajas en la tolvas de intermedios, de aquí el mineral es alimentado a una zaranda de doble piso Allis Chalmers 5'x14' por medio de fajas, los sobretamaños caen a una trituradora cónica symons 4 ¼" STD, cuya descarga (1 ½") es llevada a una tolva de regulación donde se alimenta a una zaranda simplicity 7'x18'; el sobretamaño de esta cae a una trituradora Norberg HP 500 SX S.H. cuya descarga se une a la descarga de la trituradora STD, formando la carga circulante de este circuito; los finos de las dos zarandas (90% - 3/8") constituyen el producto final de trituración y se almacenan en las tolvas de finos, mediante la distribución homogénea de un TRIPER.

Con el material (90% - 3/8"), se inicia la operación de concentración gravimétrica, en dos Jigs GEKKO IPJ2400, obteniéndose un concentrado que tendrá un tratamiento posterior, en tanto que los relaves pasan por dos zarandas vibratorias, el sobretamaño se alimenta al molino de barras 9½' x 13' (molienda primaria), los finos de estas zarandas, conjuntamente con la descarga

del molino 9½' x 13' se alimentan a un grupo de Jigs Bendelari (12), obteniéndose un concentrado primario, los relaves de estos Jigs previa clasificación, ingresan a los molinos 8' x 8' A y B (molienda secundaria).

2.2 SECCIÓN MOLIENDA, CLASIFICACIÓN Y MESAS

Los molinos 8'x8' A y B molturan las arenas de los clasificadores 42"φ el cual es descargado a una batería de espirales MG2 de finos. El relave de estos es bombeado a las zarandas derrick que trabaja en circuito cerrado con los molinos y batería de espirales.

El mixto de los espirales MG2 pasa a un Jig Bendelari cuyo relave pasa a una zaranda chinchano cuyo producto grueso pasa a los clasificadores 42" φ y los finos pasan a los espirales MG2 de la limpieza, cuyo relave hace una carga circulante en la zaranda derrick y el mixto es alimentado a un grupo de mesas.

El control del peso de mineral alimentado a la planta se realiza en esta sección mediante una balanza automática RAMSEY. La capacidad de molienda es de 2720 TMSD con una ley promedio de 4,80%Sn .

El producto de molienda es sometido a una clasificación de tamaños distintos de partículas, con un cicloneo en una batería de hidrociclones 15"φ. La fracción gruesa cae a un hidroclasificador de stokes de 6 comportamientos para ser clasificados en rangos de diferentes tamaños que van a ser distribuidos en 6

grupos de mesas. La fracción fina de los hidrociclones de 15"φ y del hidroclasificador de stokes es alimentado al espesador 120'φ.

La concentradora cuenta actualmente con 160 mesas distribuidas en 4 niveles como mesas primarias y de repaso de los mixtos. El relave de mesas antes de enviar a la planta de flotación es clasificado y remolido en dos molinos horizontales de bolas 7'x8', 7'x12' y un molino vertical cuyos productos son repasados en espirales y mesas.

2.3 SECCIÓN FLOTACIÓN DE CASITERITA

2.3.1 ETAPA DE REMOLIENDA Y CLASIFICACIÓN

Los relaves de la planta gravimétrica ingresan a un circuito de clasificación en hidrociclones de 15"φ (A), el under flow es alimentado a los molinos horizontales 7'x8' y 7'x12' cuyas descargas es alimentado a espirales y mesas respectivamente. Los relaves de espirales y mesas alimenta a los ciclones de 15"φ (B) cuyo under flow es alimentado al molino vertical. El over flow de los ciclones 15"φA es alimentado al espesador de 120'φ, mientras el O/F de los ciclones de 15"φ (B) es alimentado al clasificador 60"φ cuyo under flow es alimentado al M7'x8' y el rebose del clasificador helicoidal del 60"φ es alimentado al espesador 120'φ.

2.3.2 ETAPA DE DESLAMADO Y FLOTACIÓN DE SULFUROS

El rebose del clasificador de 60"φ, over flow de los ciclones de 15"φ (A), rebose del hidroclasificador de stokes y over flow de los ciclones 15"φ de la molienda secundaria es alimentado al espesador de 120'φ, cuyo producto espesado es alimentado a 4 baterías de hidrociclones 4"φ. El over de estos ciclones es bombeado a una batería 60 mmφ y el over de este bombeado a la batería de hidrociclones 1 ¾"φ y el over de este a relave final. El under flow de los ciclones 4", 60 mm y 1 ¾"φ respectivamente, alimenta al circuito de flotación de sulfuros, donde se realiza una flotación inversa cuyas espumas se descartan como relave final y el non float es alimentado al circuito de flotación de casiterita.

Los reactivos utilizados:

- Colector, Isopropílico (Xantato Z - 11)	0,008 Kg / TMS
- Espumante, Metil Isobutil Carbinol (MIBC)	0,024 Kg / TMS

2.3.3 ETAPA DE FLOTACIÓN DE CASITERITA

La flotación de casiterita se realiza en 10 celdas DR-500 (Rougher), 5 celdas DR-500 (Scavenger), 10 celdas DR-300 y 6 Celdas DR-180 (Cleaner) y 5 celdas DR-300 (Recleaner).

Los reactivos utilizados son:

Dispersante de lamas, Fluosilicato de Sodio (Na_2SiF_6)	0,059 Kg/TMS
Regulador de PH, Acido Sulfúrico (H_2SO_4)	0,787 Kg/TMS

Colector Espumante, Aeropromoter 845 (AP-845) 0,315 Kg/TMS

El concentrado obtenido es de 51% Sn con un contenido de impurezas de As menor a 0,10%, y S menor a 0,40%. La recuperación promedio es de 12%

2.4 SECCIÓN LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS

Los concentrados de los Jigs (Gekko y Bendelari) son remolidos en un molino 5' x 6', juntándose con el concentrado de las mesas y para efectuar la flotación de sulfuros en las celdas OK-5, con el objeto de eliminar los sulfuros contaminantes.

Los reactivos utilizados son:

Colector; isopropílico (Xantato Z-11)	0,060 Kg/TMS
- Espumante, Dowfroth 250 (D-250)	0,175 Kg/TMS
- Regulador de pH, Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0,450 Kg/TMS

Los concentrados luego de ser flotados inversamente, son elevados al circuito de limpieza en espirales MG2 y Jig dúplex, elevando la calidad del concentrado a leyes superiores de 63,50% Sn.

2.5 SECCIÓN FILTRADO Y DESPACHO DE CONCENTRADOS

Los concentrados gravimétricos son filtrados en el filtro de banda Delkor, contenido de humedad entre 5% a 6%, en tanto que los concentrados de flotación directa se filtran en un filtro de prensa Eimco, contenido de humedad inferior a 9%. Posteriormente los concentrados se almacenan independientemente, siendo envasados en sacos big bag de 1250 Kg., formando lotes de 30 toneladas.

Actualmente se despacha un promedio de 180 TM de concentrado por día, obteniéndose dos muestras testigo de cada lote que se despacha.

Diariamente se alimentan los datos de ensaque y despacho de concentrados al sistema SAP, permitiendo que el personal de Lima pueda contar con la información de stock de concentrado a la fecha y de esta manera realizar el programa de comercialización de concentrados.

CAPITULO III

FLOTACIÓN DE SULFUROS Y SULFOARSENIUROS EN LA LIMPIEZA DE CONCENTRADOS GRAVIMÉTRICOS DE CASITERITA

3.1 INTRODUCCIÓN

La flotación de sulfuros es un importante proceso auxiliar en el tratamiento de menas estañíferas, en razón a que es frecuente y común la presencia de minerales sulfurosos y sulfoarseniosos, que acompañan a la casiterita.

La presencia de elementos tales como el azufre, arsénico, antimonio, bismuto, cobre, plomo, zinc en los concentrados de estaño, ocasionan dificultades en la refinación de este metal dando origen a las penalidades de parte de las fundiciones. Así por ejemplo, es común ver, contratos de compra - venta de concentrados en los que se acepta un contenido de 0,2 % As como máximo y un castigo por cada 0,1% de incremento. En el caso de impurezas tales como cobre, plomo, bismuto, antimonio y zinc la penalidad de la suma de estos se aplica por cada incremento de 0,1% sobre 0%.

En la planta de San Rafael, los minerales sulfurosos y sulfoarseniosos que forman parte del concentrado gravimétrico de estaño, se separan de la casiterita mediante la flotación continua y conjunta de sulfuros a pH natural (en el rango

de 6,5 a 7,5) anteriormente y actualmente se está trabajando con un pH (en el rango de 3.8 a 4.2) y en granulometría (65% - m65) empleando xantato isopropílico de sodio como colector y Dowfroth 250 como espumante.

El contenido de minerales sulfurosos y sulfoarseniosos (especialmente arsenopirita), de acuerdo a la información de Minsur, aumenta en la mina a medida que se profundizan las labores mineras y este aumento se reflejaría en el mayor contenido de azufre y arsénico en los concentrados finales, llegándose a formar lotes de exportación con contenidos de 0,75% S y 0,52% As que ocasionan problemas en la comercialización.

3.2 EXPERIMENTACIÓN

El propósito del presente trabajo, es el de establecer la forma en la cual se encuentra el azufre y arsénico en los concentrados gravimétricos y en base a esta información establecer los pasos que deben darse para bajar el contenido de estos elementos penalizables.

3.2.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMÚN, ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DISTRIBUCIÓN DE ESTAÑO, AZUFRE Y ARSENICO

La muestra recibida con un peso total de 3,5 Kg. se homogenizó y; se separó fracciones representativas para el análisis del común y para el análisis granulométrico, cuya información se muestra en la **tabla 1**.

TABLA 1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMÚN

Elemento	Porcentaje
Estaño	44,61 %
Cobre	0,09 %
Azufre	1,48 %
Arsénico	0,45 %

El análisis estereomicroscópico reveló que los sulfuros mayoritarios presentes son la piritita y arsenopiritita en proporciones peso aproximados de 2,5% y 1% respectivamente. Se detectó la presencia de calcopiritita y esfalerita en proporciones bajas (menores a 0,2%).

El análisis granulométrico efectuado en húmedo, empleando cedazos de la serie Tyler, dió la información que se muestra en la **tabla 2**

Del análisis de tamaños de distribución de Sn, S y As; se tienen las siguientes observaciones:

- Existe un 34% peso de partículas mayores a 0,21 mm. (m65), tamaño que se toma como límite máximo para una flotación continua efectiva de sulfuros.

- Las fracciones gruesas, m -20 + 28, m -28 + 35, m -35 + 48 y m -48 + 65, son los que tienen los mayores contenidos de arsénico y azufre. Por ejemplo, la fracción mayor a m65 tienen una ley de 0,87% As, mientras que la fracción menor a m65 tiene una ley de 0,22% As, una situación similar se presenta con el azufre.
- Las fracciones finas son las que tienen mayores leyes de estaño, llegando a 57,5% Sn, para la fracción menor a m270 (0,05 mm).

De estas observaciones se pueden sacar las siguientes conclusiones iniciales:

- La pirita y arsenopirita gruesas (0,8 a 0,3 mm) y libres presentes en el concentrado gravimétrico no están flotando por problemas de tamaño.
- Es conocido el hecho que una flotación continua, como es, el caso de la planta San Rafael, es satisfactoria cuando los minerales sulfurosos son fácilmente flotables y cuando se tiene una granulometría relativamente fina adecuada (menor a m 65).
- Por otro lado, cuando se tiene una proporción alta de partículas gruesas (mayores a m65) se prefiere la flotación de sulfuros "batch" o unitaria, ya que este proceso permite un mejor control de las variables (reactivos, %sólidos, tiempo de flotación entre otros), para una separación mas completa de sulfuros y en el cual es menos probable que las partículas gruesas se asienten y pasen del punto de

alimentación a la descarga sin formar parte de la pulpa de flotación.

- Una variable de flotación que puede estar adicionalmente dificultando la flotación efectiva de los sulfuros, es el porcentaje de sólidos. Un porcentaje de sólidos adecuado esta en el rango de 20 a 40% por peso al inicio de la operación y es probable, que el porcentaje de sólidos al presente en la planta esté en el rango de 15 a 20% debido a la alimentación de carga, estos se estará solucionando con la instalación de alimentadores vibratorios.

3.2.2 PRUEBAS DE FLOTACIÓN DE SULFUROS EN CELDA UNITARIA CON Y SIN MOLIENDA EMPLEANDO SULFATO DE COBRE COMO ACTIVADOR

Se han programado dos pruebas de flotación de sulfuros en celda unitaria, cada una con 1000 g. de muestra. La primera sin molienda, es decir con la granulometría original y la segunda con molienda a una granulometría 100% menor a m 65, en ambos casos se ha empleado sulfato de cobre como activador de sulfuros y especialmente como activador de la arsenopirita. La prueba con molienda comprendió la clasificación en húmedo en m 65 y la molienda del sobretamaño en un molino de bolas.

Se emplearon los siguientes reactivos y condiciones de operación tal como se detalla en la **tabla 3**.

TABLA 3 REACTIVOS UTILIZADOS

Reactivo	Acción	Consumo g/ton	Tiempo acondicionamiento
Sulfato de cobre	Activador	20	0 a 5 minutos
Xantato isoprop. de Sodio	Colector	35	5 a 10 minutos
Dow froth 250	Espumante	30	10 a 12 minutos

- Tiempo de flotación rougher y scavenger 5 min. y 2 min
- Número de limpieza y tiempo flot. Limp. 2 y 4 min.
- % Sólidos por peso 30%
- pH empleado (natural) 7,5

Los resultados de las pruebas, se reproducen en las **tablas 4 y 5**.

De los resultados se tiene:

- La flotación de sulfuros "batch" con carga gruesa, 65% menor a m65, bajo las condiciones empleadas da lugar a un non float, concentrado final de estaño, con una ley de azufre 0,82% y arsénico de 0,23%.
- La misma flotación con carga molida a 100% menor a m65, da origen a un concentrado final de estaño con una ley de azufre de

0,61% y de arsénico de 0,08%.

En ambos casos se logró una espuma de sulfuros formada mayoritariamente por pirita y arsenopirita que representa el 2% peso para la prueba sin molienda (**tabla 4**) y de 3% de peso para la prueba con molienda (**tabla 5**).

- Las espumas de sulfuros tienen leyes de 3,48 y 3,99% Sn ocasionando pérdidas de 0,16 y 0,26 % en la etapa que corresponde aproximadamente a 0,11 y 0,18% de la recuperación total para las pruebas sin y con molienda respectivamente.
- Es posible disminuir la pérdida de estaño en las espumas de sulfuros en una operación industrial, si se trabaja a pH 4,0 ambiente regulado con ácido sulfúrico, en lugar de pH 7,5 ambiente natural. (**figuras 1 y 2**).
- La eliminación adicional de sulfuros ocasiona una subida de la ley del concentrado en aproximadamente un punto de 44,7% a 45,8% Sn.

TABLA 2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN HÚMEDO

# Malla Tyler	Abertura Micrones	Peso gr.	%Peso	%Acumulado		%Sn	% Distr.	%S	% Distr	%As	% Distr.
				Ret.	Pass.						
20	841	3,40	0,48	0,48	99,52						
28	595	11,30	1,61	2,09	97,91	28,04	1,30	2,15	3,03	0,88	4,09
35	500	39,00	5,55	7,64	92,36	40,22	4,94	2,56	9,60	1,20	14,79
48	297	77,50	11,04	18,68	81,32	42,51	10,38	2,35	17,53	0,86	21,08
65	210	119,50	17,02	35,70	64,30	43,31	16,31	2,19	25,19	0,77	29,10
100	150	123,00	17,52	53,22	46,78	42,91	16,63	1,40	16,58	0,31	12,06
150	105	102,00	14,53	67,75	32,25	41,12	13,22	1,05	10,31	0,20	6,46
200	75	102,00	14,53	82,28	17,72	46,31	14,89	0,74	7,26	0,13	4,20
270	53	52,00	7,41	89,69	10,31	56,29	9,23	0,83	4,16	0,18	2,95
<270		72,50	10,31	100,00	0,00	57,41	13,10	0,91	6,34	0,23	5,27
Total		702,20	100,00			45,20	100,00	1,48	100,00	0,45	100,00

NOTA.- El análisis granulométrico se efectuó en húmedo empleando cedazos de la serie Tyler. Por la poca cantidad de muestra de la fracción +m20, esta se junto con la fracción -20 + 28m para el análisis químico correspondiente.

TABLA 4 FLOTACIÓN DE CONJUNTO SULFUROS EN GRANULOMETRÍA ORIGINAL

PRODUCTO	Peso gr	% Peso	% Sn	% Distr.	%S	% Distr.	% As	% Distr.
Sulfuros	22,40	2,07	3,48	0,16	33,26	46,22	8,88	44,99
Non Float	1057,60	97,93	45,51	99,84	0,82	53,78	0,23	55,01
Cab. Calculada	1080,00	100,00	44,64	100,00	1,49	100,00	0,41	100,00

TABLA 5 FLOTACIÓN DE CONJUNTO DE SULFUROS, CON CLASIFICACIÓN A m65 Y MOLIENDA DEL SOBRETAMAÑO A m65

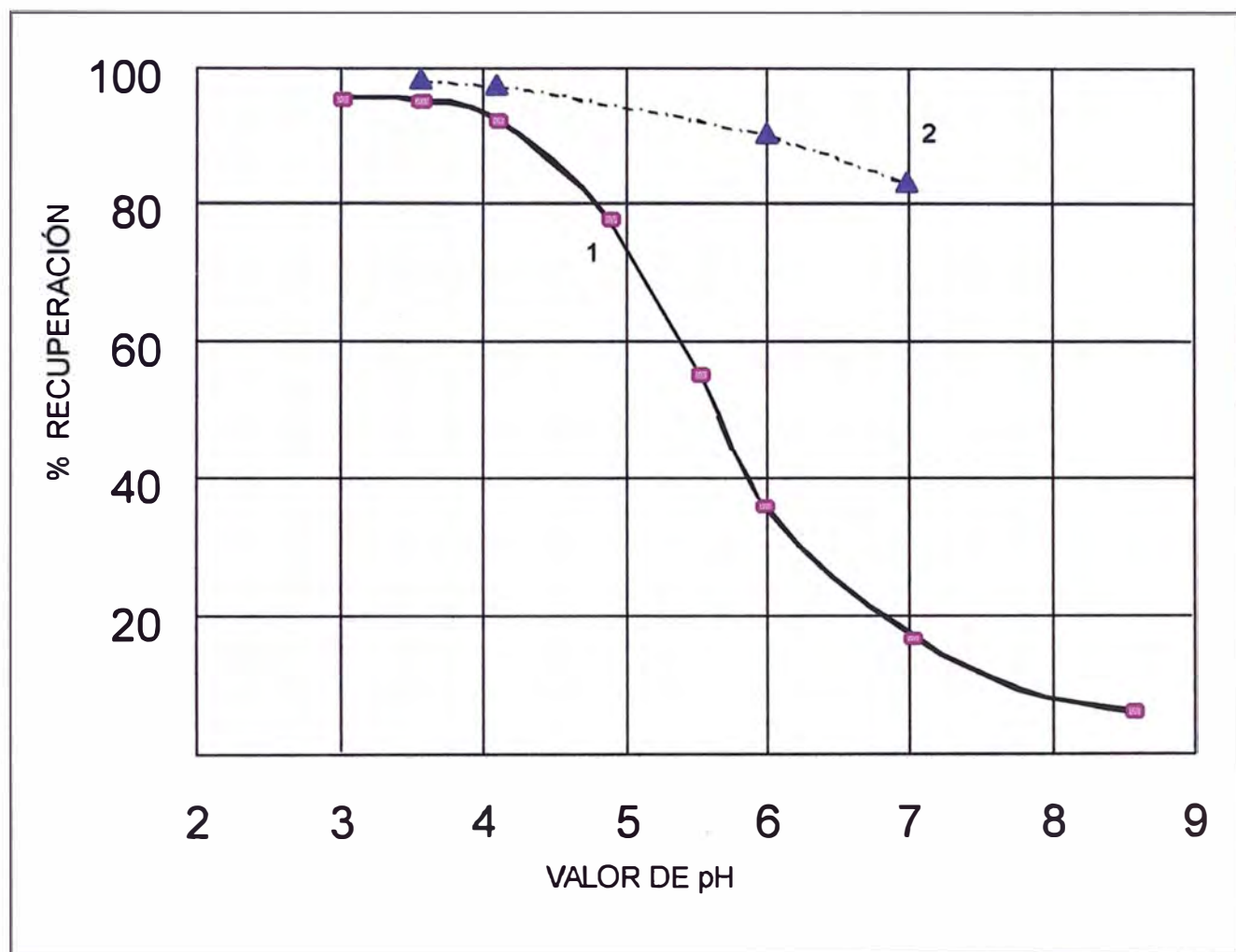
PRODUCTO	Peso gr	% Peso	% Sn	% Distr.	%S	% Distr.	% As	% Distr.
Sulfuros	32,00	2,92	3,99	0,26	32,82	61,78	11,17	80,75
Non Float	1065,00	97,08	45,81	99,74	0,61	38,22	0,08	19,25
Cab. Calculada	1097,00	100,00	44,59	100,00	1,55	100,00	0,40	100,00

El non float de la prueba de la Tabla 5 se analizó adicionalmente por Cu y Zn y dio los valores de 0.04 % y 0.06 % respectivamente.

TABLA 6 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO NECESARIO PARA CLASIFICAR Y MOLER LA FRACCIÓN MAYOR A m48 DE LOS CONCENTRADOS DE GRAVIMETRÍA

Cant.	Descripción	Dimensión	Motor HP	Observaciones
1	Zaranda derrick 5'x14'	5' x 14'	4.5	
3	Clasificadores helicoidales 3,4 y 17	36"φ(01) y 30"φ(02)	36	
1	Molino de bolas	5'φ x 6'L	56	
3	Mallas (03) , abertura 0.3 mm.	-	-	
2	Bombas horizontales	4" x 3"	50	

FIGURA 1: INFLUENCIA DEL pH EN LA FLOTACIÓN DE ARSENOPIRITA.

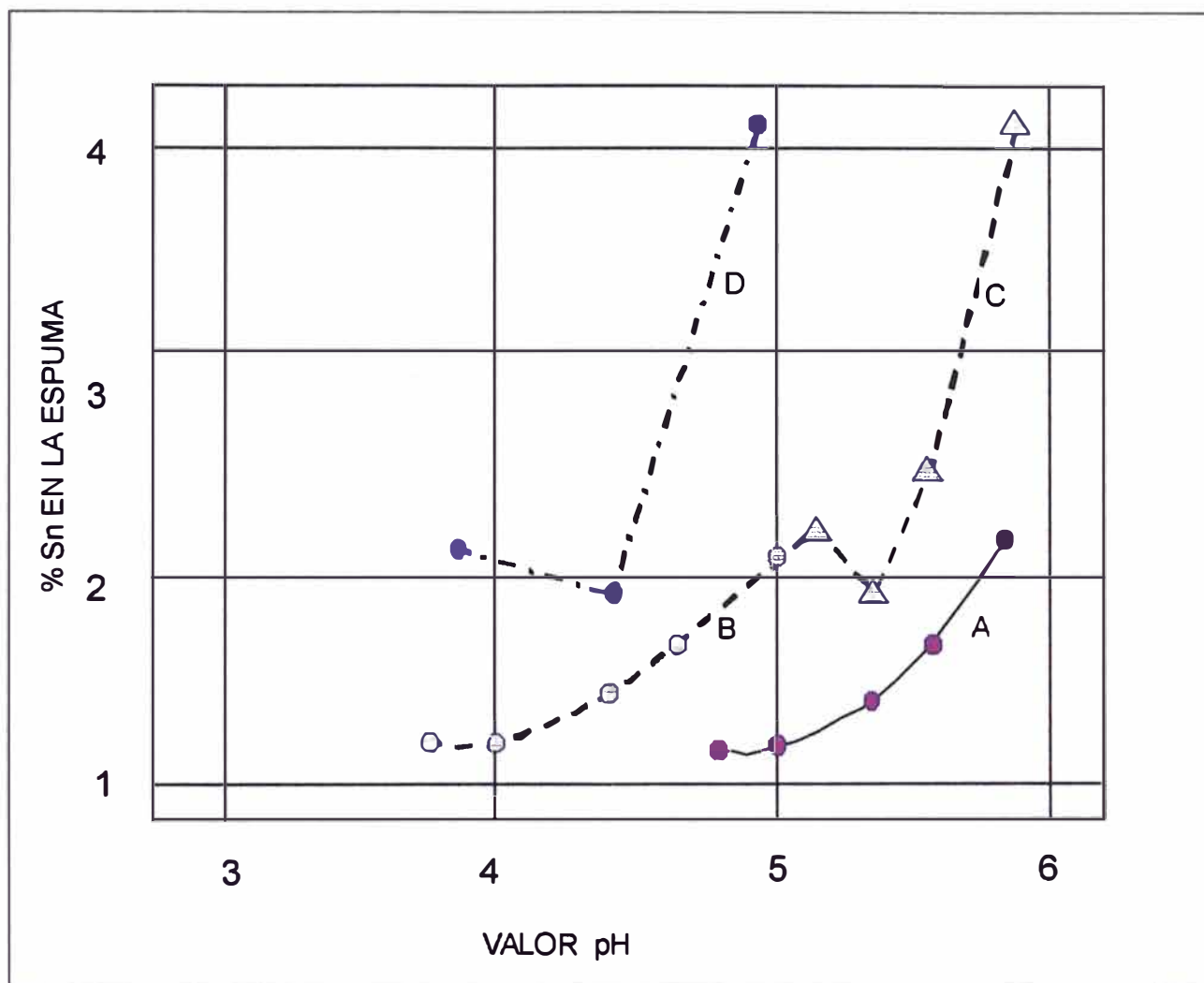


1. Xantato etílico 100 mg/l

2. Xantato isopropílico 100 mg/l

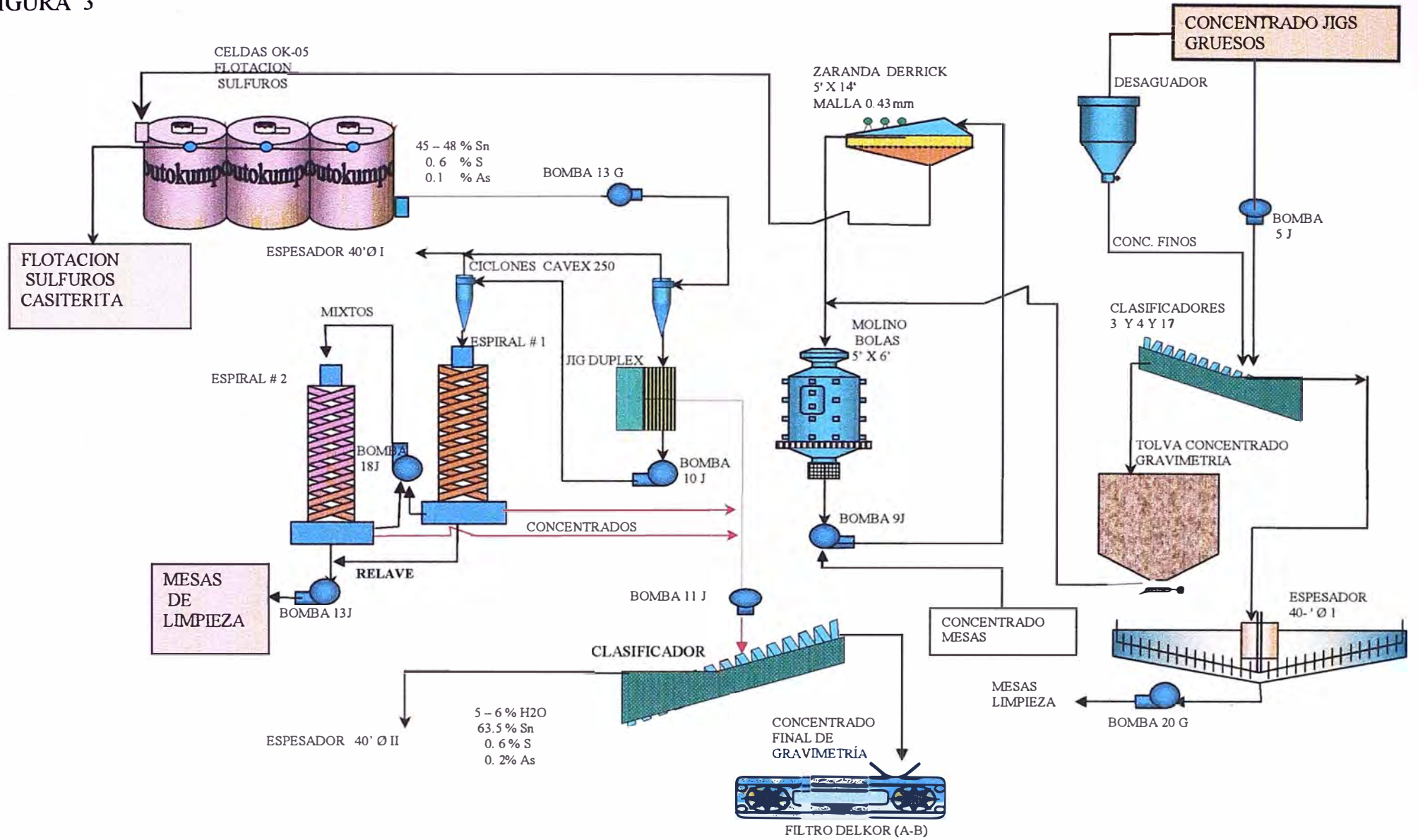
(Esta operación es equivalente a 100 g/ ton conc. a 50 % sólidos)

FIGURA 2: INFLUENCIA DE pH EN LA CANTIDAD DE Sn EN LA ESPUMA



- A. **Muestra 1.** % Sólidos 20% al inicio de la prueba
 B. **Muestra 2.** % Sólidos 40% al inicio de la prueba
 C. **Muestra 2.** % Sólidos 20% al inicio de la prueba
 D. **Muestra 1.** % Sólidos 40% al inicio de la prueba

FIGURA 3



CAPITULO IV

ASPECTOS MEDIOS AMBIENTALES

4.1 TIPOS DE EMISIONES DE EFLUENTES

En la unidad de Producción de San Rafael se han identificado principalmente los focos de emisión siguientes:

- Niveles de ruido.
- Niveles de polvo.
- Niveles de polvo no sedimentado.
- Efluentes de relaves.
- Efluentes gaseosos (provenientes de equipos y operaciones en el interior mina).

4.2 ESTADO INICIAL DE MANEJO AMBIENTAL

Con la preocupación inicial de MINSUR S.A. se había establecido un programa de monitoreo de efluentes que se tomó como punto de partida para establecer un Programa de Manejo Ambiental (**tabla 7**).

4.3 IMPACTOS AMBIENTALES

4.3.1 RECURSOS AGUA

Se tiene que distinguir para su evaluación: Su calidad natural y la aplicación de este recurso. En su calidad natural tenemos que observar el conjunto de características fisicoquímico y bacteriológica, pudiendo

ser modificada esta de acuerdo al destino que se le de fijándose criterio de calidad para que estos no sean desfavorables al medio ambiente. Los elementos que pueden contaminar este recurso, son diversos y tienen acción física, química o biológica, cuyos parámetros de superación de límite aceptable indican un grado de contaminación al individualizar sus análisis por cada elemento de este recurso.

Los efectos en este recurso se observan a través de:

- Impacto en la calidad de agua.
- Impacto por el uso.
- Impacto por desaguado.
- Impacto por sedimentos.

4.3.2 RECURSO SUELO

El recurso suelo puede ser alterado con un impacto negativo en forma directa en acciones de contaminación física, química o perdiendo la calidad de este medio.

4.3.3 RECURSO AIRE

En la unidad minera de San Rafael su actividad en la zona de influencia es de una incidencia negativa mínima en el recurso aire debido a los programas de controles directos en el sitio de operación para los equipos generadores de contaminantes de este recurso y el presente en el recurso aire.

**TABLA 7 ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD EN EL AREA DE
LA UNIDAD DE SAN RAFAEL PARA EFLUENTES HÍDRICOS**

Polucinante en el cuerpo receptor	Dispositivo Legal	L.M.P./Cuerpo Receptor	L.M.P./Cuerpo Emisor	Dispositivo Legal	Promedio de Monitoreo Efluente
Agua Continental					
pH	D.L. 17752	5-9	6-9	RM/011/EM	6.20
Temperatura	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	13.16°
Conductividad	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Total Sol. Dis.	D.L. 17752	100 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Total Sol. Susp.	Ninguno	Ninguno	50 mg/lit	RM/011/EM	No hay monitoreo
Aceites y Grasas	D.L. 17752	0.0 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Arsénicos	D.L. 17752	0.2 mg/lit	1.0 mg/lit	RM/011/EM	No hay monitoreo
Cloruros	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	0.835 ng/lit
Cadmio	D.L. 17752	0.05 mg/lit	Ninguno	Ninguno	0.007 ng/lit
Cianuro	D.L. 17752	1.0 mg/lit	1.0 mg/lit	RM/011/EM	No hay monitoreo
Fierro	D.L. 17752	1.0 mg/lit	2.0 mg/lit	RM/011/EM	No hay monitoreo
Mercurio	D.L. 17752	0.01 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Cobre	D.L. 17752	0.5 mg/lit	1.0 mg/lit	RM/011/EM	0.249 ng/lit
Plomo	D.L. 17752	0.1 mg/lit	0.4 mg/lit	RM/011/EM	0.442 ng/lit
DBO	Ninguno	15 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
OD	D.L. 17752	3 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Coliform. Totales	D.L. 17752	5000	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Coliform. Totales	D.L. 17752	1000	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Zinc	D.L. 17752	25 mg/lit	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo

En la zonas de explotación la alteración y generación de contaminantes del aire se producen por el incremento del material particulado, gases y ruidos.

La primera acción de impacto positivo que se efectúa en el desarrollo de la explotación es efectuar los cálculos efectivos de la ventilación del interior mina e implementar con las técnicas y equipos (chimeneas y ventiladores) para dar una gran seguridad efectiva de trabajo, con acción complementaria y de seguridad.

4.4 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

4.4.1 CRITERIOS GENERALES DEL MANEJO AMBIENTAL

La elaboración del Plan de Adecuación y Manejo Ambiental para la Unidad San Rafael se efectúa teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- Es obligación de la compañía minera de subsanar de acuerdo a la magnitud y posibilidad económica los impactos ocasionados por las operaciones inherentes a la explotación y concentración del mineral de estaño.
- En adelante las operaciones de la unidad de San Rafael se efectuarán de acuerdo a los lineamientos técnicos-legales que garanticen un buen manejo ambiental.

- Se establecerán políticas y procedimientos operativos y una evaluación permanente para garantizar la continuidad de los planes establecidos.

Entre las acciones y programas que servirán como apoyo para el cumplimiento y continuidad de un buen manejo ambiental se encuentran: mantenimiento, manejo de desechos y monitoreo de efluentes.

4.5 PLAN DE ABANDONO

El plan de abandono resulta de la decisión de cerrar las operaciones mineras. El principio que gobierna el plan de abandono es el de comprometer a la compañía minera a establecer una política de retiro de servicio y el reacondicionamiento del área de influencia perturbadas por la actividad minera, hasta alcanzar una condición ambientalmente aceptable. Se define como retiro de servicio la acción del cierre de las operaciones y el traslado de equipos de producción, de construcciones y estructuras a un lugar de almacenamiento. El reacondicionamiento del área ocupado consiste en el trabajo necesario para volver a la superficie de la zona su condición natural, esta labor puede comprender excavaciones, rellenos, reemplazados de suelo y enmienda de la calidad del suelo desde el punto de vista de calidad orgánico, de fertilidad y estructura, con la finalidad de proteger la salud, seguridad y cuidado del medio ambiente.

Todas las medidas señaladas tendrán como meta restaurar las condiciones originales del medio ambiente al inicio de las actividades extractivas del mineral, en lo posible.

4.6 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Todas las acciones de mitigación contempladas en el PAMA deberán tener continuidad de ejecución en el tiempo con la finalidad de obtener su máximo provecho y cumplimiento de las disposiciones ambientales vigentes. Por esta razón es imprescindible ejecutar un plan de seguimiento encargado dando preferencia a esta labor de fiscalización a especialistas exteriores a la Cía. Minera.

Los criterios considerados para este programa son:

- Información periódica.
- Verificación periódica.

CAPITULO V

COMENTARIOS

1. El tratamiento de menas estañíferas produce con frecuencia, concentrados gravimétricos que contienen minerales acompañantes con alto peso específico entre los que se tienen a las piritas y arsenopiritas. La separación de estas especies se efectúan mediante la flotación empleando:
 - Mesas en las que se puede flotar sulfuros de hasta 2 mm. de tamaño.
 - Celdas, en proceso continuo o unitario, en lo que se flota sulfuros de hasta 0,2 a 0,3 mm de tamaño.
2. La eficiencia de separación es mayor empleando celdas, pero existen casos en los que se prefieren emplear mesas; así por ejemplo, cuando se desea mantener la granulometría gruesa original para alimentar a un proceso de enriquecimiento posterior, como ser la separación magnética.
3. En nuestro caso, el objetivo de la experimentación es el de establecer las condiciones para la mayor disminución posible del azufre y la arsenopirita de los concentrados gravimétricos en un circuito de flotación continuo, empleando celdas convencionales de flotación, para dar lugar a un concentrado final de estaño que pasará a la etapa de limpieza y filtración.

4. Las pruebas de laboratorio han determinado que no se está flotando efectivamente la pirita y arsenopirita gruesa, razón por la cual es necesario clasificar el concentrado, por ejemplo a m65 (0,2 mm.) y moler el sobretamaño para alimentar al circuito continuo, carga con una granulometría inferior a m65. En razón a que el non - float de la flotación constituye el concentrado final de estaño y que pasa a las etapas de limpieza y filtración, será necesario evitar la proliferación de partículas finas, razón por la cual se sugiere en la práctica la clasificación del concentrado en abertura m48 (0,3 mm.) y tomar las providencias del caso para efectuar una buena clasificación.
5. Es conocido el hecho de que la arsenopirita es más difícil de flotar que la pirita, por este motivo, se deberá adicionar pequeñas cantidades de sulfato de cobre (en el orden de 15 g/ton) para activar este mineral. Por otra parte, la flotación deberá efectuarse a pH 4,0 regulado con ácido sulfúrico, en lugar del pH 7,5 empleado en el laboratorio, ya que en este ambiente, ligeramente ácido, flota mejor la arsenopirita (**figura 1**).
6. La pérdida de estaño en la espuma, tiene relación con pH de flotación, y las menores pérdidas se tienen en el rango de pH 3,5 a 5,5. Tomando en cuenta ambos factores (mejor flotabilidad de la arsenopirita y menor pérdida de estaño en las espumas) la flotación de sulfuros debe llevarse a cabo a pH 4,0.
7. Flujograma sugerido para la clasificación en la Planta Concentradora.
El circuito sugerido actualmente (**figura 3**) se está llevando a la práctica y una

breve descripción del mismo es la siguiente:

- Los concentrados de Jigs de gruesos, intermedios y finos es enviado a los clasificadores 3, 4 y 17 para eliminar el agua y los finos, el cual es espesado en el espesador de 40-I para luego recuperar en mesas; el grueso es alimentado a la tolva de concentrado de gravimetría para luego alimentar al M5'x6'.
 - La descarga del M5'x6' se junta con el concentrado de mesas, el cual es bombeado hacia la zaranda Derrick 5'x14', cuya malla es de 0,43 mm debido a que los proveedores no fabrican las mallas de 0.3mm.
 - La fracción gruesa retorna al M5'x6' para cerrar el circuito de molienda de concentrados.
 - Los finos de la zaranda Derrick 5'x14' es alimentado por gravedad a las celdas outokumpu OK-5.
8. La producción diaria promedio de concentrados gravimétricos es de 160 tons./día (información de julio 2005).
9. Los equipos que están trabajando actualmente para la molienda de concentrado de gravimetría se muestra en la **tabla 5**.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

De la experimentación realizada se concluye:

1. Es posible disminuir las impurezas de los concentrados gravimétricos mediante la flotación conjunta de sulfuros a los siguientes niveles.

* As 0,08 a 0,10%

* Cu 0,04 a 0,05 %

* S 0,60 a 0,80%

* Pb 0,06 a 0,07%

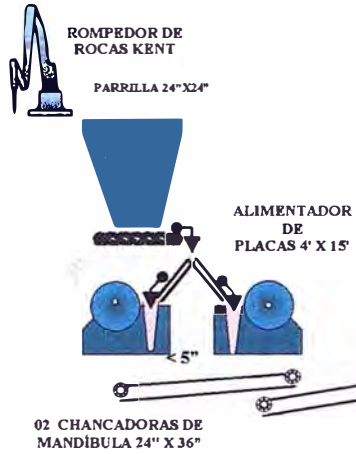
2. Para flotar efectivamente los sulfuros y en especial la arsenopirita, debe de adicionarse pequeñas cantidades de sulfato de cobre (en el orden 15 a 20 g/ton.)
3. Adicionalmente al punto anterior, para garantizar bajos contenidos de arsénico y otras impurezas penalizables por las fundidoras, es necesario alimentar al circuito de limpieza por flotación de los concentrados, material con granulometría uniforme y menor a m 48 (0,3 mm), para lo cual el conjunto de concentrados deberá clasificarse a m 48 y moler el sobretamaño.

4. El pH de flotación que deberá mantenerse en pH 4,0; ambiente ligeramente ácido regulado con ácido sulfúrico. En este pH se logra una mayor flotabilidad de la arsenopirita y se logra una menor pérdida de la casiterita en las espumas.

5. Finalmente, debe controlarse en forma continua el porcentaje de sólidos de la alimentación a flotación para mantener el mismo en un rango de 20 a 40% de sólidos.

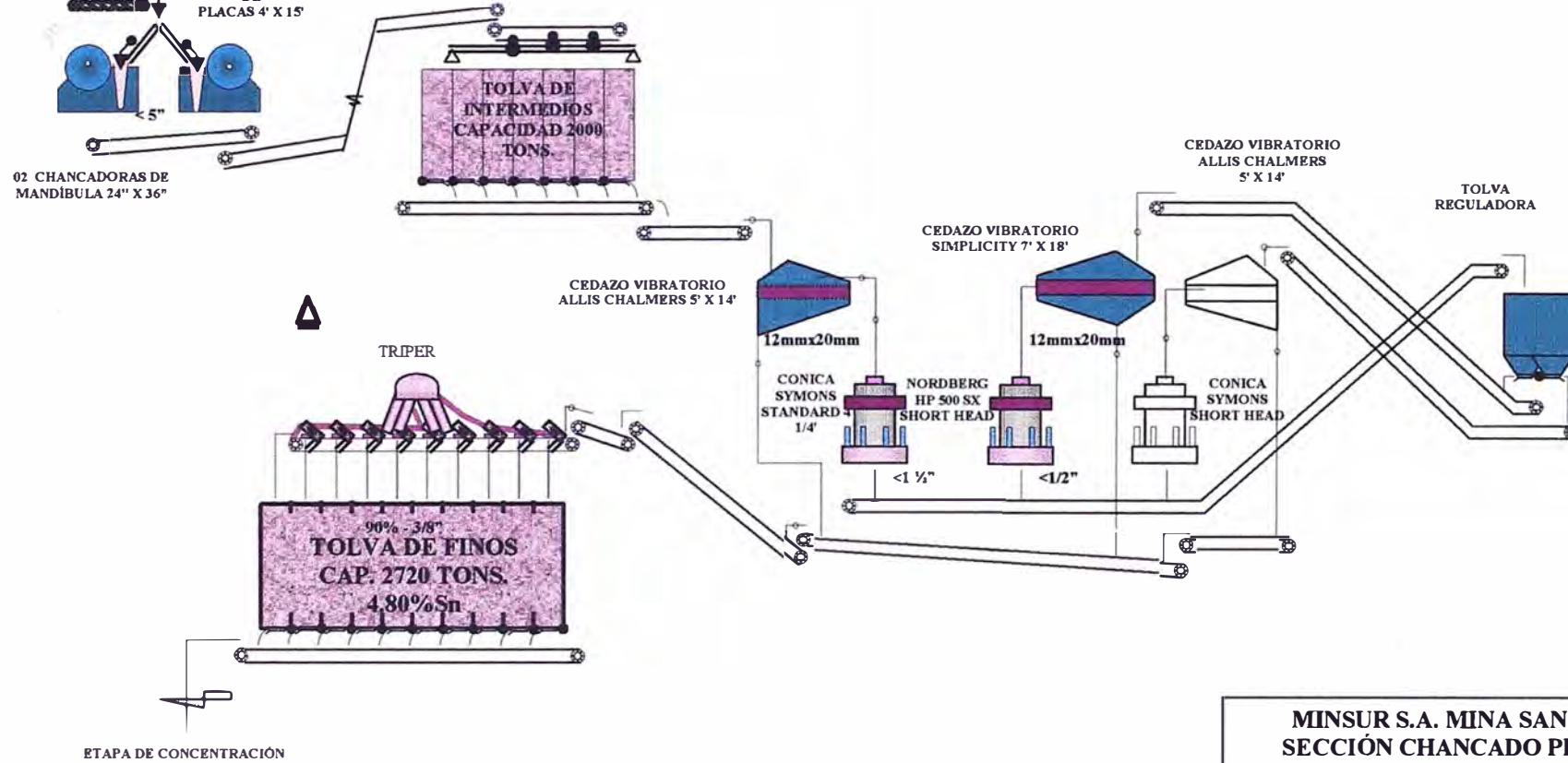
ANEXOS

CHANCADO PRIMARIO

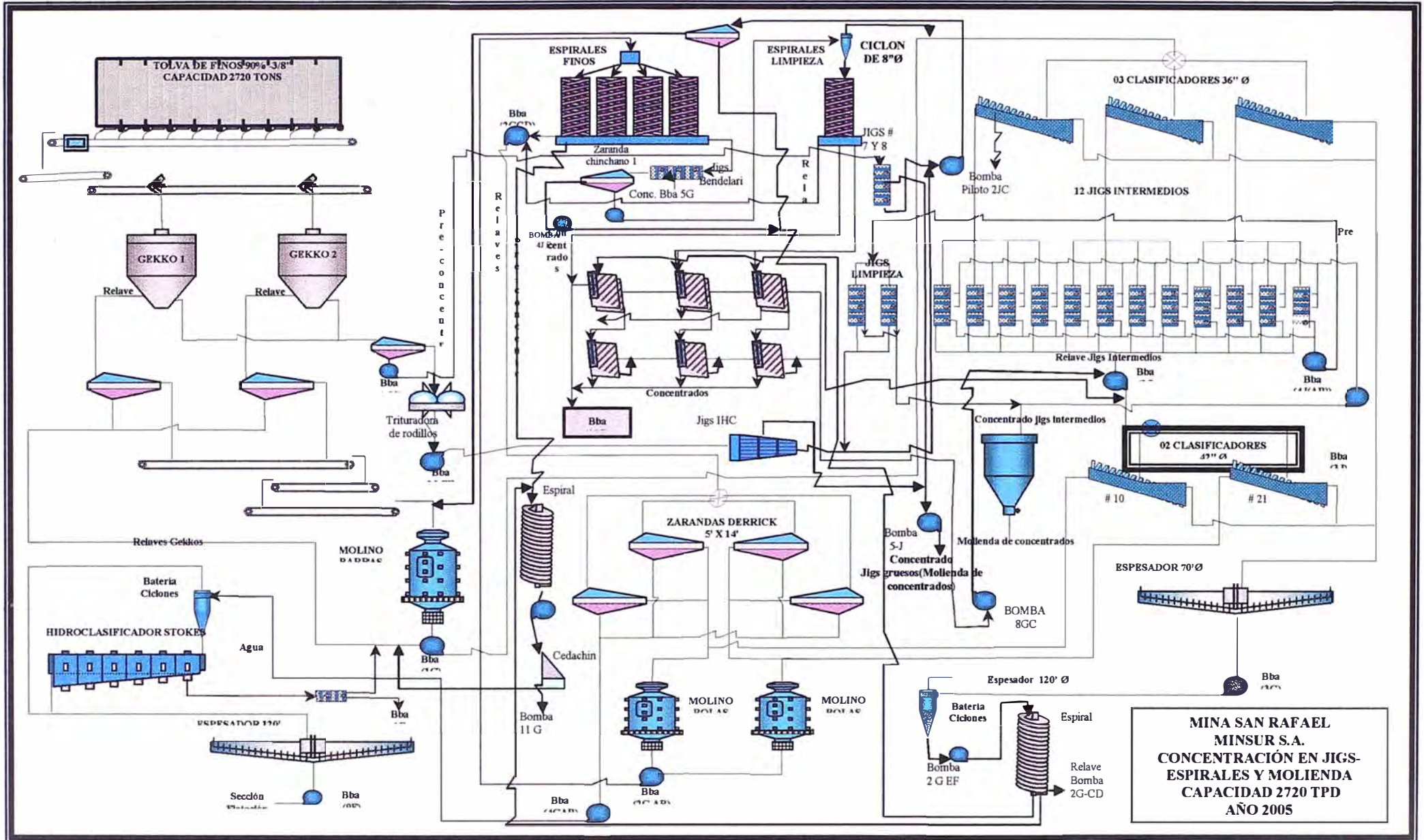


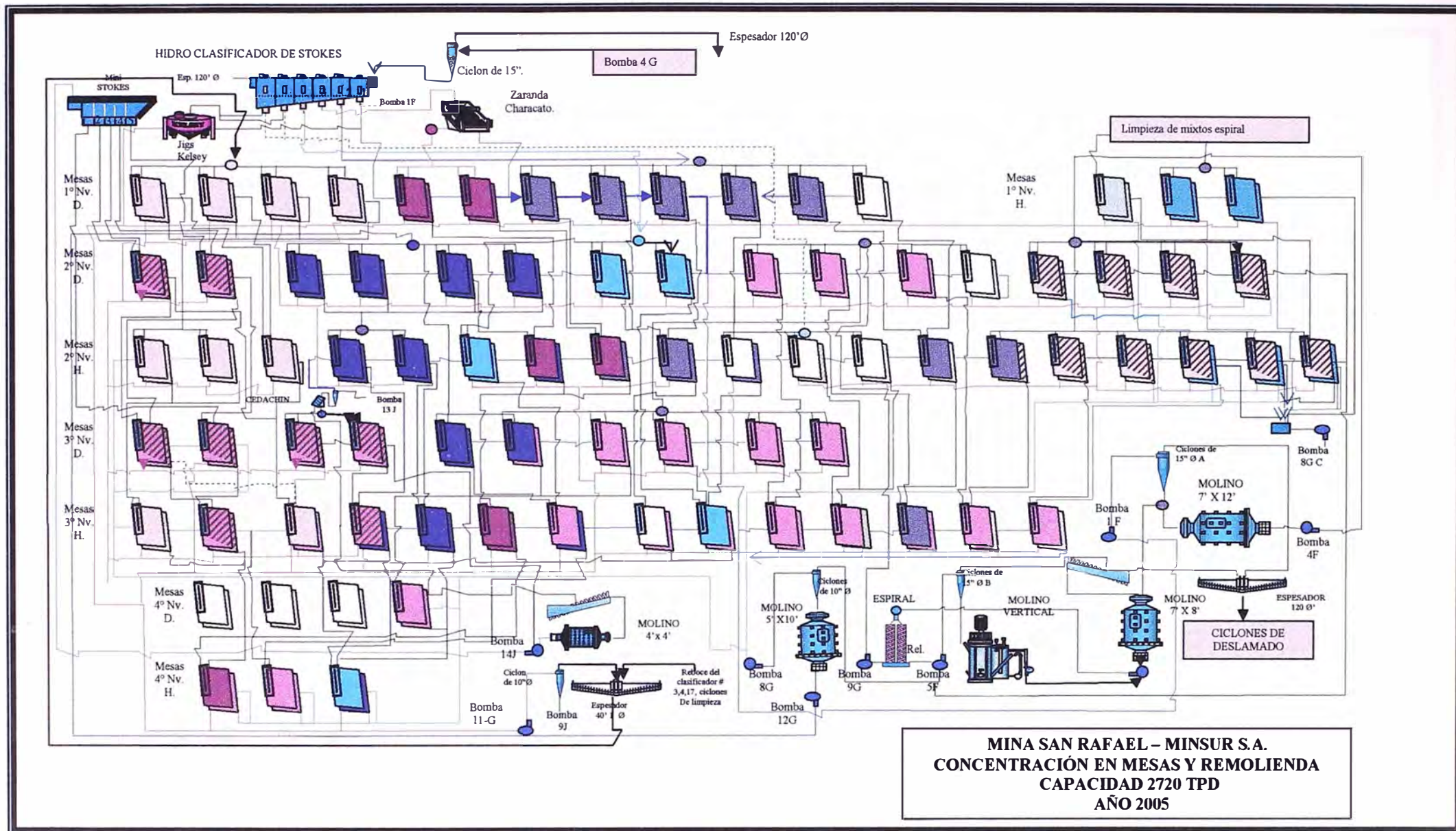
CHANCADO SECUNDARIO

CHANCADO TERCARIO

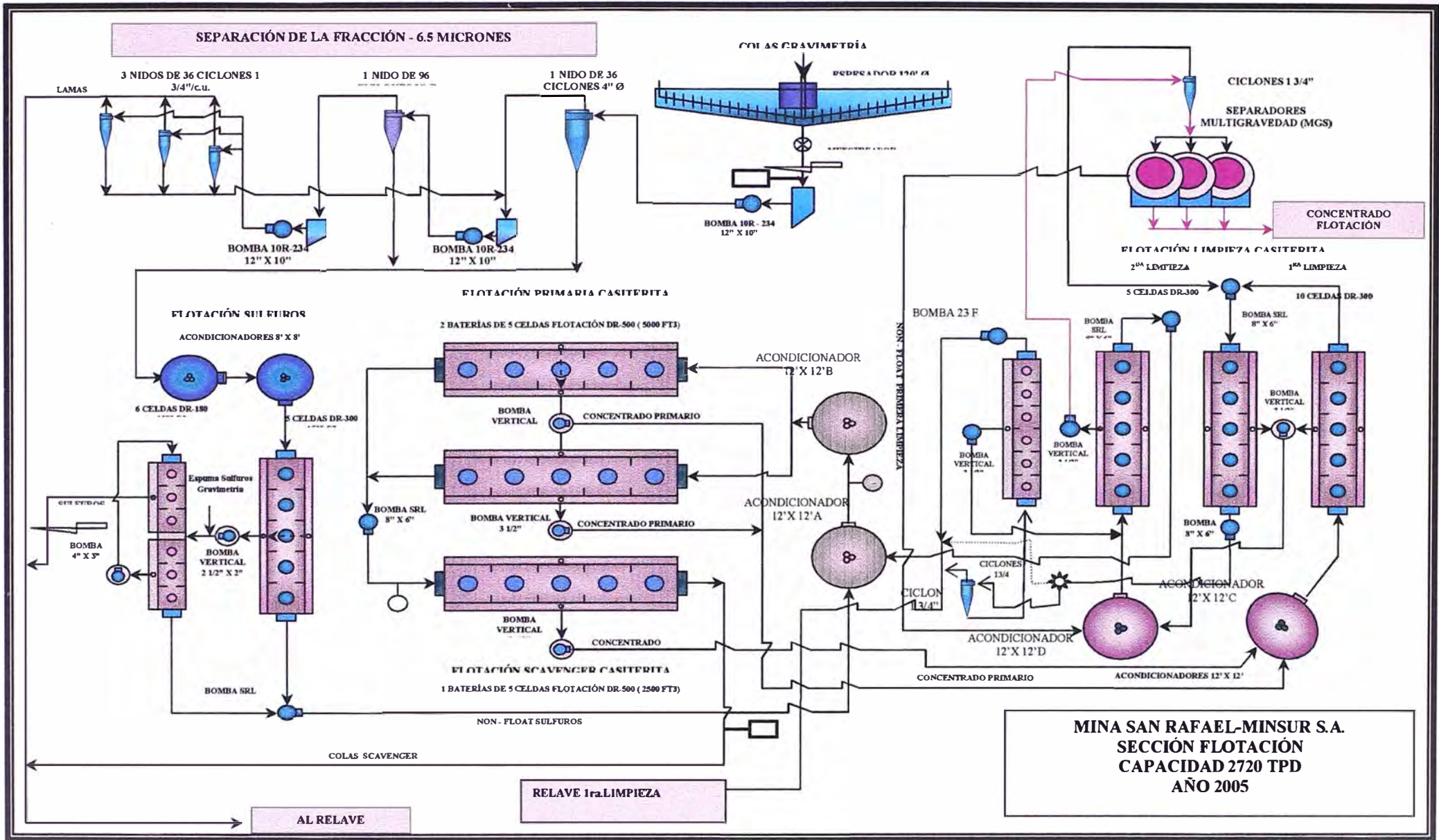


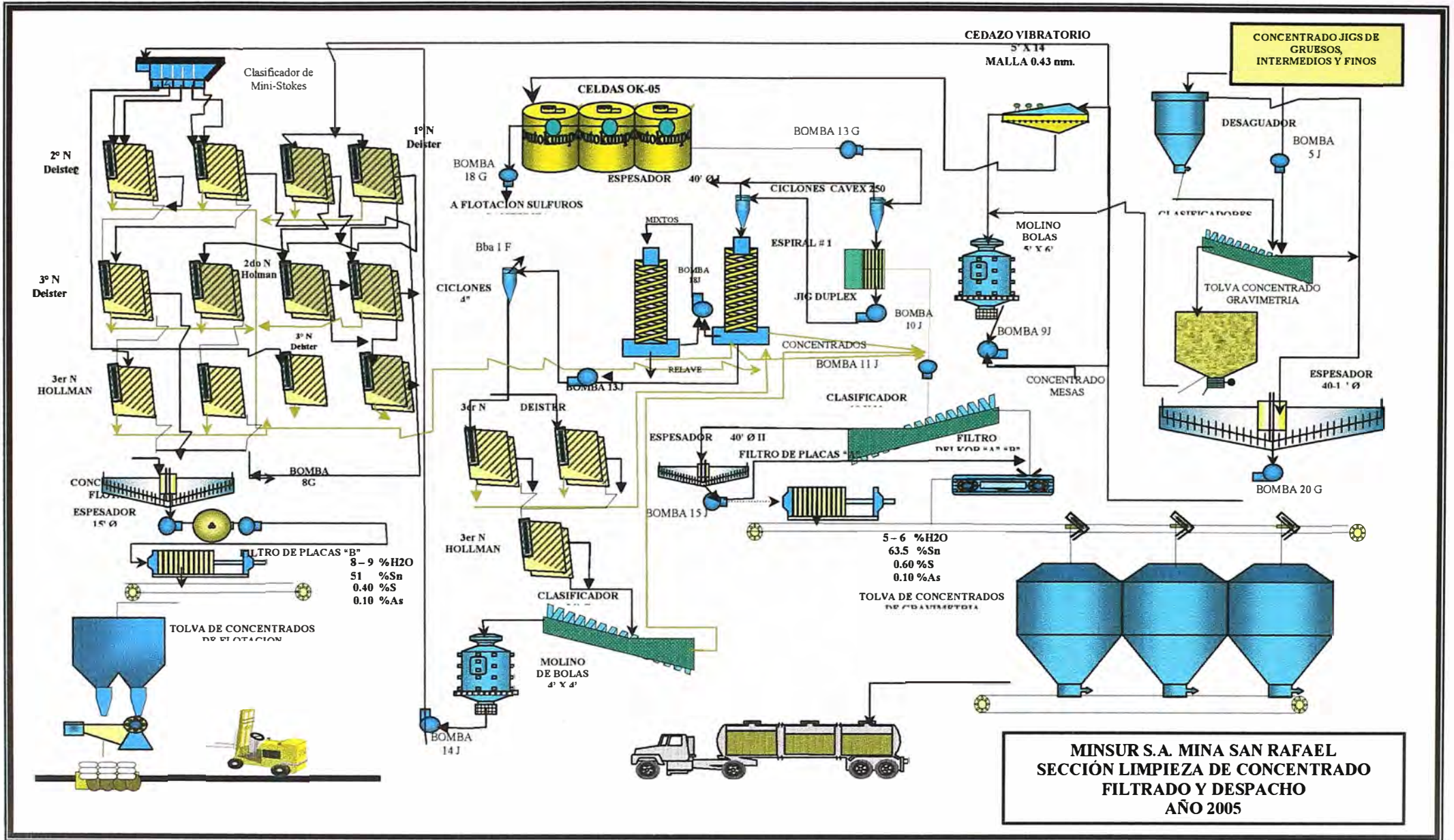
MINSUR S.A. MINA SAN RAFAEL
SECCIÓN CHANCADO PRIMARIO,
SECUNDARIO Y TERCARIO
CAPACIDAD 200 TPH
AÑO 2005





MINA SAN RAFAEL – MINSUR S.A.
CONCENTRACIÓN EN MESAS Y REMOLIENDA
CAPACIDAD 2720 TPD
AÑO 2005





BIBLIOGRAFÍA

1. Hand Book of Mineral Dressing A.F. Taggart - 1954.
2. Introducción al Procesamiento de Minerales. Errol G. Kelly – 1990.
3. Introduction to mineral processing. John M. Curie
4. Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales.
Iván Quiroz N.
5. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. George G. Brown.
6. El Distrito Minero San Rafael – Puno; Estaño en el Perú. Sociedad Geológica del
Perú N° 66. Arenas F.M.
7. Informes de Pruebas Metalúrgicas del Laboratorio de Investigaciones. Mina San
Rafael – Minsur S.A.
8. “Estudio Microscópico de una Muestra de Concentrado” – Minsur S.A. – Perú.
9. Informes del Departamento de Seguridad e Higiene Minera, Minsur S.A. – Perú.