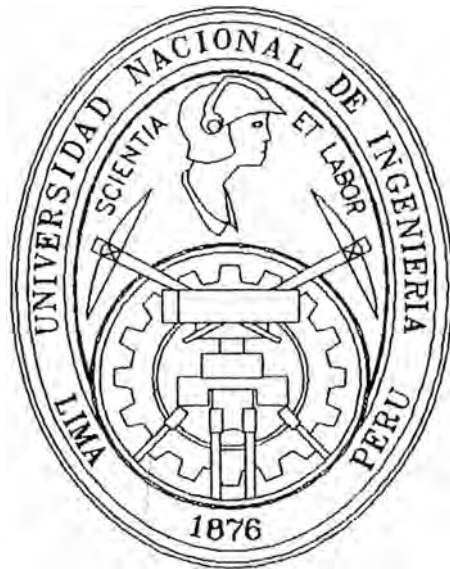


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**Experimentación Metalúrgica con la Muestra  
Alimentación al Molino 7' x 8'  
Mina San Rafael - Minsur S.A.**

**Informe de ingeniería**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA  
Erasmus León Huamán Esteban**

**LIMA - PERU**

**1997**

# INDICE

## EXPERIMENTACION METALURGICA CON LA MUESTRA

### ALIMENTACION AL MOLINO 7'x8'

### MINA SAN RAFAEL - MINSUR S.A.

Pág.

#### CAPITULO 1

##### GENERALIDADES

1.1	UBICACION Y ACCESO	1
1.2	CLIMA Y VEGETACION	1
1.3	BREVE RESUMEN HISTORICO	2
1.4	GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	2
1.5	ASPECTOS DE EXPLOTACION MINERA	5
1.5.1	EXPLOTACION	5
1.5.2	EXTRACCION	7
1.5.3	DESARROLLOS Y PREPARACIONES	7
1.5.4	PRODUCTIVIDAD	8

#### CAPITULO 2

##### DESCRIPCION DE LA PLANTA CONCENTRADORA

2.1	SECCION CHANCADO, TRITURACION Y JIGS	9
2.2	SECCION MOLIENDA, CLASIFICACION Y MESAS	10
2.3	SECCION FLOTACION DE CASITERITA	11
2.3.1	ETAPA DE REMOLIENDA Y CLASIFICACION	11

2.3.2	ETAPA DE DESLAMADO Y FLOTACION DE SULFUROS	12
2.3.3	ETAPA DE FLOTACION DE CASITERITA	12
2.4	SECCION FILTRADO Y DESPACHO DE CONCENTRADOS	13

### **CAPITULO 3**

#### **EXPERIMENTACION METALURGICA CON LA MUESTRA**

#### **ALIMENTACION AL MOLINO 7'x8'**

3.1	INTRODUCCION	14
3.2	CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA	16
3.3	EXPERIMENTACION METALURGICA	18
3.3.1	SEPARACION EN LIQUIDOS PESADOS	18
3.3.2	CLASIFICACION Y CONCENTRACION EN MESAS	22
3.3.3	PRECONCENTRACION EN JIGS Y ESPIRALES	27

### **CAPITULO 4**

#### **ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES**

4.1	TIPOS DE EMISIONES DE EFLUENTES	33
4.2	ESTADO INICIAL DEL MANEJO AMBIENTAL	33
4.3	IMPACTOS AMBIENTALES	33
4.3.1	RECURSO AGUA	33
4.3.2	RECURSO SUELO	35
4.3.3	RECURSO AIRE	35
4.4	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	36
4.4.1	CRITERIOS GENERALES DEL MANEJO AMBIENTAL	36

4.5	PLAN DE ABANDONO	37
4.5.1	CRITERIOS	37
4.6	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO	37
4.6.1	CRITERIOS	37

## **CAPITULO 5**

	COMENTARIOS SOBRE LA EXPERIMENTACION	39
--	--------------------------------------	----

## **CAPITULO 6**

	CONCLUSIONES	42
	ANEXOS COMPLEMENTARIOS	44

	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	50
--	---------------------	----

## **DEDICATORIA**

**En memoria de mi madre.**

**A mi padre y hermanos.**

**A mi esposa y mis  
hijas Katia y Brenda.**

**A mis profesores.**

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 UBICACION 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 1000km, de Arequipa a Juliaca 280 km, y de Juliaca con dirección norte por Pucará, Asillo, San Antón, Antauta has San Rafael 180 km.

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

### 1.2 CLIMA Y VEGETACION

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 HISTORICO**

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. Hirschfeld 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 1º de Agosto de 1976 pertenece a Minsur S.A. (Grupo Brecia) quién a la fecha lleva adelante las operaciones con un tratamiento diario de 1500 TMS.

### **1.4 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO**

En el área se exponen rocas de edad Paleozoica inferior hasta el Cenozoico. Los sedimentos antiguos están fuertemente plegados y fallados, comprenden: Filitas, pizarras, cuarcitas, siendo más abundantes las pizarras. Estos sedimentos son intruídos 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 filitas.

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), y estaño oscuro en la parte inferior (debajo del nivel 533).

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 Gregorio 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 crucero 200 - 07 EN de San Rafael a Quenamari.;

## MINERALOGIA

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

- **Minerales abundante:** Casiteria, estannita, arsenopirita, clorita, cuarzo, pirita, silice, 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 filitas 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 EXPLOTACION MINERA**

### **1.5.1 EXPLOTACION**

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 msnm.

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 (Shrinkage).

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 2.8% Sn y 0.60% Cu, manteniéndose el mismo sistema de minado, excepto al 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 Shrinkage, 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 TMSD en el presente año.

### **1.5.2 EXTRACCION**

Inicialmente esta actividad se realizó con locomotora hasta el 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 posteriormente fueron reemplazados por los de 20 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

### DESCRIPCION DE PLANTA CONCENTRADORA

#### 2.1 SECCION CHANCADO, TRITURACION Y JIGS

El mineral que es extraído de mina, es depositada en una tolva metálica de 100 tn, la cual tiene una parrillada de 24"x24", de aquí mediante un alimentador de orugas es alimentado a una chancadora de quijadas Comesa 24"x36", 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 dos zarandas Allis Chalmers de 5'x14'; el sobretamaño de estas caen a dos trituradoras cónica symons 5100 S.H. (A) y cónica symons 4 ¼" S.H. (B) cuya descarga se une a la descarga de la trituradora STD, formando la carga circulante de este circuito; los finos de las tres zarandas (90% - 3/8") constituyen el producto final de trituración y se almacenan en las tolvas de finos.

De la tolva de finos es alimentado a dos zarandas 5'x14' Magensa y Allis Chalmers; el sobretamaño cae a 8 jigs Bendelari 42"x42" para material grueso, obteniendo un concentrado, y las colas son llevadas a un clasificador de 48φ cuyas arenas gruesas se alimentan al molino de barras de 7'x12'; la descarga de este molino junto a los finos de las zarandas se alimentan a dos clasificadores de 36"φ; los reboses van al circuito de mesas y las arenas caen a 8jigs Bendelari 42"x42" de intermedios, donde se obtiene concentrados. Las colas son bombeadas a dos clasificadores de 36"φ.

El concentrado obtenido en esta sección tiene una ley de 54% y recuperación de 55%. Los concentrados de esta sección llega a un clasificador 36"φ ; el rebose de este es alimentado al espesador de 40'φ del circuito de filtrado, en tanto que las arenas se alimentan al molino comesa 5'x5', para efectuar una molienda controlada con el objeto de liberar los sulfuros presentes..

El concentrado del molino 5'x5' pasa a un circuito de celdas para flotar los sulfuros. Estos son enviados al relave final en tanto que el producto no flotado de estas celdas son transportadas a la sección de filtrados.

## **2.2 SECCION MOLIENDA , CLASIFICACION Y MESAS**

El molino 8'x8' moltura las arenas de los clasificadores 36"φ el cual es descargado a 4 jigs duplex para la recuperación de casiterita libre. El relave de estos es bombardeado al jig IHC y el relave de este es alimentado a las zarandas Derrick que trabaja en circuito cerrado con dicho molino y jigs.

Los productos finos de las zarandas Derrick y descarga del espesador 70'φ constituyen el producto final de la molienda.

El control de peso de mineral alimentado a la planta se realiza en está sección mediante una balanza automática nuclear Ronan. La capacidad de molienda es de 1500 TMSD con una ley promedio de 5.5%

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 compartimientos para ser clasificados en rangos de diferentes tamaños que van a ser distribuidos en 6 grupos de mesas. La fracción fina es cicloneada nuevamente en 20 ciclones de

4"φ ubicada en el tercer nivel de mesas. La parte gruesa de esta se alimenta a un grupo de mesas y los finos a la planta de flotación de casiterita.

La concentradora cuenta actualmente con 120 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 de bolas 7'x8' y 8'x8' cuyos productos son repasados en espirales y mesas.

El concentrado obtenido en mesas tiene una ley de 51% y una recuperación de 20%.

## **2.3 SECCION FLOTACION DE CASITERITA**

### **2.3.1 ETAPA DE REMOLIENDA Y CLASIFICACION**

Los relaves de la planta gravimétrica ingresan a un circuito de clasificación en hidrociclones de 8"φ(A), y un clasificador helicoidal de 60"φ ; los over flows de estos equipos de estos equipos constituyen el producto acabado de la etapa, alimentados al espesador de 80'φ.

Las arenas del clasificador helicoidal 60"φ es alimentado al molino Comesas 7'x8' cuya descarga es alimentado a un grupo de espirales duplex. El pre-concentrado de los espirales es alimentado a un grupo de mesas Holman del primer nivel, la cola y mixtos es alimento a hidrociclones de 8"φ(B), cuyo under flow es alimentado al molino Allis Chalmers 8'x8' y el over flow retorna al clasificador helicoidal 60"φ. La descarga del molino Allis Chalmers 8'x8' es alimentado a un grupo de mesas.



### 2.3.2 ETAPA DE DESLAMADO Y FLOTACION DE SULFUROS

El over flow del clasificador de 60"φ y de la batería de ciclones de 8"φ(A) es alimentado al espesador de 80'φ, cuyo producto espesado es alimentado a 2 baterías de hidrociclones 4"φ. El over de estos ciclones es bombeado a una batería 2"φ y el over de este es bombeado a la batería de hidrociclones 1¾" φ y el over de este a relave final. El under flow de los ciclones de 4", 2" y 1 ¾" φ y el over de este a relave final. El under flow de los ciclones 4", 2" 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 son

- |   |              |
|---|--------------|
| - Colector, Isopropilico (Xantato Z - 11)   | 0.034 Kg/TMS |
| - Espumante, Metil Isobutil Carbinol (MIBC) | 0.096 Kg/TMS |

### 2.3.3 ETAPA DE FLOTACION DE CASITERITA

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

Los reactivos utilizados son

- |   |              |
|---|--------------|
| - Dispersante de lamas, Fluosilicato de Sodio (Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> ) | 0.162 Kg/TMS |
| - Regulador de PH, Acido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )              | 0.322 Kg/TMS |
| - Colector espumante, Aeropromoter 845 (AP-845)                                   | 0.123 Kg/TMS |

El concentrado obtenido es de 42% Sn con un contenido de impurezas de As menor a 0.25%, y Cu menor a 0.20%. La recuperación promedio es de 11%.

## 2.4 SECCION FILTRADO Y DESPACHO DE CONCENTRADOS

Los concentrados gravimétricos producidos, 140 TMSD, reciben una limpieza por flotación de sulfuros acompañantes, después del cual son alimentados a un clasificador helicoidal 42"φ ; los finos alimentan al espesador de 40'φ y las arenas, que son los concentrados, al filtro de banda horizontal Delkor para obtener un concentrado con humedad de 6-8% H<sub>2</sub>O.

El concentrado obtenido por flotación, 20 TMSD con 26% de sólidos, es alimentado al espesador de 40'φ, que elimina el agua hasta 70% de sólidos, el cual se alimenta al filtro Prensa Shriver de 9 placas, dando un concentrado con 12-15% H<sub>2</sub>O.

Junto a este filtro opera el filtro de discos de 6'φ x 4 discos, que entrega un concentrado con 12 a 15% H<sub>2</sub>O.

Los concentrados producidos en las áreas de jigs, mesas de flotación son almacenados en dos tolvas de 40 TM de capacidad cada una, con una ley promedio de 52% Sn para luego ser ensacado en balanzas automáticas de 50 Kg. por saco, de tal forma que constituyan el lote 400 sacos (20 TM).

Paralelamente a este trabajo se realiza la toma de muestras al 20%, es decir se toma una muestra del contenido de un saco, cada cinco que se embolsan.

Actualmente se despacha un promedio de 120 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 de computo, 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

### EXPERIMENTACION METALURGICA CON LA MUESTRA

#### ALIMENTACION AL MOLINO 7'X8'

##### 3.1 INTRODUCCION

La experimentación realizada con la muestra alimentada al molino 7'x8' que representa a las colas del circuito gravimétrico de mesas tiene una granulometría mayor a 200# (0.074 mm.) y una ley del 2.10% Sn.

Los análisis densimétrico y microscópico establecieron que la muestra presenta un alto porcentaje de casiterita libre (aproximadamente 35%) y que existe un 50% peso de material con un bajo contenido de estaño (0.33%).

Para recuperar la casiterita libre, se efectuaron pruebas de preconcentración en espiral y concentración en mesas con la muestra en su granulometría original, es decir sin recurrir a la molienda, y se logró obtener un concentrado con una ley del 41% Sn y una recuperación del 31%.

Simultáneamente, las pruebas en mesa mostraron la posibilidad de descartar como cola final una fracción que representa el 31% de peso con una ley del 0.53% Sn. Estos últimos resultados se deberán analizar económicamente con la proyección de maximizar los ingresos en lugar de la recuperación.

Con el propósito de recuperar la casiterita libre y evitar su pulverización en el molino y su pérdida en el circuito, se deberá ajustar por una parte la sección de mesas y por otra, se deberá introducir al flujograma actual un sistema de preconcentración - concentración con el cual se aumentará la recuperación de la planta en unos 3 a 4 puntos.

La primera parte de la planta de San Rafael comprende la concentración en jigs con carga triturada menor a 10 mm., en los que se recupera la casiterita gruesa, seguida de la concentración de mesas con carga molida menor a 1 mm., en la cual se recupera la casiterita de grano medio a fino.

El conjunto de las colas mesas, de esta primera etapa, se colecta en una canaleta central y se lleva al circuito de clasificación, (formando por bombas, ciclones de 8"φ y clasificador de espiral) en el cual el material se separa en dos fracciones. La fina, que debe menor a 150/200#, se lleva a la sección flotación de casiterita y la fracción gruesa, mayor a 150/200#, que se alimenta al molino 7'x8' para liberar valores asociados de casiterita-ganga.

La descarga del molino 7'x8', con casiterita liberada, se clasifica y se concentra en un circuito de mesas, independiente del primero, en el que se obtiene un concentrado y una cola, producto este último que retorna al circuito de clasificación para cerrar el circuito de remolienda (ver figura 1).

Los productos de la clasificación del conjunto de las colas en fracciones gruesas y finas (mayor y menor a 150/200#) presentan los siguientes hechos :

- La fracción gruesa que se alimenta al molino 7'x8' muestra partículas de casiterita libres de diferentes tamaños que deben ser recuperados antes de sobremolerlas y ocasionar pérdidas.
- La fracción fina que pasa a la Sección Flotación de casiterita presenta partículas mayores a 200 mallas en el que se encuentran granos mixtos de

casiterita - ganga, que no son necesarios reducirlos a un tamaño menor a 200 mallas para procesarlas en la flotación de estaño.

El presente trabajo tiene por objeto establecer el comportamiento de la fracción gruesa para determinar el proceso y el porcentaje de estaño que se puede y debe recuperar antes de efectuar la molienda con el objetivo de mejorar la recuperación total de la planta.

Con relación a la fracción fina, deben efectuarse los ajustes necesarios en la etapa de clasificación con los ciclones de 8"φ para evitar que partículas gruesas mayores a 150/200 mallas pasen a la flotación de casiterita..

### **3.2 CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA**

La muestra que se recibió tiene un peso de 100 Kg. y proviene de un muestreo sistemático realizado en la planta el 1ro. de Febrero de 1997, por ingenieros de la planta San Rafael (ver figura 1).

El análisis químico del común dio un valor de 2.10% y la distribución de tamaños y contenidos de estaño se muestra en la Tabla 1. De la tabla y la observación de las diferentes fracciones se tiene

- El circuito de clasificación (Ver figura 1) para separar la fracción mayor a 200# de la menor a 200# efectúa un buen trabajo para la fracción gruesa, ya que solo se tienen un 3% peso de partículas con tamaño inferior a 200#.
- Los diferentes productos de la clasificación muestran claramente la presencia de casiterita libre con tamaños desde 0.8 mm. hasta 0.1 mm. y aún menores que escaparon al procesamiento en mesas. Este hecho es frecuente y común en

**TABLA 1 ANALISIS GRANULOMETRICO Y DE DISTRIBUCION DE ESTAÑO**

**DE LA MUESTRA ALIMENTACION AL MOLINO 7' X 8'**

<b>FRACCION, Serie U.S.</b>	<b>%PESO</b>	<b>%PESO ACUMULADO</b>	<b>%Sn.</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%DIST. ACUMUM</b>
+20#, 840 micr.	1.28	1.28	2.27	1.33	1.33
+30#, 590 micr.	4.61	5.89	2.24	4.74	6.07
+40#, 420 micr.	8.99	14.88	2.08	8.57	14.64
+50#, 297 micr.	21.5	36.38	1.78	17.55	32.19
+50#	36.38		1.93	32.19	
+ 70#, 210 micr.	28.70	65.08	1.81	23.82	56.01
+100#, 149 micr.	19.79	84.87	2.17	19.69	75.70
+140#, 105 micr.	9.12	93.99	2.67	11.16	86.86
+200#, 74 micr.	2.89	96.88	3.56	4.71	91.57
-50# + 200#	60.50		2.14	59.38	
+270#, 53 micr.	1.23	98.11	4.65	2.62	94.19
+325#, 44 micr.	0.31	98.42	3.28	0.47	94.66
-325#	1.58	100.00	7.37	5.34	100.00
-200#	3.12		5.89	8.43	
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>		<b>2.18</b>	<b>100.00</b>	

los circuitos gravimétricos, son difíciles de evitarlos y más aún si el material de alimentación es de alta ley como es el caso de San Rafael.

### **3.3 EXPERIMENTACION METALURGICA**

La experimentación metalúrgica se diseñó con el objeto de establecer

- El porcentaje de casiterita que puede recuperarse en un producto con ley similar al concentrado gravimétrico actual.
- El porcentaje de material con baja ley de estaño, por ejemplo menor a 0.5% Sn, que eventualmente podría descartarse como cola final para aliviar de carga al circuito de remolienda y retratamiento de mesas.

Las pruebas que se programaron y efectuaron son las siguientes

- Separación en líquidos pesados a densidades de 2.8 y 2.7 gr/cc.
- Clasificación y concentración en mesas
- Preconcentración empleado jigs y/o espirales.

#### **3.3.1 SEPARACION EN LIQUIDOS PESADOS**

Para la prueba se empleó tetra - bromo - etano (TBE) que tiene una densidad original de 2.98 gr/cc., la misma que se reguló a 2.8 y 2.7 gr/cc empleando tetracloruro de carbono que tiene una densidad de 1.5 gr/cc.

Una muestra con un peso de 2.4 Kg. fue clasificada en húmedo empleando cedazos serie U.S. de 50 y 200 mallas , las fracciones resultantes se secaron y pesaron.

Los productos +50# y -50# +200# se alimentaron por separado a un baño de densidad 2.7 gr/cc., donde las fracciones livianas se apartaron y las fracciones pesadas se volvieron a pasar por un baño de densidad 2.8 gr/cc. Para dar lugar a productos con densidad entre 2.7 a 2.8 gr/cc. y uno pesado con densidad mayor a 2.8

Los productos de la separación después de ser secados y pesados, se muestrearon para el análisis químico por estaño.

Los balances del proceso se muestran en las Tablas 2,3,4 y 5.

De la experimentación efectuada y la observación microscópica de los productos se concluye

- Existe un 28% peso de material con un peso específico mayor a 2.8 gr/cc. Esta fracción está mayoritariamente conformada por casiterita, clorita, biotita, turmalina y sulfuros. También se observó la presencia de minerales minoritarios como la fluorita y siderita.
- La casiterita se encuentra libre en un 50% y el resto se encuentra asociada mayoritariamente a cuarzo y clorita en diferentes tipos de enclavaduras que van desde asociaciones simples de fácil liberación a tipo diseminado de difícil liberación.
- La casiterita en la fracción intermedia se halla asociada principalmente con la clorita y en tipos de entrecimiento de inclusión diseminada y laminado que requieren un grado de molienda menor a 200# para su liberación.
- Existe un 50% peso de material liviano, con peso específico menor a 2.7 gr/cc. y con bajo contenido de estaño, menor a 0.35% Sn. Las mayores especies mineralógicas presentes son el cuarzo libre, cuarzo turmalina, cuarzo clorita,



**TABLA 2 BALANCE DE LA CLASIFICACION**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>
+50#	37.58	1.83	31.22
-50# + 200#	58.95	2.22	59.41
-200#	3.47	5.95	9.37
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>2.20</b>	<b>100.00</b>

**TABLA 3 SEPARACION EN LIQUIDOS PESADOS****FRACCION +50#**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Pesado > 2.8	29.43	11.06	5.16	83.08	25.94
2.7 <Interm<2.8	19.12	7.19	0.81	8.48	2.65
Liviano < 2.7	51.45	19.33	0.30	8.44	2.63
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>37.58</b>	<b>1.83</b>	<b>100.00</b>	<b>31.22</b>

**TABLA 4 SEPARACION EN LIQUIDOS PESADOS****FRACCION -50# + 200#**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Pesado > 2.8	29.50	17.39	6.40	85.15	50.59
2.7 <Interm<2.8	13.76	8.11	0.95	5.89	3.50
Liviano < 2.7	56.74	33.45	0.35	8.96	5.32
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>58.95</b>	<b>2.22</b>	<b>100.00</b>	<b>50.41</b>

**TABLA 5 RESUMEN METALURGICO**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>
Pesado >2.8, + 50#	11.06	5.16	25.94
Pesado >2.8, + 200#	17.39	6.40	50.59
<b>TOTAL Pesado &gt; 2.8</b>	<b>28.45</b>	<b>5.92</b>	<b>76.53</b>
Item.>2.8, + 50#	7.19	0.81	2.65
Item.>2.8, + 200#	8.11	0.95	3.50
<b>TOTAL Interm.&lt; 2.8</b>	<b>15.30</b>	<b>0.88</b>	<b>6.15</b>
Liviano<2.7, + 50#	19.33	0.30	2.63
Liviano<2.7, + 200#	33.45	0.35	5.32
<b>TOTAL Liviano&lt;2.7</b>	<b>52.78</b>	<b>0.33</b>	<b>7.95</b>
-200#	3.47	5.95	9.37
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>2.20</b>	<b>100.00</b>

feldespato y rocas. Se observó la presencia minoritaria de cuarzo - sulfuros, casiterita - clorita y casiterita - cuarzo, estos dos últimos en tipos de asociación de inclusión diseminada de muy difícil liberación.

- El alto porcentaje de material con bajo contenido de estaño y con un peso específico relativamente bajo, advierte la necesidad de experimentar un proceso que de lugar a descartar esta fracción con el propósito de aliviar de carga al circuito actual de retratamiento.

### 3.3.2 CLASIFICACION Y CONCENTRACION EN MESAS

La carga, con un peso de 50 Kg. en su granulometría original, se clasificó en húmedo empleando un cedazo circular Sweco de 16"φ provisto de mallas equivalentes a la serie U.S. 60 y 200#.

Las fracciones resultantes +60# y +200# se concentraron en mesa con un repaso de la segunda; en el transcurso de las pruebas se tomó la previsión de cortar además de la ceja de concentrado, una segunda 1, segunda 2, cola 1, cola 2 de acuerdo a la ubicación de la carga sobre la superficie de la mesa. El propósito de este corte múltiple es el de establecer el punto de descarte apropiado que daría lugar a obtener el producto con el menor contenido de estaño posible para separarlo como cola final.

La fracción -200# se procesó en mesa con un repaso de la segunda para obtener como productos finales un concentrado y una cola.

Los concentrados mesas se juntaron y se procedió a la flotación de sulfuros en granulometría original y a pH natural (6.5).

Para el efecto, se emplearon los reactivos convencionales como el sulfato de cobre para activar los sulfuros, isopropilxantogenato de sodio (Z - 11) como colector y Dow Froth 1012 como espumante.

Los balances de las diferentes etapas del proceso se aprecian en las Tablas de la 6 a la 11.

De la experimentación y los balances metalúrgicos se tiene

- La carga de alimentación al molino 7'x8' tiene un alto porcentaje de casiterita libre, que escapó al circuito de concentración en mesas.
- El concentrado obtenido en mesas analizó 41% Sn, después de la separación de los sulfuros por flotación en granulometría original, que representa una recuperación del 31% en la etapa.
- Existe una fracción, 31% peso, que corresponde al conjunto de Colas 2 que tiene un contenido de 0.53% Sn y que eventualmente podría descartarse como cola final.
- No ha sido posible alcanzar el porcentaje peso ni la ley (52% peso y 0.33% Sn) del producto liviano de la separación en líquidos pesados, debido probablemente a la presencia de una fracción ganga "semi-pesada" formada por clorita-turmalina con un peso específico entre 3.0 a 3.5 gr./cc. que impide una clara separación de la ganga liviana sobre la mesa.
- La fracción que realmente requiere de una remolienda para liberar la casiterita asociada a los minerales ganga, es la representada en el balance por el conjunto de segundas mas las colas 1. Este producto tiene una granulometría mayor a 200#, un porcentaje peso del 62% y un contenido de estaño de 1.86%.

**TABLA 6 CLASIFICACION EN CEDAZO CIRCULAR****SWECO**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>
+60#	50.84	1.75	43.15
-60# + 200#	44.91	2.06	44.86
-200#	4.25	5.82	11.99
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>2.06</b>	<b>100.00</b>

**TABLA 7 CONCENTRACION EN MESA, FRACCION +60#**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Concentrado	1.08	0.55	24.82	15.28	6.59
Segunda 1	23.48	11.94	3.35	44.82	19.34
Segunda 2	24.21	12.31	1.25	17.24	7.44
Cola 1	23.13	11.76	0.99	13.05	5.63
Cola 2	28.10	14.28	0.60	9.61	4.15
<b>Cab. Calcula.</b>	<b>100.00</b>	<b>50.84</b>	<b>1.75</b>	<b>100.00</b>	<b>43.15</b>

**TABLA 8 CONCENTRACION EN MESA, FRACCION +200#**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Concentrado	2.06	0.92	37.40	37.39	16.77
Segunda 1	17.88	8.03	3.66	31.76	14.25
Segunda 2	26.69	11.99	1.16	15.02	6.74
Cola 1	15.05	6.76	0.97	7.09	3.18
Cola 2	38.32	17.21	0.47	8.74	3.92
Cab. Calcula.	100.00	44.91	2.06	100.00	44.86

**TABLA 9 CONCENTRACION EN MESA, FRACCION -200#**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Concentrado	8.11	0.34	50.14	69.85	8.38
Cola 1	91.89	3.91	1.91	30.15	3.61
Cab. Calcula.	100.00	4.25	5.82	100.00	11.99

**TABLA 10 FLOTACION SULFUROS DE CONCENTR. MESAS**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%P.TOTAL</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>	<b>%D.TOTAL</b>
Sulfuros	13.61	0.25	3.75	1.41	0.45
Concent. Sn	86.39	1.56	41.20	98.59	31.29
Conc. Mesas	100.00	1.81	36.1	100.00	31.74

**TABLA 11 RESUMEN DE CONCENTRACION EN MESAS**

<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>
Concentrado final	1.56	41.20	31.29
sulfuros	0.25	3.75	0.45
Segundas (S1 + S2)	44.27	2.23	47.77
Colas 1	18.52	0.98	8.81
Segundas + Colas	62.79	1.86	56.58
Cola mesa - 200#	3.91	1.91	3.61
Colas 2	31.49	0.53	8.07
Cabeza calculada	100.00	2.06	100.00

- La cola mesa -200# tiene una ley de estaño alta. Es conocido el hecho de que una mesa de concentración no es el equipo adecuado para la recuperación de casiterita fina. Sin embargo este producto en la planta pasará al circuito de flotación de casiterita para la recuperación adicional de estaño.

### 3.3.3 PRECONCENTRACION EN JIGS Y ESPIRALES

El programa original se diseñó para emplear jig y espiral para las pruebas de preconcentración, en razón de que no se disponían de jigs en el período de la experimentación, las pruebas se efectuaron empleando un espiral Reichert LG-70 de Minerals Deposits Ltda. 5 espiras.

El material se alimentó con un porcentaje de sólidos del 25% por peso y se obtuvo un preconcentrado 1, una segunda y una cola. La segunda se volvió a pasar por el espiral bajo las mismas condiciones y logró un preconcentrado 2, una segunda y una cola.

Las segundas de ambas etapas se juntaron así como las colas del primer y segundo pasos para el pesado y análisis químico de los productos.

El balance metalúrgico del proceso se muestra en la Tabla 12.

Los resultados de la prueba son interesantes y muestran la factibilidad de preconcentrar el material en un producto que representa el 16% del peso y que contiene la mitad del estaño total, 51%. Esta fracción pasará en una operación industrial, a la etapa de concentración en mesas para obtener un producto de calidad similar al obtenido en el proceso “clasificación y concentración en mesas” (punto 3.3.2).

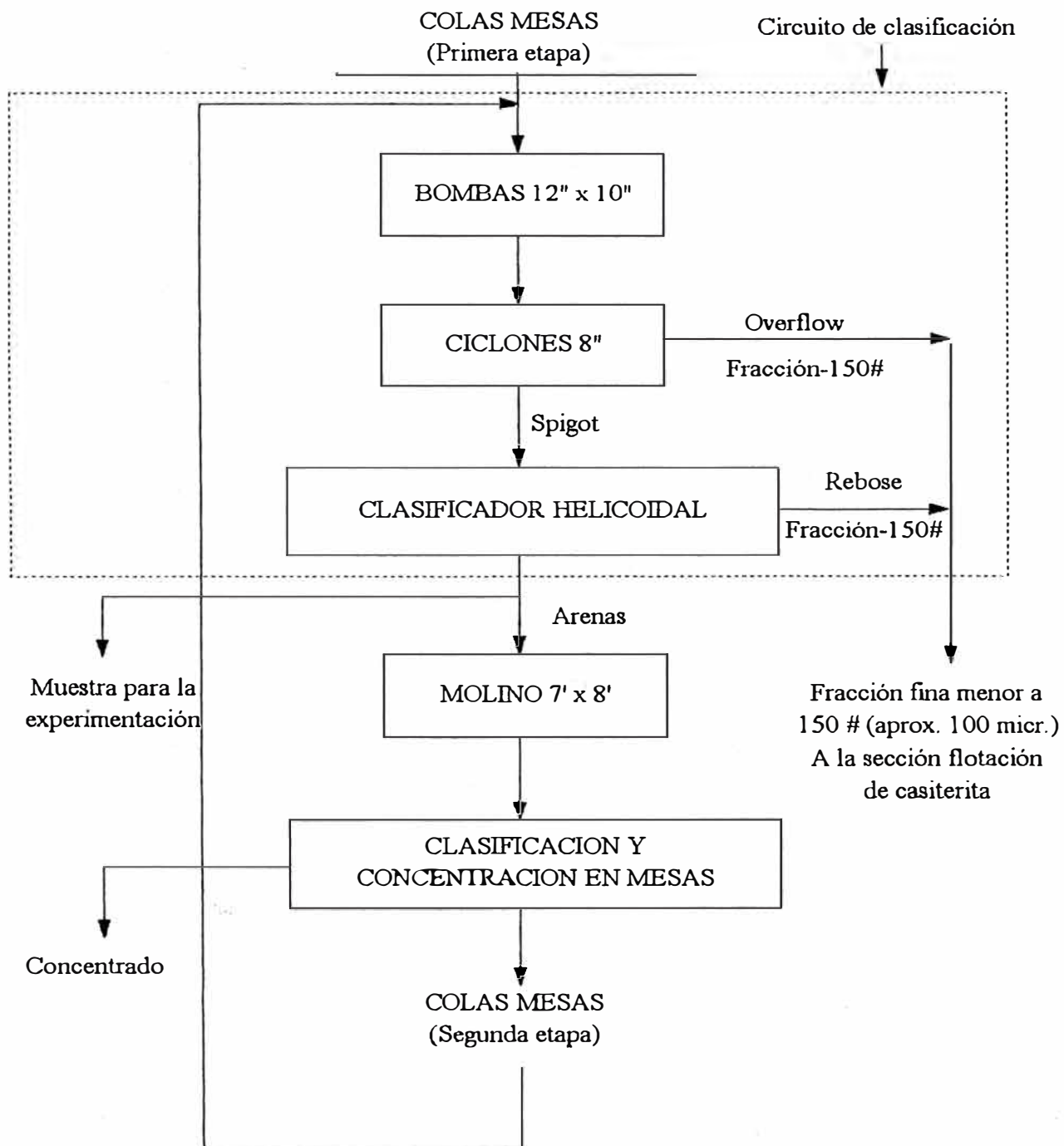


**TABLA 12 BALANCE METALURGICO DE LA**  
**PRECONCENTRACION EN ESPIRAL**

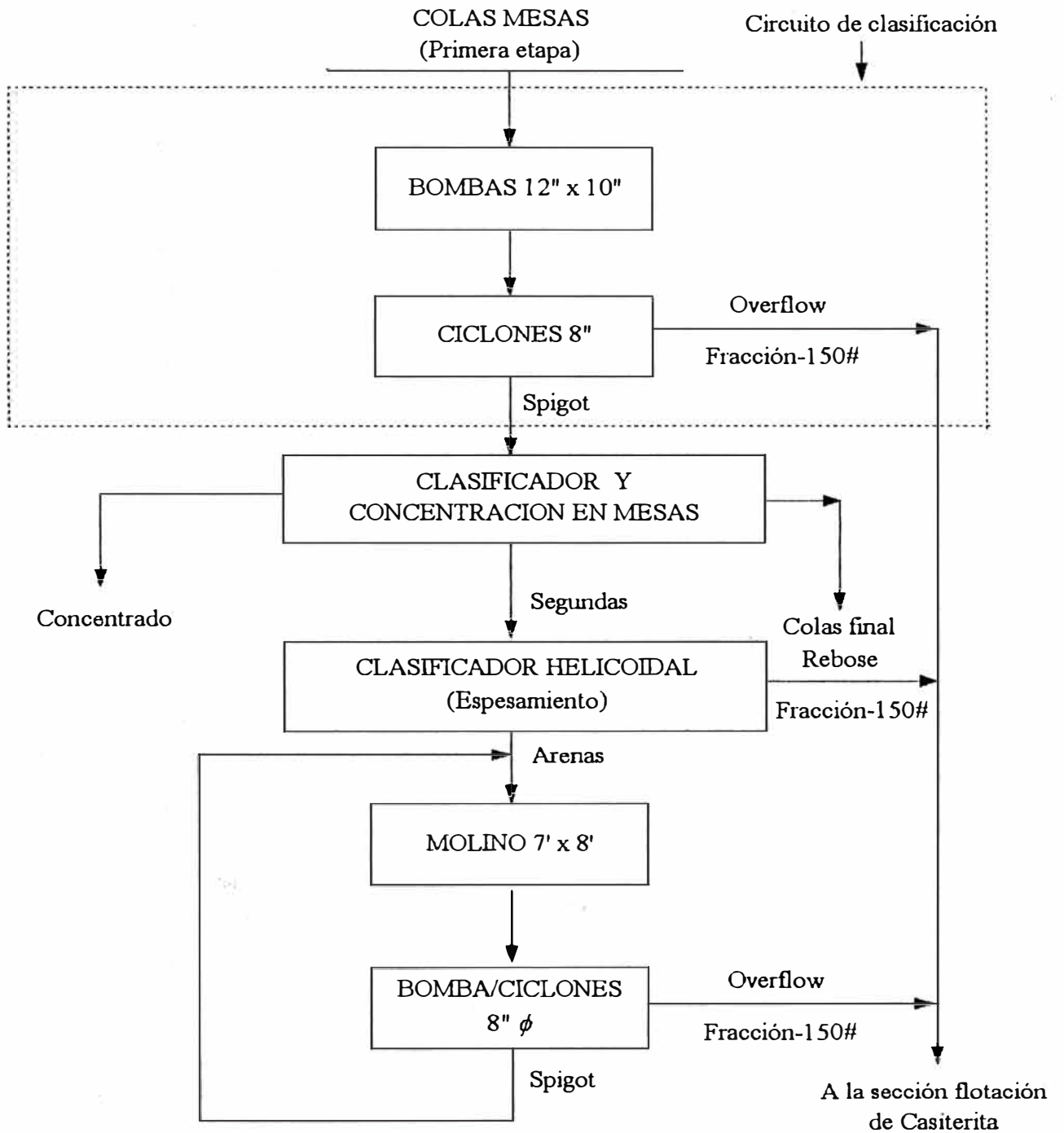
<b>PRODUCTO</b>	<b>%PESO</b>	<b>%Sn</b>	<b>%DIST.</b>
Preconcentrado 1	4.36	15.82	33.35
Preconcentrado 2	11.38	3.36	18.49
<b>TOTAL Preconc.</b>	<b>15.74</b>	<b>6.81</b>	<b>51.84</b>
Segundas	25.59	1.99	24.61
Colas	58.67	0.83	23.55
<b>Cabeza calculada</b>	<b>100.00</b>	<b>2.07</b>	<b>100.00</b>

La segunda y la cola espiral después de separar el exceso de agua se alimentarían al molino 7'x8' de remolienda (Ver figura 3)

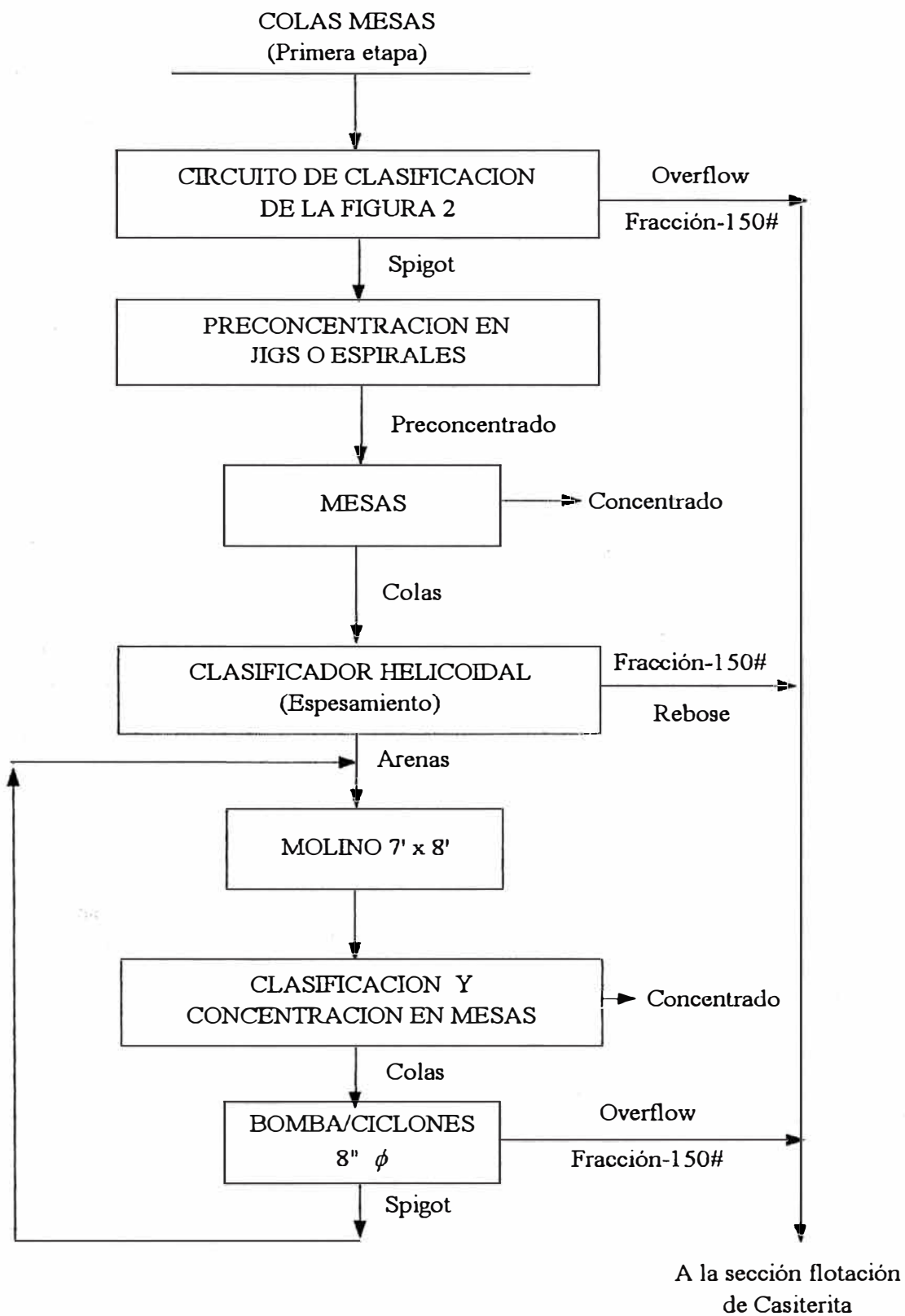
**Fig. 1 FLUJOGRAMA ACTUAL DE CLASIFICACION, REMOLIENDA Y RETRATAMIENTO**



**Fig. 2 CONCENTRACION EN MESA PARA RECUPERAR LA CASITERITA LIBRE Y DESCARTAR COLA FINAL**



**Fig. 3 PRECONCENTRACION EN JIGS/ ESPIRALES PARA RECUPERACION DE CASITERITA LIBRE**



## **CAPITULO 4**

### **ASPECTOS MEDIO-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 DEL 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 (Ver Tabla 13).

#### **4.3 IMPACTOS AMBIENTALES**

##### **4.3.1 RECURSO 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 físico química y bacteriológica, pudiendo ser modificada esta de acuerdo al destino que se le de fijándose criterio de

**TABLA 13**

**ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD EN EL AREA DE LA UNIDAD DE  
SAN RAFAEL PARA EFLUENTES HIDRICOS**

<b>Polucinante en el cuerpo receptor</b>	<b>Dispositivo Legal</b>	<b>L.M.P./Cuerpo Receptor</b>	<b>L.M.P./Cuerpo emisor</b>	<b>Dispositivo Legal</b>	<b>Promedio de Monitoreo Efluente</b>
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/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Total Sol. Susp.	Ninguno	Ninguno	50 mg/lt	RM/011/EM	No hay monitoreo
Aceites y Grasas	D.L. 17752	0.0 mg/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Arsénicos	D.L. 17752	0.2 mg/lt	1.0 mg/lt	RM/011/EM	No hay monitoreo
Cloruros	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	0.835 mg/lt
Cadmio	D.L. 17752	0.05 mg/lt	Ninguno	Ninguno	0.007 mg/lt
Cianuro	D.L. 17752	1.0 mg/lt	1.0 mg/lt	RM/011/EM	No hay monitoreo
Fierro	D.L. 17752	1.0 mg/lt	2.0 mg/lt	RM/011/EM	No hay monitoreo
Mercurio	D.L. 17752	0.01 mg/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Cobre	D.L. 17752	0.5 mg/lt	1.0 mg/lt	RM/011/EM	0.249 mg/lt
Plomo	D.L. 17752	0.1 mg/lt	0.4 mg/lt	RM/011/EM	0.442 mg/lt
DBO	Ninguno	15 mg/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
OD	D.L. 17752	3 mg/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Coliform. Totales	D.L. 17752	5000	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Coliform fecales	D.L. 17752	1000	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo
Zinc	D.L. 17752	25 mg/lt	Ninguno	Ninguno	No hay monitoreo

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 recursos aire.

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**

### **4.5.1 CRITERIOS**

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**

### **4.6.1 CRITERIO**

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 preferencia de esta labor de fiscalización a especialistas exteriores a la Cía. Minera.

Los criterios considerados para este programa son

Información periódica.

Verificación periódica.

## CAPITULO 5

### COMENTARIOS SOBRE LA EXPERIMENTACION

1. El trabajo realizado con la muestra “Alimentación al molino de remolienda 7’x8’ prueba que por lo menos el 30% de la casiterita presente se encuentra libre y que existe un 50% peso de material con un contenido despreciable de estaño, menor a 0.35% Sn.  
  
Estos hechos patentizan la necesidad de ajustar el circuito actual de concentración en mesas, pero aún así será difícil evitar que partículas libres de casiterita pasen a las colas debido a la complejidad, lo elaborado del circuito gravimétrico y por la alta ley de alimentación a la planta. Por estas razones deberá incluirse un sistema para recuperar esta fracción antes de que se alimente al molino y se produzca la pulverización de la casiterita libre.
2. Por otra parte, la presencia de una fuerte proporción de carga libre de estaño “económicamente recuperable” denota la necesidad de separar esta fracción para aliviar de carga a la sección de remolienda y retratamiento de mesas.
3. Los flujogramas que pueden aplicarse en la planta se muestran en las figuras 2 y 3.
4. El esquema de la figura 2 procesa la fracción gruesa proveniente del circuito de clasificación (la alimentación al molino 7’x8’ del flujo actual) para obtener un

concentrado, segunda y colas finales. Este último producto representaría unas 240 TPD con una ley de 0.50 al 0.55% Sn.

Las segundas, después de desaguarlas, se alimentaban al molino 7'x8' cuya descarga se clasifica en ciclones de 8"φ.

El overflow pasa a la sección de flotación de casiterita y el spigot retorna al molino 7'x8' para cerrar el circuito de molienda.

Para la aplicación de este flujograma es necesario

- Verificar en planta, mediante una prueba piloto, el tonelaje y la ley de las colas que puede descartarse.
- Efectuar un análisis económico para establecer el costo por toneladas que significa procesar el material que se desea descartar y comparar con el ingreso que generaría el concentrado que se puede obtener de esta fracción.

5. El esquema de la figura 3, preconcentran la fracción gruesa proveniente del circuito de clasificación mediante jigs o espirales en los que se obtiene un producto enriquecido que representa entre el 15 al 20% del peso total y una cola. El preconcentrado se alimenta a un pequeño número de mesas (se requerirán aproximadamente 6 unidades en la planta de San Rafael) en los que se logra un concentrado y una cola. Las colas de ambas etapas se desaguan y alimentan al molino 7'x8' para liberar los valores asociados de casiterita.
6. La descarga de la molienda se clasifica y concentra en mesas. Las colas se espesan y clasifican empleando un circuito de ciclones 8"φ independiente a los nidos

actuales de ciclones 8"φ. El overflow pasa a la sección Flotación de Casiterita y el spigot retorna al molino para cerrar el circuito.

7. Para definir el equipo de preconcentración, es necesario efectuar pruebas comparativa, en la plan de San Rafael, empleando jig versus espiral.

Los resultados establecerán el equipo a emplearse en el proyecto.

8. Con este flujograma, se estima aumentar la recuperación actual de la planta en unos 3 a 4 puntos.

## CAPITULO 6

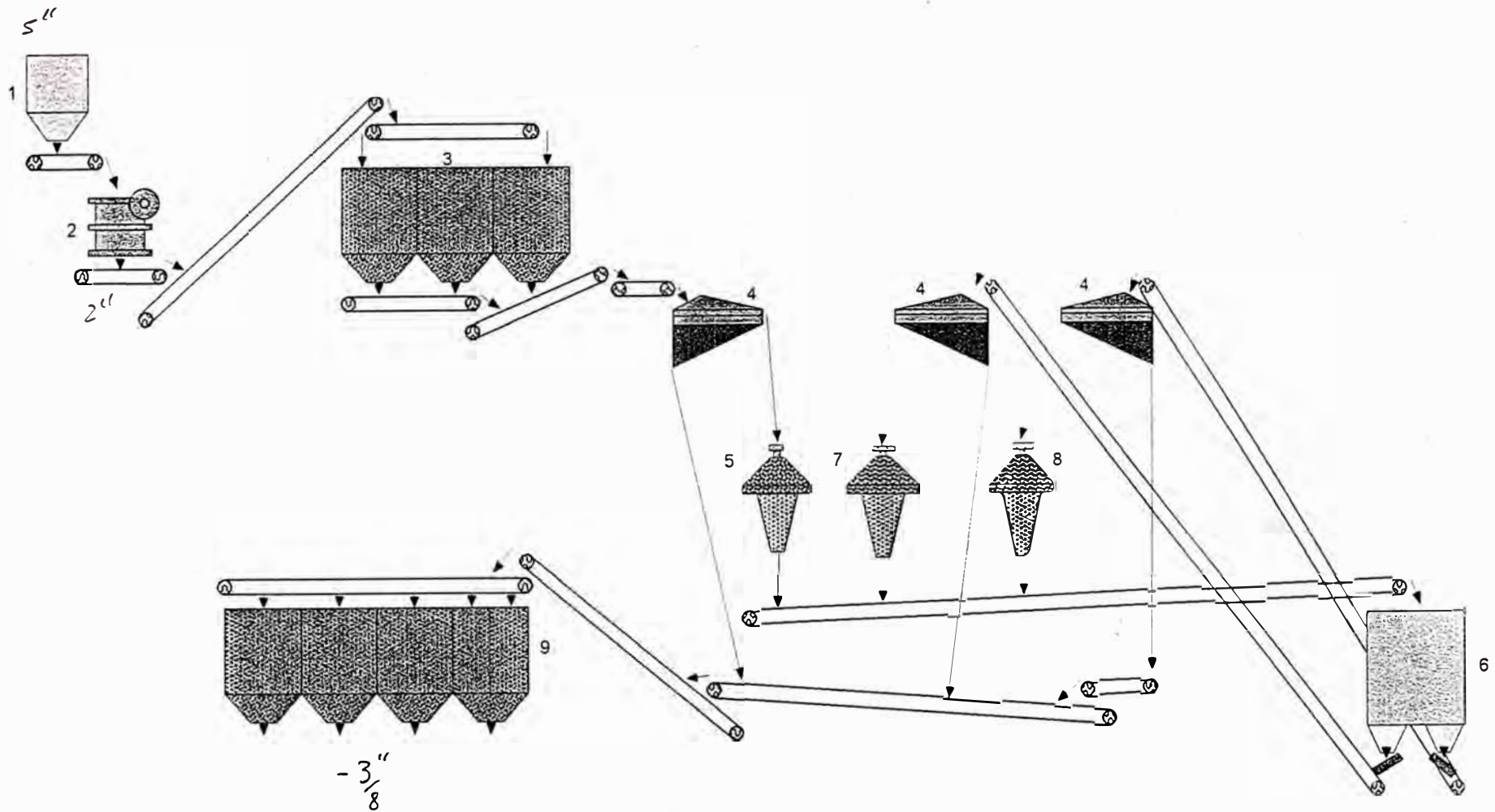
### CONCLUSIONES

1. La muestra analizó 2.10% Sn, tiene una granulometría 100% menor a 1 mm. y 3% menor a 0.074 mm. (200#). La muestra proviene del circuito de clasificación de las colas generales gravimétricas conformado por ciclones de 8"φ y clasificador helicoidal 60"φ que tiene el objeto de separar la fracción mayor de la menor a 200# antes de efectuar la molienda.
2. El balance metalúrgico de la separación en líquido pesado, tetra - bromo - etano, a densidades 2.7 y 2.8 gr./cc. y la observación microscópica del producto pesado mayor a 2.8 gr./cc. establecieron dos características importantes. Por una parte, el 50% de la casiterita existente en la fracción pesada se encuentra libre y por otra existe un 50% peso de material liviano (con un peso específico menor a 2.7 gr./cc) que tiene un contenido de estaño económicamente despreciable.
3. La presencia de material ganga prácticamente libre de casiterita, muestra la posibilidad de separar esta fracción para aliviar el circuito de remolienda y retratamiento de mesas.
4. Deben efectuarse pruebas adicionales para establecer el % peso de colas que pueden eliminarse con un contenido de estaño que sea económicamente descartable, orientando la experimentación a la necesidad de maximizar los ingresos en lugar de la recuperación metalúrgica.

5. La presencia de casiterita libre muestra la necesidad de ajustar el circuito actual de concentración en mesas y de introducir un esquema sencillo que recupere la casiterita libre antes de efectuar la molienda que ocasionaría la pulverización y pérdida parcial de estaño.
  
6. Para la recuperación de casiterita libre en el producto alimentación a remolienda de la planta de San Rafael, se sugiere introducir un circuito de **preconcentración en jig o espiral - concentración en mesas** que permita aumentar la recuperación total en unos 3 a 4 puntos.



# **ANEXOS COMPLEMENTARIOS**



- 1.- TOLVA DE MINERAL GRUESO
- 2.- CHANCADORA DE QUIJADA 24" X 36"
- 3.- TOLVAS DE MINERAL INTERMEDIO
- 4.- ZARANDA VIBRATORIA 5' X 14'
- 5.- CHANCADORA CÓNICA STD. 4 1/4'

- 6.- TOLVA DE REGULACIÓN
- 7.- CHANCADORA CÓNICA S.H. 5100
- 8.- CHANCADORA CÓNICA S.H. 4 1/4'
- 9.- TOLVAS DE MINERAL FINO

**MINSUR S.A. - MINA SAN RAFAEL  
SECCIÓN CHANCADO**

CAP. 1500 TMD

ABRIL 1997

ALIMENTACIÓN -3/8

TRANSPORTADORA 24"

CLASIFICADOR  
ESPIRAL 36" (2)

CEDAZO VIBRATORIO  
5' X 14' (2)

CEDAZO VIBRATORIO  
5' X 14' (2)

CLASIFICADORES ESPIRAL 36" (2)

+1 mm

+4 mm

8 JIGS GRUESOS

8 JIGS INTERMEDIOS

CLASIFICADOR  
48"

MOLINO DE BARRAS  
7' X 12'

MOLINO DE BOLAS  
8' X 8'

COLAS JIGS GRUESOS

COLAS JIGS INTERMEDIOS

CONCENTRADOS

BOMBA 10" X 8"

BOMBA 8" X 6"

4 JIGS FINOS  
24" X 36"

CONCENTRADOS

A RECUPERACIÓN DE AGUA

A ESPESADOR 70' O

A MESAS

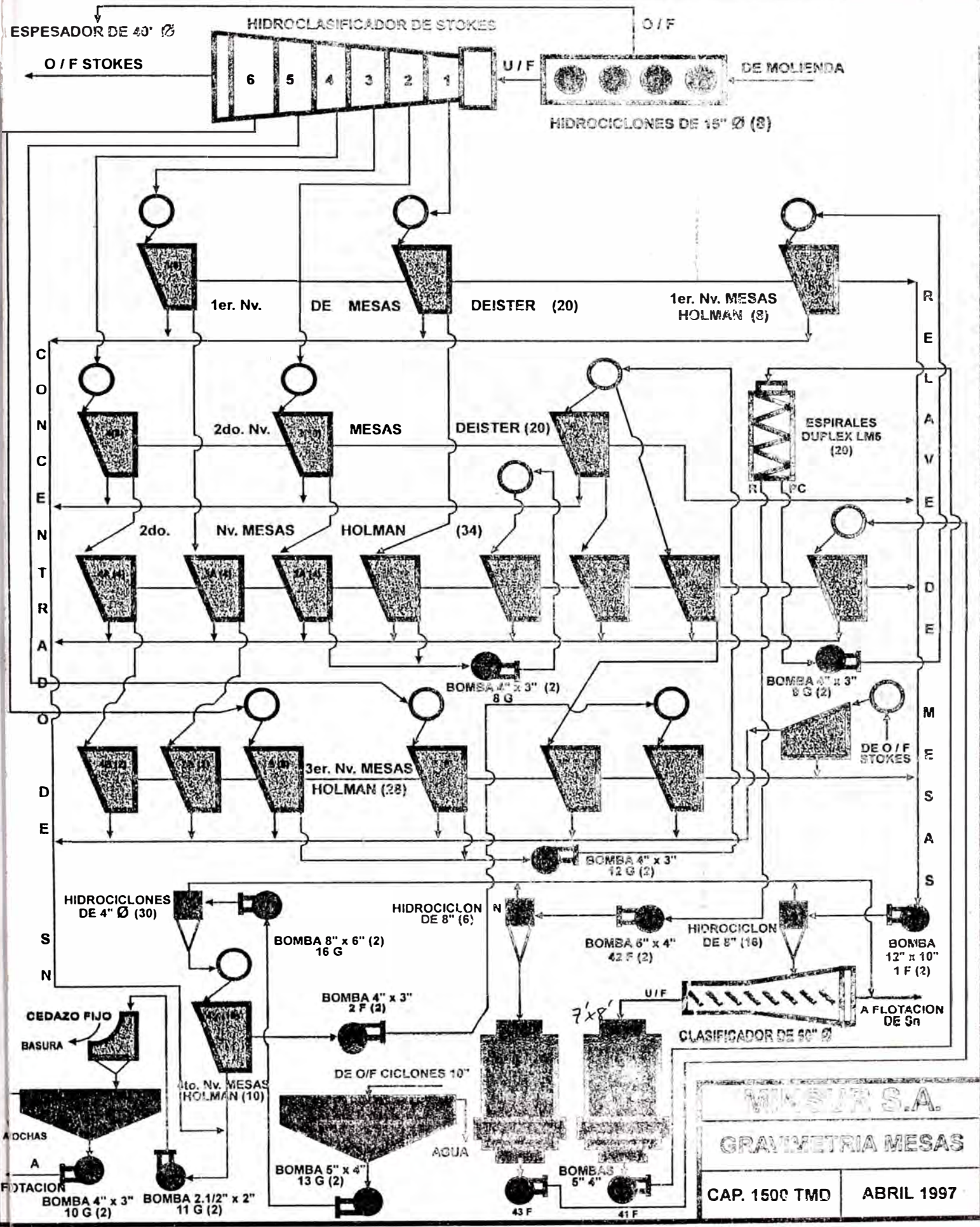
A DESAGUE, MOLIENDA  
Y FLOTACIÓN SULFUROS

BOMBA 10" X 8"

MINSUR S.A. - MINA SAN RAFAEL  
SECCIÓN JIGS

CAP.1500 TMD

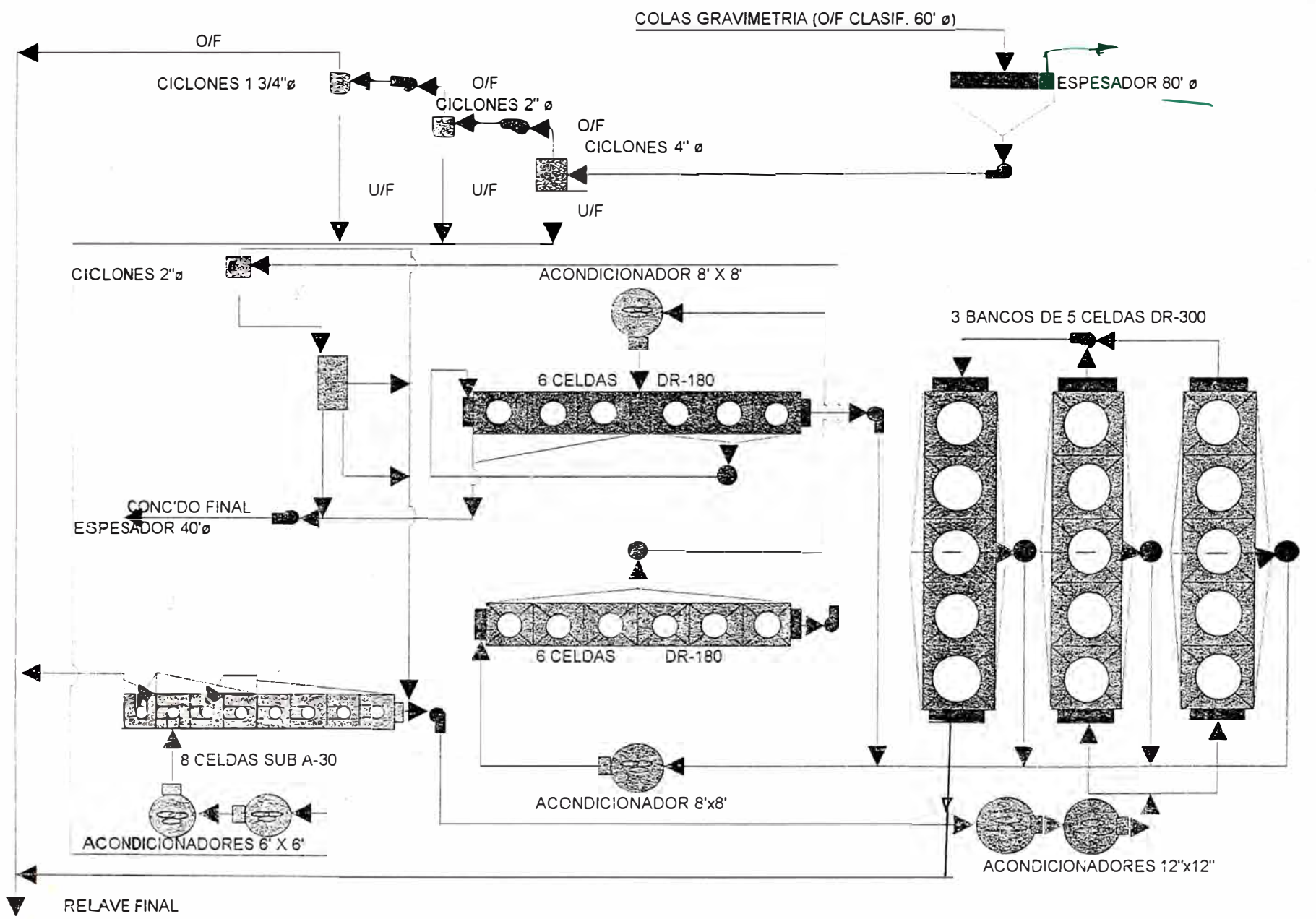
ABRIL 1997



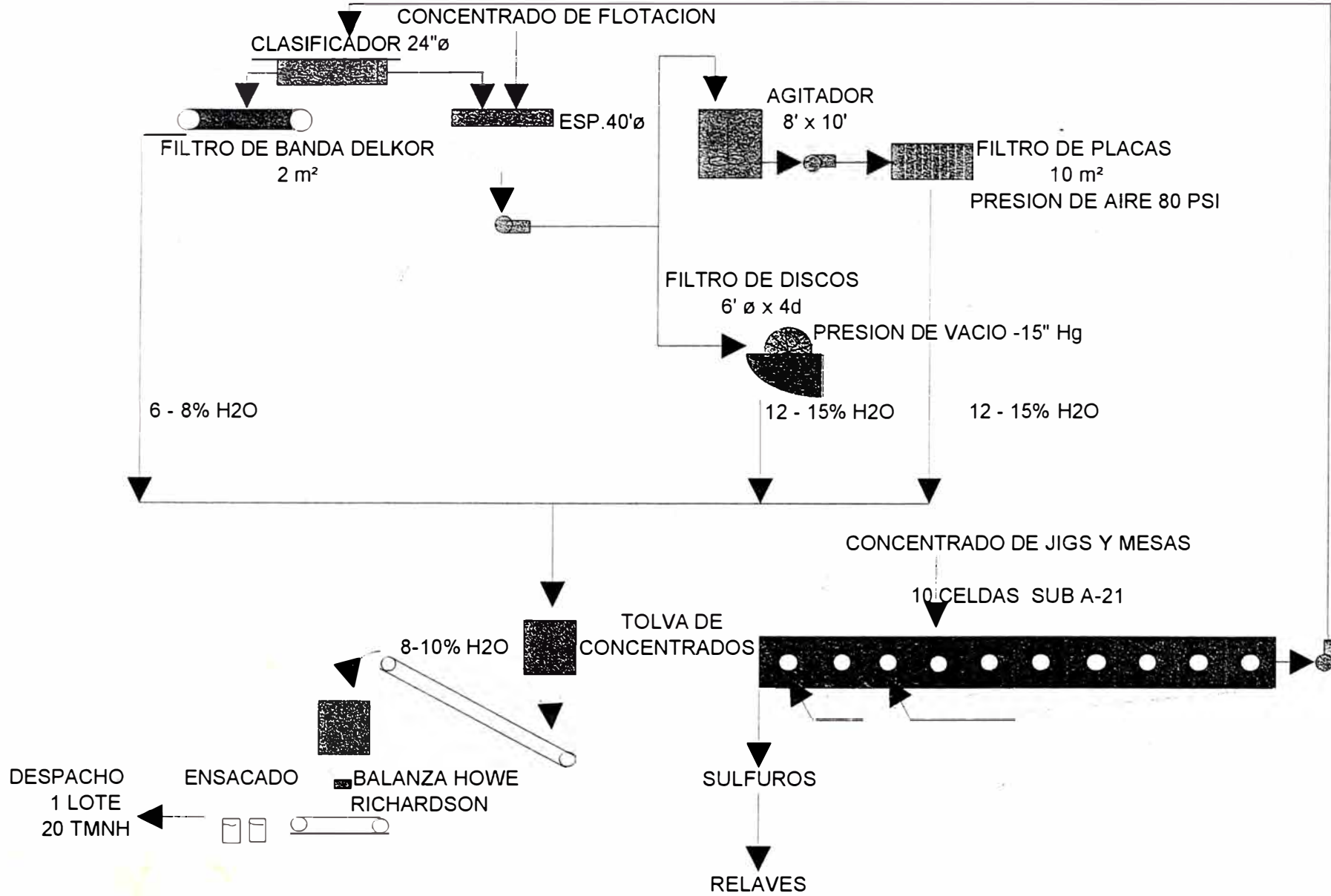
**MINERA S.A.**

**GRAVIMETRIA MESAS**

CAP. 1500 TMD	ABRIL 1997
---------------	------------



NON FLOAT



## BIBLIOGRAFIA

1. Hand Book of Mineral Dressing A. F. taggant - 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.