

MICROSCOPIA OPTICA Y SUS APLICACIONES EN METALURGIA

LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE LIBERACIÓN MINERALÓGICA

ÍNDICE

1.-Introducción.....	1
2.-Generalidades.....	8
3.-Conceptos Básicos.....	10
4.-Metodología	14
5.-Contaje Microscópico de Partículas.....	15
6.-Calculo del porcentajes de Abundancia.....	18
7.-Aplicación a problemas específicos.....	26
Anexos	
8.-Ejemplo.....	1
9.- Método de Preparación de Muestra.....	10
10.- Peso Especifico.....	15

LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE LIBERACIÓN MINERALÓGICA

1.- Introduccion

Usualmente, en las plantas de tratamiento mineral se evalúan la eficiencia del proceso únicamente en base a resultados de análisis químicos de los elementos aparentemente mas importantes, sin embargo, la información acerca de la composición química, si bien indispensable y valiosa, nada puede decir acerca de los actores principales del proceso: las especies minerales ; ni la morfología y dimensiones de estas, ni mucho menos acerca de la manera como ellas están especialmente asociadas entre si (intercrecidas); tales determinaciones solo puede ser efectuadas mediante estudios mineralógicos apropiados; fundamentalmente, microscópicos.

Por otro lado, es conocido, que en la naturaleza las especies minerales ocurren especialmente asociadas en intercrecimiento de complejidad geométricamente muy variada. Las características de tales intercrecimientos reflejan tanto las propiedades mineralógicas de las especies involucradas como las variables física – química – geológica que condicionaron el proceso genético correspondientes. Uno de los pasos previos a todo proceso de tratamiento de minerales; para ello es indispensable romper los intercrecimientos naturales y tratar de obtener el mayor porcentaje posible de partículas “libres” (concepto relativo, que varia en función tanto de las características de las especies minerales como de las partículas del proceso a utilizar).

El denominado **(GRADO DE LIBERACION)** es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas

minerales “libres”; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia decisiva tal determinación debe basarse en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada. El presente trabajo contiene una descripción detallada de la metodología desarrollada por el autor. Los ejemplos que se adjuntan, basadas en casos reales y nacionales, permiten comprobar como la determinación del **GRADO DE LIBERACION** puede prestar una ayuda invaluable para diseñar procesos de tratamiento, para incrementar la eficiencia de plantas en operación e incluso, para evaluar el rendimiento de equipo de molienda y / o clasificación.

2.- GENERALIDADES

Los minerales que requiere la industria sea para aprovecharla de manera mas o menos directa (calcita, dolomita, baritina, sales evaporiticas talco, gemas, abrasivos naturalmente, carbón, etc.) o para extraer de ellos uno o varios de los electos que contiene, ocurren mayormente como agregados heterogéneos y asociados entre si (intercrecidos) mediante enlaces que presentan muy variado grado de complejidad geométrica (la excepción son los minerales acumulados en depósitos de tipo placer).

En generalmente, una asociación (intercrecida) mineral contiene una o varias especies minerales aprovechadas (menas) y un numero igual o mayor de especies minerales estériles e incluso hasta indeseables (gangas), de tal manera que cualquier intento de agrupar selectivamente (concentrar) a las primeras requiere, como condición previa, de tratar de separarlas (liberarlas) lo mejor posible de otras menas y/o de las gangas, resulta por demás evidentemente que cualquier intento en esa dirección presupone conocer suficientemente la identidad de las especies minerales involucradas así como los tipos y grado de complejidad de los intercambios entre ellas. Para tal fin, las observaciones a simple vista y

aun con ayuda de una lupa no definitivamente insuficiente y solo el estudio microscópico es capaz de revelar detalles verdaderamente significativos.

Los resultados de un estudio microscópico sobre nuestras representativas de la mineralización, sin fragmentación previa, permitirán identificar las especies minerales presentes y caracterizar las particularidades geométricas de sus intercrecimientos; contando con tal información será posible predecir cuales elementos químicos podrían ser aprovechados, cuales podrían interferir, que posibilidades y limitaciones existirán para conseguir liberar unas especies de otras y cual proceso o procesos de tratamiento resultarían apropiadas. Adicionalmente varios especialistas han pretendido utilizar este tipo de estudios microscópicos para predecir cuantitativamente el comportamiento de algunas especies minerales presentes, durante el proceso de molienda; para ellos, han desarrollado modelos orientados a formular una respuesta a la pregunta básica: cuan fino debe ser molido un material para liberar una fracción prescrita de determinada mena? Desde el modelo inicial de **GAUDIN (1939)**, posteriormente perfeccionado (**WIEGEL y LI, 1967**), hasta el mas reciente de **KING(1979)** todos ellos utilizan premisas bastantes irreales y forzadas, que representan una extremada simplificación del problema, si bien el modelo de **KING (1979)** aparece como muy elaborada desde el punto de vista matemático requiere de un soporte instrumental muy sofisticado (analizador automático de imágenes con registro computarizado de las señales), que puede ser efectiva en el caso de minerales isótropos y con fuertes contrastes de reflectancia entre ellos (aun así, los resultados no son plenamente satisfactorios, tal como se compruebe en la Fig. 1 pero que resulta prácticamente inútil en los casos, mas frecuentes, de minerales anisótropos y / o con reflectancia muy similares. Pero, mas importante aun es destacar el error fundamental implícito en todos estos modelos que limita notablemente su valides; dicho error consiste en centrar todo el interés en las partículas completamente libres cuando es

indiscutible que, en la población de partículas correspondientes a un determinado intervalo de tamaños de grande. Junto a las partículas 100% libres. Coexisten partículas mixtas en las que el mineral que interesa participa en muy variados porcentajes, y que muchas veces son justamente estas partículas mixtas que ejercen una influencia determinante en la etiqueta ciencia de los procesos de tratamiento. Como consecuencia de este error conceptual. Los modelos predictivos están exclusivamente orientados a establecer las características del material que alimenta una planta y tienen poca o nula aplicación en problema relacionados con las otras etapas del proceso de tratamiento. En cambio. El método que se propone en el presente trabajo consiste en fragmentar previamente la muestra representativa (o tomar muestras tal como son obtenidas en las diferentes etapas del proceso en el caso de plantas en operación). Clasificar según fracciones granulométricas predeterminadas y preparar secciones pulidas de cada una de dichas fracciones para su estudio microscópica cuantitativa, durante el cual no solo se registra las partículas totalmente libres de las especies minerales presentes sino. Incluso caracterizado en las diversas partículas mixtas en las cuales participa la determinación del grado de liberación de cada especie mineral. Obteniendo de acuerdo a la metodología que se propone, no lo permite frente a determinadas condiciones de molienda, sino que constituye un parámetro de fundamental importancia de variadas aplicaciones, tal como veremos mas adelante.

FIGURA I .- comparación entre la predicción teorica y la determinación expeimental de la fracción liberada a diversos tamaños de grano. La concordancia con el modelo de King es algo mejor, con excepto de los tamaños por debajo de 100 y encima de 400 micrones (según King, 1979, fig. 4

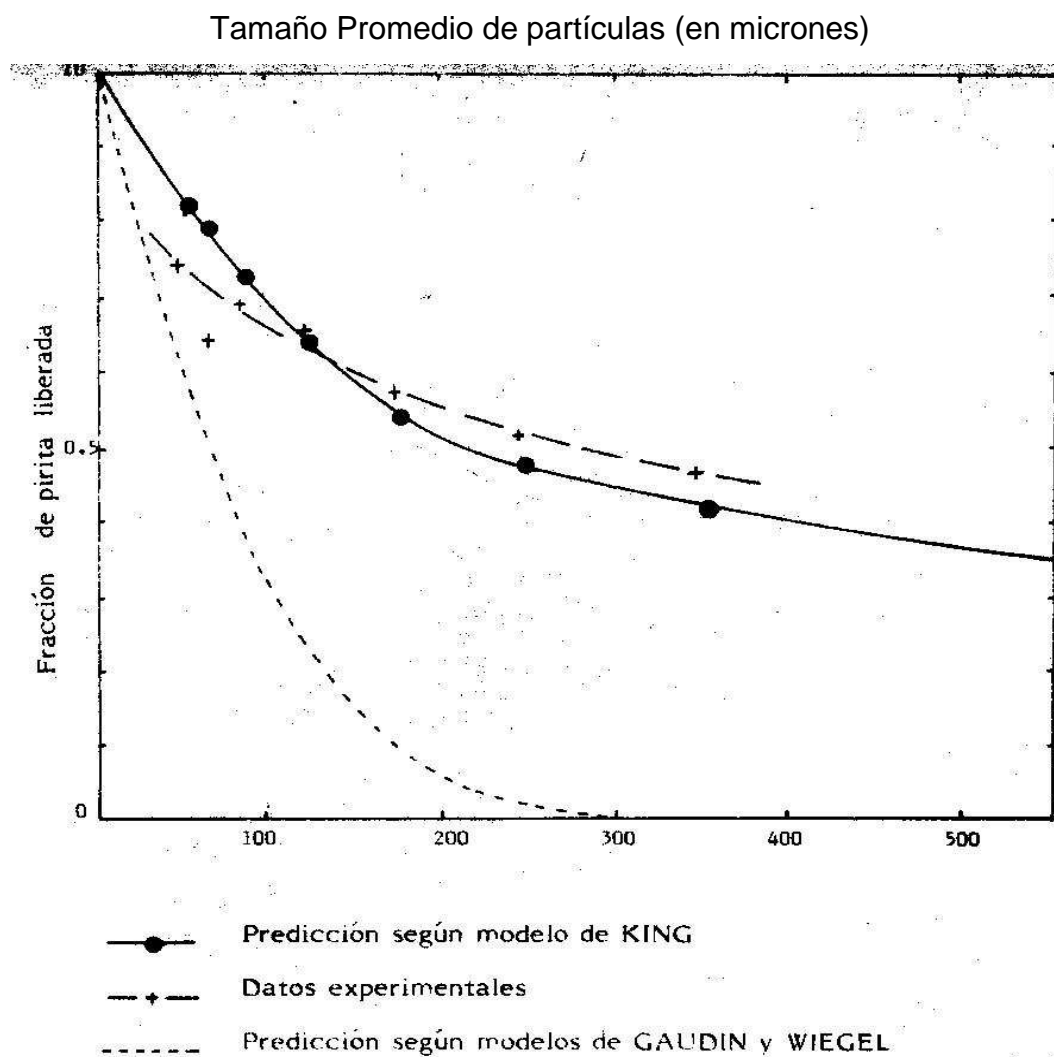
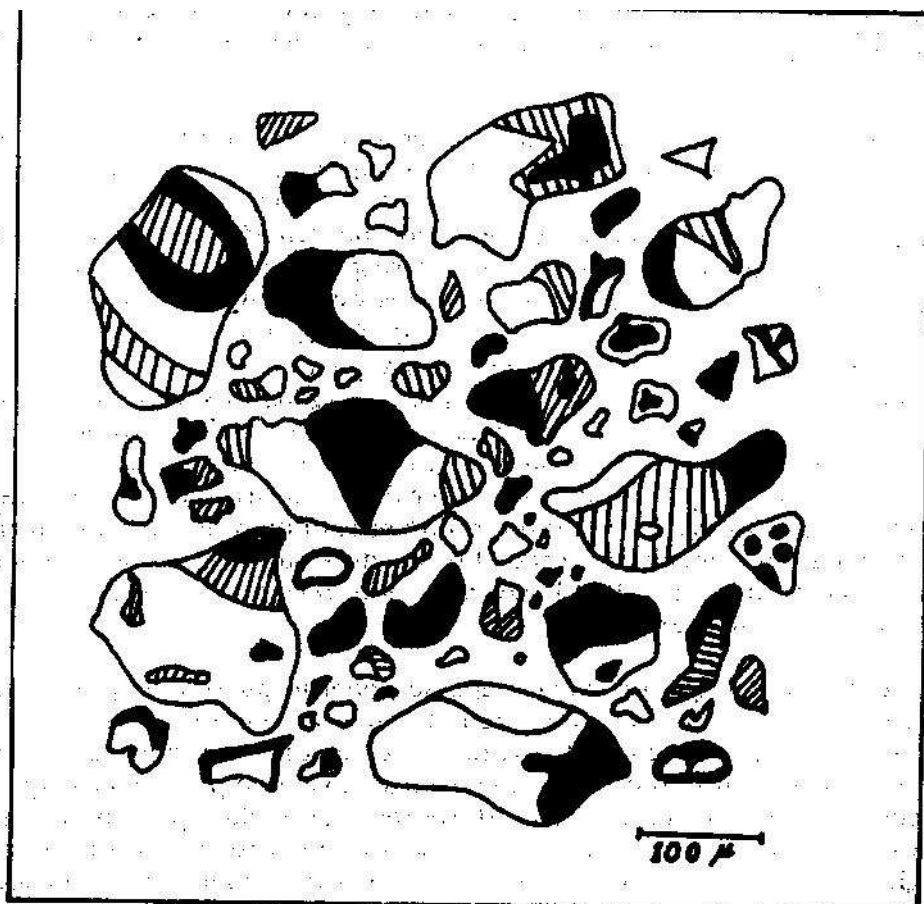


FIGURA 2.- Partículas libres y mixtas producidas durante la fragmentación de una muestra en la que ocurren los especies minerales X, Y y Z. Obsérvese la variedad de proporciones y arreglos geométrica en las partículas mixtas.



3.- CONCEPTOS BÁSICOS

Si fragmentamos los trozos de muestra mineralizada y confeccionamos una sección pulida con el material obtenido, bajo el microscopio se observara que las partículas obtenidas son mayormente poliminerale en los tamaños gruesos y que tienden a ser monominerales en los tamaños finos (fig 2). La deducción apriorística. Según la cual simplemente habría que moler en exceso para asegurar una liberación perfecta no es económica ni tecnológicamente factible (costo desproporcionado y excesiva producción de granos finos). En una población como la mostrada en la Fig. 2. no existe mayor problema en considerara las partículas monominerales como perfectamente (mixtas) es necesario seguiremos reduciendo el tamaño de las partículas poliminerale (mixtas) es necesario asignarles una cierta magnitud de liberación. En efecto, es evidente que si seguiremos reduciendo el tamaño de las partículas mas grandes de destinadas especies minerales tendrían a quedar libres: de modo que frente a una concepción dinámica del proceso de reducción de tamaño de granos, las partículas mixtas representan las condiciones correspondientes a un momento dado en el cual cada una de las especies minerales constituyentes han alcanzado un cierto porcentaje de liberación ($> 0\% < 100\%$) en la Fig. 3 se observa el comportamiento hipotético y simplificado de una partícula mixta frente a sucesivas reducciones de tamaño provocadas por el agente externo (chancado y/o molienda). Es evidente que tal comportamiento dependerá tanto de las características intrínsecas de la partícula (composición, dimensiones, grado de cristalinidad, etc. De las especies minerales constituyentes y también características geométricas del incremento) como de las características física – mecánicas del agente externo. En las diversas etapas de evolución de partículas, mostradas (I, II.III, IV) hay que caracterizar la liberación para cada partícula y para cada etapa.

Si consideramos que en cada etapa se generan partículas prácticamente equidimensionadas y que sin embargo la liberación mostrada por cada

partícula es diferente (a pesar de tratarse de un ejemplo mineralógico muy simple es evidente (como lo demuestra los ejemplos minerologicamente muy simple) es evidente (como lo demuestra los ejemplos reales) que a un determinado tamaño de grano las diferentes partículas presentan variadas magnitudes de liberación: por tanto es conceptualmente incorrecto utilizar el termino “tamaño de liberación” en sentidos predictivo queriendo significar que si muele a determinado tamaño de grano todas las partículas alcanzaran una determinada liberación porque en realidad lo que resulta es una población heterogénea donde hay que calcular el promedio de las variadas magnitudes de liberación alcanzándolas por cada especie mineral (que es lo que mas queremos denominar grado de liberación).


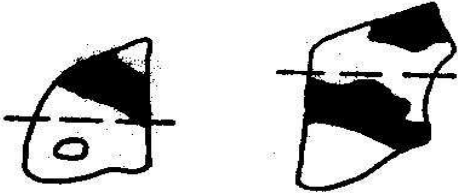
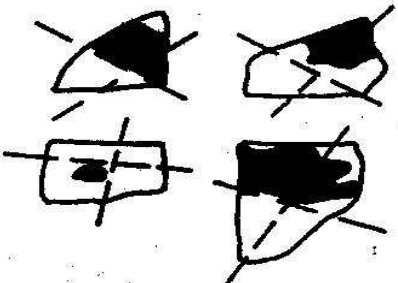
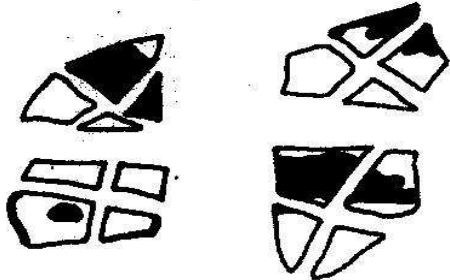
Volviendo a la Fig. 3 observaremos que desde un punto de vista cualitativo, cada una de las especies involucradas puede construir hasta 3 tipos de partículas: “partículas liberadas” (partículas monominerales. Para el mineral “X” = IVC, para el mineral “Y” (IVA, IVD, IVE, IVH, IVI, IVJ, IVK, IVP). “partículas parcialmente liberadas” (partículas poliminerales donde cada una de las especies forma parte de la periferia (para el mineral “X” IA, IIA, IIB, IIIA, IIIB, IIID, IV, B, IVF, IVG, IVM, IVN, IVU Y) “partículas liberadas” (partículas piliminerales en las que determinadas especie no ocupa ningún tratamiento de la periferia (para el mineral “Y” IIIC Y IVL) en los casos de las partículas IA y IIA. El mineral “X” tiene una parte como partículas parcialmente liberadas y otra como “parte de no liberadas. En las partículas IVO la participación del mineral X es una mínima la partícula debe ser registrada cuantitativamente como “partícula del mineral” “Y” pero la participación de partículas parcialmente liberadas y no liberadas esta basada en la porción de su superficie de un mineral que se encuentra apta para reaccionar durante la frotación, lixiviación u otro proceso.

En la referente a la clasificación de las partículas observadas, es preciso recalcar la naturaleza esencialmente bidimensional de la observación microscópica; es decir cuando registramos granos minerales monominerales es probable que además de granos realmente libres, estemos incluyendo también granos pilominerales que por efecto del plano de corte aparecen como monominerales, el esencia un cierto porcentaje de las partículas observadas al microscopio aparecen con una configuración mineralógica mas simple que la que poseen tridimensionalmente.

Si pasamos ahora a la determinación cuantitativa de la liberación alcanzada por cada especie mineral en el caso de partículas poliminerale o mixtas, es conveniente de acuerdo a la propuesta poliminerale o mixtas, es conveniente de acuerdo a la propuesta de PETRICK (1978). Establecer tanto el porcentaje de área que ocupa cada uno de los constituyentes como el porcentaje de superficie expuesta (periferia) que le corresponde. Ambos valores pueden ser determinados microscópicamente mediante método automatizados (p – ej – analizados de imágenes) o mediante métodos de estimación visual en casos muy particulares pero en el caso de mineralizaciones complejas y con reflectancias y colores muy similares entre las diferentes especies minerales, es preferible la estimación visual. El porcentaje de área ocupada por cada una de las especies minerales, constituyentes puede ser estimado con una aproximación del 5% y de acuerdo a principios estadísticos conocidos, tal porcentaje de área son equivalente a porcentaje del volumen **(ROSIWAL, 1898, THOMSON, 1930)** El porcentaje de superficie expuesta se determina midiendo la porción de periferia total de la partícula que corresponde a cada especie mineral, para ellos se asigna un valor de 100 a la dicha porcentaje será 0). El producto de ambos porcentajes expresados en % de valor teórico máximo que correspondería a un mineral totalmente libre, es 100) es el grado liberación de cada especie mineral. En cada partícula. La fig. 4 ilustra

diversos ejemplos de tipos de tipos de partículas mixtas y los correspondientes grados de liberación para cada una de las especies minerales participantes. Los conceptos enunciados cuyo partícula mixta no puede ser catalogadas como “no liberadas”, es evidente también que cada una de las diversos arreglos en que los minerales “X” e “Y” pueden ocurrir formando partículas mixtas tendrá una reacción específica al proceso de tratamiento utilizado de allí que en estudio de la población de partículas que es lo usual lo que interesa es el grado de liberación promedio para cada una de las especies minerales involucradas (suma de los grados de liberación para cada partícula dividiéndola entre el número de partículas registradas) este valor promedio del grado de liberación de las partículas mixtas debe proporcionar al usuario una indicación práctica para preceder el comportamiento de tales partículas frente a un determinado proceso de tratamiento. A manera de referencia. Hay que tener en cuenta los datos proporcionados por **PETRUK (1978)**. Para el caso de falerita en partículas mixtas según dicho autor, faleritas con grado de liberación entre 4 y 11% ocurren en los relaves, aquellas con valores entre 35 y 70 % en los medios y las que presentan valores entre 57 y 86% ocurren en los concentrados de Zinc. Tales valores pueden aplicarse a otros sulfatos, aunque sería preferible determinarlos experimentalmente para las menas más importantes. En lo cual sería necesario realizar las determinaciones experimentales respectivamente.

FIGURA 3.- Diversas etapas sucesivas durante la reduccion de tamaño de una partícula mixta constituida por las especies minerales X e Y.
Blanco = minera Y. Negro = mineral X.
Líneas segmentadas = Dirección de esfuerzos de rotura.

<p>I</p> 	<p>PARTICULA A; "PARCIALMENTE LIBERADA", TANTO PARA LA ESPECIE MINERAL X COMO PARA LA Y.</p>
<p>II</p> 	<p>PARTICULAS A y B "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA LAS ESPECIES MINERALES X e Y. EN LA PARTICULA A, UNA PORCION DEL AREA OCUPADA POR X NO TIENE CONEXION CON LA PERIFERIE (LIBERACION = 0%).</p>
<p>III</p> 	<p>PARTICULAS A, B, C, "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA X e Y; PARTICULA C "PARCIALMENTE LIBERADA" PARA Y, "NO LIBERADA" PARA X.</p>
	<p>PARTICULA C "LIBERADA" PARA X; PARTICULAS A,D,E,H,I,J,K "LIBERADAS" PARA Y. PARTICULAS B,F,G,M,N "PARCIALMENTE LIBERADAS" PARA X e Y. PARTICULA D DEBE SER CONSIDERADA "LIBERADA" PARA MINERAL Y, PORQUE X OCUPA AREA MINIMA (5%). PARTICULA L "PARCIALMENTE LIBERADA" PARA Y, "NO LIBERADA" PARA X.</p>


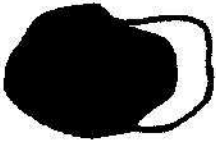
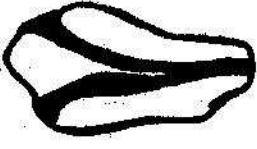



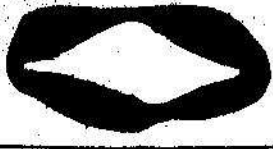
	$0.50 \times 50 =$ 25%	$0.50 \times 50 =$ 25%
	$0.70 \times 60 =$ 42%	$0.30 \times 40 =$ 12%
	$0.20 \times 05 =$ 1%	$0.80 \times 95 =$ 76%
	$9.75 \times 95 =$ 71.25%	$0.25 \times 05 =$ 1.25%
	$0.08 \times 20 = 1.6$ $0.52 \times 0 = 0$ $0.60 = 1.6\%$	$0.40 \times 80 =$ 32%
	$0.90 \times 100 =$ 90%	$0.10 \times 0 =$ 0%
	$0.50 \times 100 =$ 50%	$0.50 \times 0 =$ 0%
Cálculo del Grado de Liberación para Partículas Mixtas X/Y, de una Malla Dada		
Suma de productos area x superficie expuesta	Mineral "X" 280.25	Mineral "Y" 146.25
Máximo teórico de liberación (Total de partículas mixtas = 7)	700	700
Grado de liberación (%)	40	20.9

FIGURA 4.- Variados grado de liberación en una población de partículas mixtas, aproximadamente equidimensionales, Constituidas por el mineral X e Y

4.- METODOLOGÍA

Para que un estudio microscópico resulte verdaderamente útil, la condición previa e indispensable es definir exactamente la naturaleza del problema que se desea resolver. De acuerdo a ellos solo se orientara adecuadamente la metodología a seguir sino que incluso podrá decidirse si es conveniente o no llevar a cabo el estudio **(CANEPA y BERNUY, 1981)**. Lo anterior no invalida la posibilidad, frecuentemente observada, que durante la realización del estudio mismo surjan implicancias no previstas inicialmente que no solo obliguen a un replanteo del problema sino incluso a una modificación de la metodología diseñada.

La determinación del grado de liberación no solo es indispensable como investigación previa al diseño de cualquier tipo de proceso de tratamiento, sino que también resulta muy valiosa para evaluar el rendimiento de los equipos de molienda o de clasificación y para incrementar la eficiencia de plantas en operación.

En general, todo estudio microcósmico cuantitativo de muestra minerales fragmentadas serán fragmentadas puede incluir la determinación del grado de liberación y para ellos solo es necesario un pequeño registro adicional, conforme se indica mas adelante.

Si el estudio que se proyecta tiene como objetivo obtener información previa al diseño de un proceso de tratamiento, una muestra del material, tal como sale una mina, debe ser fragmentada suficientemente y luego separada mediante tamices a efecto de obtener una seria serie de fracciones granulométricas, para estudios destinos a procesos la lixiviación y concentración gravimetrica, la muestra es usualmente chancada a 100% menos $\frac{1}{2}$ " y el material que pasa es clasificado utilizando las mallas 20, 48, 65, 100, 190, 270, 400. Para estudios destinados a otros procesos de concentración, la muestra es

generalmente chancada a 100% (alternativamente puede utilizarse las mallas 48, 100, 200, 400).

En el caso de estudios relacionados con equipos o plantas en operación, lógicamente la muestra ya esta fragmentada (normalmente molida) y solo hay que clasificarla granulométrica mente mediante tamices; el numero de tamices y las mallas a utilizar, varían en cada caso.

De cada fracción granulométrica obtenida (cuyo porcentaje con respecto del peso total de la muestra ha sido oportunamente establecido) debe confeccionarse la sección pulida correspondiente para el estudio microscópico.

5.-CONTAJE MICROSCOPICO DE PARTÍCULAS

Durante el desplazamiento de la sección pulida Sobre la platina de microscopio con espaciamento constante sentido horizontal y vertical, se registra el tipo y características de las partículas minerales presentes en el campo de observación.

De acuerdo al numero de especies minerales que las constituyen, las partículas son clasificadas en libres (momominerales) o mixtas (poliminerales). Estas clasificación no esta exenta de dificultades, dada la gran variedad geométrica que suelen presentar las asociaciones (intercrecimientos) minerales y dada también la eventual dificultad de estimar visual e incluso instrumentalmente el porcentaje de participación de los diversos constituyentes en el área total de la partícula para el caso de registro cuantitativo, es conveniente establecer un limite mínimo del área ocupada por cada una de las especies minerales participantes, a efectos de distinguir entre partícula libre y mixta; si tomamos en cuenta razones practicas de velocidad de trabajo y de significación efectiva en la

dinámica de los procesos de tratamiento parece conveniente fijar en 5% el mínimo del área que debe ocupar un especie mineral para hacer considerada como participantemente en una partícula mixta en consecuencia si una especie mineral constituye mas del 95% del área de una partícula, dicha partícula es considerada como libre u la otra o otra especies minerales eventualmente presentes no son registradas cuantitativamente (solo se registra cualitativamente y en tablas de resultados cuantitativos pueden aparecer señaladas como “trazas”). Dado que una especie mineral puede ocupar una o varias áreas aisladas dentro de una misma partícula mixta al momento de registrar su ocurrencia las diversas áreas aisladas son adicionales en una sola.

Un registro como el de la Fig. 5 permite contabilizar convenientemente partículas libres y mixtas. En cada partícula mixta se registra separadamente el porcentaje relativo del área ocupada por cada una de las especies minerales participantes (0). Adicionalmente para efectos del calculo el grado de liberación, se registra la superpie expuesta correspondiente a cada participante para lo cual solo se toma en cuenta la periferia que ocupa; dado que se considera a todas las partículas de la sección pulida como equigranuladas, se considera también que todos tiene una longitud periférica similar e igual a 100 (el mínimo registrable se fija, también en 5%). En el caso de especies minerales que ocupan zonas aisladas dentro de una misma partícula, alguna o algunas de las cuales no tienen ninguna conexión con la periferie, las áreas correspondientes son registradas separadamente de aquellas que si tiene conexión (ver Fig. 4).

De acuerdo con la información contenida en la hoja de registro, ninguna de las partículas mixtas del ejemplo mostrado en la Fig. 5 contiene inclusiones que no estén conectadas con la periferia.

FIGURA 5.- Modelo de Hoja de Registro para Contaje de Partículas

	A	B	C	D	GGs
	1-1-1-3-1-2-4-2 1-1-1-3-1-1-1-1	1-2-1-1-1-2-1 2-1-1-1-1-1-1-1		1-1-1-1-1 1-2-1-1-1 1-1-1-1	6-5-2-5-6-2-6-4-8-4-4-4-2-5 6-4-2-8-3-7-2-8-5-5-4-6 5-4-4-8-4-6-7-4-8-6 9-8-8-12-4-7-9-1-9-8 6-2-10-8-6-6-4-8-8-4-5-6-5
A/B	40(40)-80(40)-50(40)-60(40)- 50(60)-25(65)-40(30)-40(30)-40(40)- 60(40)-240(30)-150(40)-210(80)- 30(40)-150(30)-60(30)-180(80)- 45(60)-140(30)-70(40)-90(60)- 160(60)-210(30)-190(30)-80(20)	60(60)-20(60)-50(60)-40(60)- 70(40)-75(35)-60(70)-60(70)- 60(70)-40(60)-70(60)-360(70)- 150(60)-90(20)-50(70)-240(70)- 220(20)-55(40)-40(40)-60(70)- 150(60)-150(40)-40(70)-20(80)	80(30)-40(40)-50(35) 40(35)-90(40)-60(60) 10(60)-30(50)-40(45) 210(25)-120(40)-40(55) 80(40)-90(55)-160(60) 90(70)-50(40)-80(60) 160(20)-80(40) 60(30)-80(80)-30(35) 60(20)		
B/C		120(70)-60(60)-150(70)- 60(65)-210(60)-140(40)-190(40)- 70(60)-160(55)-90(35)-180(60)- 60(45)-150(60)-10(45)-150(40)- 10(20)-50(60)-40(70)-20(40)- 20(60)			
A/C	40(70)-220(90)-140(80)-170(55)				
C/D			20(30)-15(30)-20(10) 25(15)	180(70)-85(70) 85(80)-75(65)	
A/GGs	405(65)-160(45)-220(55)- 170(35)-120(90)-40(80)-60(30)- 85(50)-90(30)-210(60)-110(25)- 70(25)-90(35)-70(40)-60(45)	290(40)-320(35)-320(50)-80(60)- 120(90)-420(40)-210(45)-90(20)- 300(60)-120(40)-90(65)-180(60)- 120(60)-100(50)			595(35)-340(55)-290(45)-480(65)- 380(60)-260(70)-240(70)-215(50)- 210(70)-590(40)-290(75)-330(75)- 110(65)-230(40)-240(55) 310(60)-280(65)-290(50)-120(40)- 180(90)-480(60)-240(55)-210(80)- 400(40)-180(60)-210(35)-220(40)- 80(40)-200(50) 160(70)-190(60)-370(60)-370(80)- 400(80)-220(80)-350(75)-240(75) 170(70)
B/GGs					
D/GGs					
A/B/GGs	20(10)-30(10)-90(25)- 20(20)-10(25)-10(10)	40(20)-30(20)-60(25)- 30(10)-20(20)-20(30)			40(70)-140(20)-200(50)-50(70)- 70(65)-30(60)
B/D/GGs		40(10)-20(20)-10(10)-20(10)		10(10)-10(20) 20(20)-10(20)	58(80)-70(70)-70(70)-80(70)- 70(70)-70(80)

6.-CALCULO DE PORCENTAJE DE ABUNDANCIA

A partir de los datos de la hoja de registro, es posible calcular los porcentajes de abundancia (volumen %) de cada especie mineral separadamente para cada tipo de partículas, los resultados obtenidos aparecen en la tabla N° 1. en el ejemplo utilizado, se detectó que la especie C y D son menos del mismo elemento y por tanto no requiere ser liberadas partículas con tales características son consideradas como “partículas relativamente libres” y registradas como tales.

Pero, tal como se indicó anteriormente, los porcentajes así calculados tienen el carácter de aparentes por cuanto debido a la naturaleza bidimensional de la superficie pulida una cierta cantidad de partículas aparecen más simples de lo que en realidad son; de manera que es necesario efectuar las correcciones del caso en los porcentajes del volumen inicialmente calculados. Según resultados obtenidos por PETRUK (1978) cuando se preparan secciones pulidas de partículas mixtas que contienen entre 20 y 90 % de una determinada especie mineral, por lo menos un 10% de dicha especie aparece como partículas libres. Si asignamos una validez general a dichos resultados, el porcentaje aparente de partículas libres para cada especie en la tabla N° 1 hay que sustraerle una cantidad equivalente al 10% del volumen total de partículas mixtas.

Así para el caso de la especie mineral A:

$$PV^C = PV^{ap} PLA - 10 \left(\frac{PV^{ap} TPA - PV^{ap} PLA}{100} \right)$$

$$= \frac{11PV^{ap} PLA - PV^{ap} TPA}{10}$$

Donde: PV^C = porcentaje de volumen corregido
 PV^{ap} = porcentaje de volumen aparente
 PLA = volumen de partículas libres de la especie mineral A
 TPA = volumen total de partículas libres más mixtas, correspondientes a la especie mineral A.

De manera similar se efectúa la corrección para cada una de las especies minerales B, C, D, y GGs.

Ahora bien en monto del porcentaje sustraído al volumen de partículas libres de determinada especie mineral, corresponde en realidad a partículas mixtas y en consecuencia hay que modificar los volúmenes aparentes de las partículas mixtas para lo cual el porcentaje sustraído de las partículas libres se distribuye proporcionalmente a los volúmenes de aquellas. Es importante señalar que, en el caso de partículas “aparentemente libres” (el intercrecimiento C/D en nuestro ejemplo) para el calculo de correcciones de porcentaje ellos deben ser tratados simplemente como partículas mixtas. La tabla N° 2 contiene los porcentajes de volumen corregidos, de acuerdo al procedimiento señalado. Una información como proporcionada por esta tabla es sumamente valiosa y proporcionada, tanto al proyectista como el operador de una planta de tratamiento, la posibilidad efectiva de predecir, sobre bases objetivas, el comportamiento del material estudiado frente a un proceso determinado o bien elegir el proceso que mas se sujeta a las características del mineral. La información es mas completa y fiable cuando se dispone de la información microscópica correspondiente a cada una de las fracciones granulométricas en que ha sido clasificada la muestra estudiada. Para llegar a la determinación del grado de liberación, hay que utilizar ahora los dos valores registrados en cada de las partículas mixtas individuales (cantidad de mineral participante y superficie mineral, tomando en fracción centesimal, se multiplica por el porcentaje de periferia que le corresponde y se suma el total de productos correspondientes a cada una de las especies minerales participantes. Esta suma es considerada como la porción liberada correspondiente a dicha especie mineral, con respecto del máximo teórico posible (numero de partículas mixtas de un tipo dado multiplicado por 100).

$$GLA(A/B) = \frac{(\% \text{ Sup } A_1 \cdot \% \text{ per } A_1) + (\% \text{ Sup } A_n \cdot \% \text{ per } A_n)}{TP(A/B) \cdot 100}$$

Donde GLA = Grado de liberación para la especie mineral A en partículas mixtas de tipo A/B (en %).

% Sup A₁, A₂, A_n = Porcentaje de área ocupada por la especie mineral A, en cada una de las partículas registradas del tipo A/B (tomado en fracción centesimal).

%per A₁, A₂, A_n = Porcentaje de periferie ocupada por la especie mineral A en cada partícula individual del tipo A/B.

TP (A/B) = Número total de partículas mixtas (A/B) registradas.

Cálculos similares les efectuamos para cada especie mineral partículas participantes y par cada tipo de partículas mixtas permiten obtener los resultados mostrados en la tabla N°3.

El siguiente paso consiste en promediar los grados de liberación parcial correspondientes a los diversos tipos de partículas (libres, mixtas) para cada especie mineral. Como lógico, para las partículas libres se considera un grado liberación parcial de 100; para las partículas mixtas se considera los grados de liberación las operaciones y los resultados correspondientes.

TABLA Nº 1

CANTIDAD DE PARTICULAS CONTADAS Y PORCENTAJES DE
ABUNDANCIA APARENTE (VOLUMEN %) (*)

<u>partículas libres</u>		<u>Especies Minerales</u>				
		A	B	C	D	GGs
A	25	25				
B	18		18			
C						
D	13				13	
GGs	322					322
<u>Partículas relat. libres</u>						
C/D	5			0.8	4.2	
TOTAL	383(57.8)	25(3.8)	18(2.7)	0.8(0.1)	17.2(2.6)	322(48.6)
<u>Partículas Mixtas</u>						
A B	46(6.9)	24.7(3.7)	21.3(3.2)			
B C	35(5.3)		19.4(2.9)	15.6(2.4)		
A C	8(1.2)	5.7(0.9)		2.3(0.3)		
A GGs	73(11.0)	22.0(3.3)				51(7.7)
B GGs	64(9.7)		27.5(4.2)			36.5(5.5)
D GGs	38(5.7)				13.4(2.0)	24.6(3.7)
A B GGs	9(1.4)	1.3(0.2)	2.0(0.3)			5.7(0.9)
BD GGs	6(0.9)		1.1(0.2)		0.8(0.1)	4.1(0.6)
TOTAL	662	78.7(11.9)	89.3(13.5)	18.7(2.8)	31.4(4.7)	443.9(67.0)

TABLA Nº 2

PORCENTAJES DE ABUNDANCIA CORREGIDOS (VOLUMEN %)

Partículas libres		Especies minerales				GGs
		A	B	C	D	
A	3.0	3.0				
B	1.6		1.6			
C	-			-		
D	1.7				1.7	
GGs	46.8					46.8
C/D	0.8					
Total		3.0	1.6	0.1	2.4	46.8
Partículas mixtas						
A/B	7.6	4.1	3.5			
B/C	5.6		3.2	2.4		
A/C	1.3	1.0		0.3		
A/GGs	12.0	3.6			8.4	
B/GGs	10.7		4.7		6.0	
D/GGs	6.3			2.2	4.1	
A/B/GGs	0.2	0.3			1.0	
B/D/GGs	1.0		0.2	0.1	0.7	
Total		11.0	13.5	2.8	4.7	67.0

TABLA Nº 3

GRADO DE LIBERACION EN PARTICULAS MIXTAS

Cantidad de mineral participante (% área ocupada) por superficie
expuesta (% de periferie ocupada)

Grado de liberación parcial para cada especie mineral participante
(entre paréntesis)

Partículas Mixtas	Minerales Participantes				GGs
	A	B	C	D	
A/B	1088.25 (23.6)	1223.25 (26.6)			
B/C		1083 (30.9)	675.5 (19.3)		
C/D			21.5 (4.2)	306.35 (61.2)	
A/C	448.5 (56.1)		48.5 (6.1)		
A/GGs	1057.75 (14.5)				2907.75 (39.8)
B/GGs		1288 (20.1)			1948 (30.4)
D/GGs				359.5 (9.5)	1789.5 (47.1)
A/B/GGs	21.4 (2.4)	42.0 (4.7)			348.5 (38.7)
B/D/GGs		(2.4)		(1.8)	(49.8)

TABLA Nº 4

CALCULO DEL GRADO DE LIBERACION POR ESPECIE MINERAL,
PARA UNA MALLA DADA

Partículas libres		A	B	C	D	GGs
A	3x100	300				
B	1.6x100		160			
C	----			---		
D	1.7x100				170	
GGs	46.8x100					4680
Partículas Relativ. libres						
C/D	0.1x100/0.7x100			10	70	
Partículas mixtas						
		300	160	10	240	4680
Partículas mixtas						
A/B	4.1x23.6/3.5x26.6	96.8	93.1			
B/C	3.2x30.9/2.4x19.3		98.9	46.3		
A/C	1.0x56.1/0.3x6.1	56.1		1.8		
A/GGs	3.6x14.5/8.4x39.8	52.2				334.3
B/GGs	4.7x20.1/6.0x30.4		94.5			182.4
D/GGs	2.2x9.5/4.1x47.1				20.9	193.1
A/B/GGs	0.2x2.4/0.3x4.7/1x38.7	0.5	1.4			38.7
B/D/GGs	0.2x2.4/0.1x1.8/0.7x49.8		0.5		0.2	34.9
Total						
		505.6	448.4	57.1	261.1	5473.4
Total Volumen %						
		11.9	13.5	2.8	4.7	67.0
G.L.						
		42.5	33.2	20.7	55.5	81.7

FIGURA Nº 6.- Cálculo del Grado de Liberación de Esfaleritas
(según Ahlrichs, 1981, Tabla I)

PARTICLE COMPOSITIONS	+48 Mesh		48/65 Mesh		65/100 Mesh		100/150 Mesh		150/200 Mesh		200/325 Mesh		-325 Mesh	
	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp	Wt %	% Sp
Free Particles														
Sphalerite (Sp)	7.1	7.1	9.0	9.0	16.4	16.4	16.5	16.5	19.2	19.2	21.6	21.6	21.0	21.0
Pyrite (Py)	28.3	-	27.1	-	28.3	-	33.0	-	23.3	-	17.6	-	13.1	-
Pyrrhotite (Po)	5.1	-	12.4	-	11.8	-	8.8	-	9.9	-	6.8	-	10.5	-
Non-Opaque Gangue (G)	22.7	-	25.4	-	29.6	-	31.9	-	40.7	-	48.3	-	50.7	-
Galena (Gl)	-	-	0.6	-	1.3	-	1.1	-	1.2	-	0.6	-	0.5	-
Sphalerite Middlings														
Sp/G	13.1	2.0	13.6	2.1	7.3	1.4	5.5	1.0	4.7	0.8	5.1	1.1	4.2	1.0
Sp/Py	1.5	0.8	1.7	0.9	2.6	0.4	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-
Sp/Po	2.0	0.5	1.7	0.4	0.7	0.2	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-
Sp/Py/G	13.1	1.2	4.5	0.4	1.3	0.2	1.1	0.2	0.5	0.1	-	-	-	-
Sp/Po/G	5.6	0.6	2.3	0.2	0.7	0.1	1.1	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-
Sp/Po/Py	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sphalerite-Galena Middlings														
Sp/Gl	0.5	0.1	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp/Gl/Py	0.5	0.1	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp/Gl/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena Middlings														
Gl/Po	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gl/Po/G	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microscopic Totals	100.0	12.4	100.0	13.2	100.0	18.7	100.0	18.0	100.0	20.2	100.0	22.7	100.0	22.0
Sphalerite Liberation (%)	57.2		68.2		87.7		91.7		95.0		95.2		95.5	

DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA

La liberación de los minerales es fundamental para la eficiencia de los procesos de tratamientos y como tales un tema frecuentemente abordado por los especialistas; sin embargo al revisar la literatura observamos notables diferencias entre lo que cada autor postula, tanto para definir como par medir la “ liberación” (**KING, 1979; HOCKING, 1981; GAUDIN, 1939; CHIA, 1985; WIEGEL, 1976**) una liberación perfecta seria aquella en que todos los granos de una determinada especie mineral quedaran completamente separados de las otras especies asociadas; ello es prácticamente imposible de obtener fundamentalmente debido a que los esfuerzos mecánicos rompen mas fácilmente el “cuerpo” de una especie mineral dada que los bordes entre una especie y otra. Por otro lado, cuanto mas compleja la composición mineralógica y la geometría de los intercrecimientos mas compleja será su repuesta a los esfuerzos mecánicos de futura y en consecuencia una determinada magnitud de molienda producirá tendencias de liberación muy diferenciadas entre una especie mineral y otra como bien señala HOCKING (1981), “ la liberación es función de la composición mineralogía de cada partícula en el material considerado y será diferente para cada una de las especies minerales presentes”.

Pero si bien la liberación perfecta es su utópica para la efectividad de los procesos de tratamientos es suficiente que las especies minerales alcancen un cierto grado de liberación al ver que corresponde al máximo rendimiento económico del proceso. Desde este punto de vista, dado que para cierto tamaño de grano una determinada especie mineral puede ocurrir tanto como la forma de partículas monominerales (libres) como poliminerales (mixtas), no es suficiente establecer en ciertas partículas aparecen totalmente libres, si no que es necesario caracterizar cuan libre puede ser considerado dicho mineral en las partículas mixtas en que participa. Una determinación de grado de liberación que solo tenga en

cuanta las partículas completamente liberadas y/o que asignen a todas las partículas mixtas una calificación similarmente negativa constituye una inadecuada simplificación del problema; e hecho que una parte de una partícula mixtas vaya al concentrado mientras que otra parte constituida por las mismas especies minerales, se va a los relaves (o que una lixivien mejor que las otras) es un argumento contundente en contra de dicha simplificación. Fig. 6 Tomada de AHLRICHS (1981) es ejemplo de tal metodología simplificada incluso utiliza en procedimiento de convertir los porcentajes de volumen en porcentaje de peso; un procedimiento muy discutible por cuanto al introducir el peso específicos de las especies minerales, muy diferentes entre unas y otras se distorsionan los resultados del recuento microscópica de partículas que esta basadas en el registro de puntos, líneas o áreas equivalentes a volúmenes y no a pesos. Peca igualmente se simplifica la metodología propuesta anteriormente por el presente autor (CANEPA 1985).

Considerando todo lo expuesto, el método que ahora se propone tiene en cuenta las características realmente significativas de las partículas minerales con relación a la naturaleza misma de los procesos de tratamiento: los diferente parámetros medidos le permiten al especialista discriminar la “actitud reactiva” de cada tipo de partículas en que participa una determinada de especie mineral. Finalmente el grado de liberación así calculado para cada especie mineral de una fracción granulométrica dada, resulta un indicador altamente confiable para diversos cálculos y evaluaciones de tipo técnico y económico.

7.- APLICACIÓN A PROBLEMAS ESPECÍFICOS

a) Estudio de muestra del circuito de flotación de la planta “T”:

Se estudio muestras correspondientes a puntos críticos del circuito (cabeza, concentrado, relave) el analices granulométrico arrojó los resultados en la tabla N°5.

TABLA N°5

Fraccion	Cabeza	Concentrado	Relave
Malla+100	12.8	4.6	12.5
Malla+150	16.7	4.0	12.3
Malla+270	26.2	33.8	27.3
Malla+400	13.9	12.2	10.2
Malla-400	30.4	45.4	25.7

Luego del estudio microscópico se determino los porcentajes de abundancia y los grados de liberación de diversas partículas en cada una de las fracciones de las muestras **CABEZA, CONCENTRADO y RELAVE**.

En la tabla N° 6 se muestra los resultados en el caso de la fracción de malla +100 de la muestra **CABEZA**.

TABLA N° 6

PORCENTAJE DE ABUNDANCIA (VOLUMEN %) Y GRADO DE LIBERACION (entre paréntesis) DE LAS PARTICULAS MINERALES OBSERVADAS AL MICROSCOPIO

MUESTRA: CABEZA, MALLA +100

Partículas libres		Cp	SFs Cu	mt	GGs
Cp	0.7	0.7			
SFsCu	0.1		0.1		
mt	1.5			1.5	
GGs	85.3				85.3
Partículas relativ. libres					
Cp/SFsCu	0.2	0.1	0.1		
Total		0.8 (100)	0.2 (100)	1.5 (100)	85.3 (100)
Partículas mixtas					
cp/GGs	2.9	0.8 (18.5)			2.1 (54.3)
SFsCu/GGs	1.7		0.3 (6.4)		1.4 (46.1)
mt/GGs	5.5			1.7 (32.4)	3.8 (25.8)
SFsCu/mt	0.2		0.1 (3.6)	0.1 (5.3)	
SFsCu/cp/GGs	0.8	0.2 (2.4)	0.2 (4.3)		0.4 (38.6)
cp/mt/GGs	0.8	0.1 (2.1)		0.3 (4.2)	0.4 (12.5)
SFsCu/mt/GGs	0.3		0.1 (1.2)	0.1 (3.1)	0.1 (5.3)
Total de productos		95.49	23.26	207.18	8827.58
Total volumen %		1.9	0.9	3.7	93.5
G.L.		50.2	25.8	56.0	94.4

En la siguiente N°7 se muestra los valores del grado de liberación para todas las fracciones de la muestra CABEZA.

TABLA N° 7
GRADO DE LIBERACION DE CADA ESPECIE MINERAL EN LAS
DIVERSAS FRACCIONES GRANULOMETRICAS

MUESTRA : CABEZA

Especie	+100	+150	+270	+400
cp	50.2	58.4	71.5	94.3
SFsCu	25.8	59.2	75.2	94.0
mt	56.0	63.7	88.4	99.2
GGs	94.4	96.0	98.2	99.5

Es evidente que la muestra presente menas de difícil liberación (Cp y SFsCu) ya que aun en la malla +270 sus grados de liberación son relativamente bajos. Como las gangas transparentes aparecen con buena liberación aun en las mallas gruesas, es evidente que los enlaces mas difíciles de romper son las que forman la magnetita con las menas de cobre. Si toma no se en consideración que la porción de la muestra que no pasa la malla 270 representa casi el 55% del peso total de la misma (ver tabla 5) resulta evidente que a este material le falta molienda. (Si se intercalase una celda de flotación bula, solo habría que un porcentaje menor ya que las gangas, liberadas con poca molienda quedarían rápidamente eliminadas del circuito).

Vease ahora lo que sucede con la muestra **CONCENTRADO**, la tabla N° 8 resume los cálculos del grado de liberación para las diferentes fracciones.

TABLA Nº 8
GRADOS DE LIBERACION DE CADA ESPECIE MINERAL EN LAS
DIVERSAS FRACCIONES GRANULOMETRICAS

MUESTRA CONCENTRADO

Especie	+100	+150	+270	+400
cp	73.2	88.4	90.0	98.6
SF ₅ Cu	88.4	86.3	89.2	97.3
mt	55.0	76.3	97.2	97.4
GGs	60.6	64.7	72.5	89.1

La deficiente molienda detectada en la muestra de **CABEZA** se manifiesta en cada muestra mediante grados de liberación relativamente bajos para magnetita y gangas, especialmente en las mallas gruesas; lo cual refleja persistencia de una cierta cantidad de mixtas magnetita/mena y especialmente gangas/menas que se encuentra aun en la malla +400. Por otro lado los grados de liberación relativamente altos de la magnetita (especialmente a partir de la malla 270) indican que una buena parte de dicho mineral flota como partículas libres lo que podría ser atribuido a un rendimiento deficiente de los reactivos utilizados.

Los grados de liberación indican también que los mixtos gangas/mena flotan, mejor que los mixtos magnetitas/menas.

Por ultimo los resultados de la muestra **RELAVE** que aparecen en la tabla Nº 9 explican como parte de cobre escapa del proceso a través de las menas asociadas a magnetitas y gangas.

En resumen el estudio de las diversas muestras permiten comprobar como la insuficiencia molienda atenta contra la eficiencia del proceso.

TABLA Nº 9

**GRADO DE LIBERACION DE CADA ESPECIE MINERAL EN LAS
DIVERSAS FRACCIONES GRANULOMETRICAS**

MUESTRA: RELAVE

Especie	+100	+150	+270	+400
cp	46.4	49.2	26.4	39.8
SFsCu	28.4	22.3	31.0	100
mt	56.2	89.3	96.8	99.6
GGs	93.7	97.4	97.6	99.2

**b) Comparación de la eficiencia de 3 diferentes tipos de molino
que trabaja con una misma alimentación:**

Una compañía minera estaba llevando adelante un proyecto de expansión de una planta de flotación. Lógicamente, uno de los problemas fundamentales consiste en ampliar la capacidad de molienda para lo cual había que decidir cual de los tres tipos de molinos que ya estaban operando era el mas conveniente de manera que pudiera servir par las nuevas adquisiciones.

En consideración con el metalurgista encargado del proyecto se decidió efectuar un estudio microscópicos comparativos de los materiales producidos por cada molino si bien es usual evaluar la eficiencia de los molinos esencialmente de un punto de vista mecánico, se considero que seria sumamente importante evaluar la “eficiencia mineralógica”: esto es la capacidad de producir partículas minerales suficientemente actas para ser flotadas. Como primer paso, se efectuó el análisis granulométrico de las respectivas muestras, luego se confecciono las probetas pulidas correspondientes y se procedió a calcular el grado de liberación para cada una de las

especies minerales presentes. Los resultados son los mostrados de la tabla N° 10 para tratar de convertir tales resultados en parámetros respectivos de la eficiencia, fue necesario establecer ciertos razonamientos previos. Así, de acuerdo a la composición mineralogía pudo estimarse que sería posible obtener por lo menos dos tipos de productos: un concentrado de Zn (constituido exclusivamente de esfalerita), y un concentrado Pb – Ag con algo de Cu (constituido fundamentalmente de galena, bournonita, cobre gris y jamesonita) en consecuencia se recalculo los valores de los porcentajes de liberación de las especies minerales correspondientes agrupandolas en minerales de Zn y Pb.

A continuación se procedió a calcular un valor representativo del grado de liberación para cada molino al cual se le domino grado de liberación ponderado (separadamente, por supuesto, para minerales Zn. Y para minerales Pb.) en método utilizado aparece indicado en la parte inferior de la tabla N° 10 y se fundamenta en los principios siguientes: a) para obtener un valor representativo de la eficiencia de cada molino hay que integrar los valores obtenidos para cada una de las fracciones granulométricas y ellos requiere tomar en cuenta que porcentaje representa cada una del peso total de la muestra asumiendo que el grado de liberación agrupada de cada malla tiene una significación que es directamente proporcional a la porción del peso total de la muestra que representa; b) se asume también que un molino es mas eficiente cuanto mas alto son los grados de liberación que alcanza con menor gasto de energía; en consecuencia es preferible que los grados de liberación sean lo mas alto posible en las mallas gruesas de manera que su significado resulta inversamente proporcional al numero de malla; c) el tipo de molino mas eficiente desde el punto de vista mineralógico será aquel que obtenga los mas altos grados de liberación ponderados, simultáneamente para los grupos minerales considerados (en este ejemplo el molino B, ver la Tabla N° 10).

TABLA Nº 10

esp. min.	Molino A				Molino B				Molino C			
	+100	+150	+270	+400	+100	+150	+270	+400	+100	+150	+270	+400
ef	(59.3)	(14.3)	(6.5)	(7.0)	(69.8)	(12.0)	(6.8)	(6.3)	(78.9)	(5.5)	(3.0)	(4.5)
gn	51.8	67.2	89.3	92.6	63.7	69.2	70.2	80.6	42.7	71.3	74.9	89.5
brn	62.3	70.4	70.2	86.4	60.2	76.4	89.3	93.3	54.9	73.6	82.6	100
CRRe	-	100	100	-	100	59.2	100	100	-	100	-	100
cp	65.1	100	100	100	60.3	100	-	100	26.2	83.0	-	100
fm	100	-	-	100	-	31.6	100	100	18.7	100	74.3	62.1
apv	23.2	100	64.1	100	22.4	49.9	100	100	-	100	100	100
py	69.3	71.6	64.3	92.2	64.7	73.5	75.4	94.6	46.4	58.4	72.4	82.3
fgs	73.4	79.7	80.1	93.4	76.4	85.4	88.3	80.4	61.2	67.6	74.3	80.6
	79.2	64.3	90.6	93.7	82.5	84.0	92.8	91.3	76.8	80.4	88.2	93.2
Valores Agrupados												
Min. Zn	51.8	67.2	89.3	92.6	63.7	69.2	70.2	80.6	78.9	71.3	74.9	89.5
Min. Pb	55.7	71.0	70.8	88.0	56.1	71.0	85.3	93.5	54.9	75.1	83.0	100
Cálculo del Grado de Liberación Ponderado												
Para cada tipo de mineral, multiplicar el G.L. en cada malla por el % en peso de la fracción granulométrica respectiva y dividir cada producto entre el número de la malla expresado en centenas. La suma de los cocientes es dividida entre la suma de los porcentajes en peso de las fracciones granulométricas involucradas.												
Min. Zn	4089.41 : 87.1 = 46.9				5048.8 : 90.9 = 55.5				3814.36 : 91.9 = 41.5			
Min. Pb	4304.31 : 87.1 = 49.4				4578.6 : 90.9 = 50.4				4811.69 : 91.9 = 53			