

# Esquema económico sobre el beneficio de minerales metálicos de precio medio. Experiencias que afectan favorablemente al proceso.

AMOR BOUZAS, F. (\*); MURAI S SOLE, A. (\*\*)



El punto de partida de este trabajo es lo que a nuestro entender constituye la realidad generalizada de este sector, es decir la existencia de yacimientos con leyes medias próximas a 500 grs./Tm., reservas totales entre 2,5 a 5 miles de Tm. de metal y yacimiento primario o secundario.

Las soluciones económicas —precios protegidos, subvenciones a fondo perdido o restricción a importación— quedan descartadas por entender que no resuelven el problema en profundidad.

La tutela estatal se descarta por inoperante, más demagoga que real y, si bien es cierto que puede ser cuantificada por su magnitud (miles de millones), sus condicionamientos en inter-ventores destruyen su operatividad.

Desde aquí queremos llamar la atención sobre la conveniencia de una política minera generosa en ayuda a la información, colaboraciones transparentes y desinteresadas, desaparición de Reinos de Taifas mineros y devolución del conocimiento minero que pueda existir a su verdadero dueño, de forma que tan alto estamento técnico-científico, no sea propietario de la información sino servidor de la misma. Este sería el gran servicio que se podría realizar para dar paso a la siguiente etapa: ¿cómo poner en explotación las reservas conocidas de estos metales de precio medio?

¿Qué entendemos por minas metálicas cuyos metales son de precio medio? Para nosotros son aquellas cuyas toneladas de concentrados se venden en millones de ptas. y los contenidos del criadero se expresan en PARTES POR MILLON (ppm). Nos referimos por lo tanto a minerales de ESTAÑO (Casiterita), TUNGSTENO (Wolframita y Schelita) y TANTALO (Tantalita-Columbita), generalmente asociados y con técnicas de estudio, concentración y afino muy similares.

Para puntualizar mejor este trabajo nos referiremos a yacimientos de ESTAÑO como metal prioritario, sabiendo que es ampliable a los demás.

Queremos llamar la atención sobre el hecho de que esta minería representa una parte muy pequeña del sector minero general, tanto en tonelaje como en valor extractivo. Sin embargo requiere unos conocimientos muy concretos es decir, una verdadera especialización tanto para su investigación e interpretación, como para su posterior explotación. Como contrapunto sus concentrados presentan la ventaja de una fácil venta, no precisándose de una comercialización especializada.

La minería de ESTAÑO y TUNGSTENO en España es coyuntural, con puntos álgidos en las guerras (Mundial, Corea, etc.), que son por tanto puras emergencias, pasadas las cuales la minería languidece o se extingue.

¿Quién es el promotor de estas actividades mineras? Generalmente el Capital exterior

(\*) Ldo. en Ciencias Químicas y en Farmacia.

(\*\*) Ingenierc de Minas.

acompañado por tanto de una serie de circunstancias exteriores muy apartadas de la realidad minera española que solo dará sus frutos por razones ajenas al criadero, su realidad y su valor real.

Queremos aquí llamar la atención sobre este hecho: si no fomentamos desde dentro los conocimientos sobre estos criaderos, las posibilidades de desarrollar este sector tanto por el factor humano —técnicos especialistas— como en el factor económico serán nulas. El espectáculo de que se opine «España, un potencial importante en Europa», cuando la realidad actual es una producción anual de cerca de 400 Tm. de contenido metálico (Sn), con un valor que no alcanza los 500 millones de ptas/año, y no ocupe más de unos cientos de puestos de trabajo, es inadmisibile.

Urgen por tanto dos medidas:

1. Potenciar la investigación minera en este sector.
2. Desarrollar esta minería, en cuanto a viabilidad, en el sentido de desarrollar instalaciones funcionales con baja inversión y gran efectividad.

A la 2ª medida va dirigido este trabajo porque al parecer, en España, abundan yacimientos de escasas reservas y bajo contenido no aptas para el Capital exterior, pero que pudiera ser adecuado para el Capital propio si entre todos, por cooperación y racionalización, lo hacemos atractivo y rentable.

No vamos a entrar en detalle de como nace un descubrimiento de ESTAÑO, pero por su especial idiosincrasia, parece que está en función del tesón y empeño que se ponga en ello.

Llegado a este caso, ¿cuando podemos decir que nos encontramos ante un proyecto viable?

Si pensamos en manos de quién está en España esta minería y quienes son sus promotores, hemos de reconocer que su situación es muy delicada y que es necesaria una gran vocación para paliar el problema. Creemos que en este sector debería hacerse un gran esfuerzo, no siempre coinciden estas vocaciones con los conocimientos, desgraciadamente, y de ahí el que se produzcan descalabros.

En este sector de la minería se echa en falta la credibilidad, de ahí que las inversiones en investigaciones, contablemente, vayan a fondo perdido aún en los casos de que se presagie un final feliz.

Por lo tanto los análisis contables son muy desfavorables para aquellas empresas que dediquen grandes esfuerzos en la investigación y no digamos si todo su activo es realmente trabajos de investigación.

Nada de lo que en el proyecto ocurre, puede extraerse de otros conocimientos, aquí estamos investigando trazas (ppm) y aquilatando pesetas. Cada criadero es un mundo y todo tenemos que ajustarlo a él y, lo más que podemos hacer, ejercer similitudes dentro del sector de estos metales.

Veamos de forma esquemática una cuenta de resultados mineros cuando finaliza la operación:

INGRESOS:      Venta de productos principales.  
                    Venta de subproductos.

GASTOS:        Adquisición de derechos mineros y de otros géneros.  
                    Investigación.  
                    Primera instalación.  
                    Explotación.  
                    Financieros.  
                    Impuestos.  
                    Cuenta de resultados.

Si aplicamos el «cash flows», para ser realistas, nos damos cuenta de que la necesidad de dinero es muy grande hasta alcanzar el punto en que la explotación comienza a crear saldos favorables que cambia el sentido del movimiento, es decir que aparece por primera vez saldos favorables y que se cumplen destinos del dinero, que actúan favorablemente en el concepto empresarial minero.

Este distanciamiento entre el comienzo de los gastos y la aparición de ingresos, produce en el inversor un condicionamiento psicológico que sólo puede vencerse con la vocación y la garantía de los conocimientos sobre el criadero y el esquema económico de su rentabilidad.

El conocimiento del criadero es caro, y tanto más caro cuanto más se exige de este conocimiento.

En operaciones mercantiles mineras, es frecuente la aparición de datos verdaderamente contradictorios dentro de un contexto de verdad.

Decimos esto porque la investigación ha de darnos puntualmente conocimiento del estaño, cuya recuperación es viable con los métodos y los precios actuales y dentro siempre de niveles bajos. Por tanto es imprescindible extremar todo lo referente a la toma de muestras, su proceso de reducción tanto en peso a utilizar en la concentración, como por los cuarteos sucesivos hasta llegar a la muestra objeto de análisis.

Contra algunos criterios, la contaminación de las muestras de variedades de minerales de estaño, que no son casiterita, es muy grande y, además, la casiterita deberá alcanzar tamaños apropiados para su recuperación por los medios actuales.

Cuando la investigación geológica-económica termina, comienza —si ésta resulta favorable— la determinación del costo real operativo para su explotación.

Esta explotación, en su sentido económico, deberíamos dividirla en varios capítulos que sólo podrán ser valorados en su conjunto para determinar la viabilidad de un proyecto.

Si utilizamos el patrón más alto, para cada uno de ellos, podemos asegurar que, al menos en España, en la actualidad no se conocen criaderos explotables con rentabilidad.

En el capítulo de Gastos, es donde el estudio previo y la razonable utilización de medios, tiene su mayor incidencia en el sentido que el acierto o el desacierto pesa sobre la cuenta de resultados totalmente imputables a los responsables del proyecto.

Para mejor comprensión y desarrollo, los subdividiremos en:

Gastos por arranque y transporte.

Gastos por acondicionamiento del material.

Gastos por concentración.

Gastos por almacenamiento de los estériles.

Utilización de medios complementarios (agua, energía, espacios, etc.).

Al aportar la investigación —en «hipótesis de trabajo»— cuantas son las reservas y los mercados mundiales, los valores económicos de sus productos principales, queda fijado ya un valor unitario del producto a explotar.

Aquí sólo trataremos de la incidencia en el gasto de las partidas de explotación; debe quedar un margen entre el valor unitario de venta y el valor unitario de explotación, para con él atender a las amortizaciones del capital utilizado, tanto para la investigación, como para las adquisiciones de todo tipo, así como las obligaciones de impuestos y cargas financieras, y que al final quede un saldo favorable para premiar al Capital que ha corrido el riesgo minero.

Como dato contrastado podemos asegurar que un criadero no debe tener problemas cuando el «ley» está próximo a las 1.000 ppm en trabajos mineros a cielo abierto y filonianos, y 500 ppm en los criaderos secundarios (aluviones), en ambos casos con reservas totales superiores a las 2,5 miles de Tm. de ESTAÑO.

Pero, ¿Cuál es el nivel inferior posible? Este es el verdadero problema, cuanto más bajo sea, más yacimientos se convierten en rentables y en este sentido debe realizarse el esfuerzo.

De los conocimientos que tenemos sobre yacimientos españoles podemos afirmar que todos ellos están muy próximos a las 600 ppm en los primeros y 200 ppm en los secundarios. Pero además la mayoría no alcanza las 2.000 Tm. de Sn. en sus reservas. Unos pocos llegan a 5.000 Tm. y un par de ellos superan las 10.000 Tm. de Sn.

La minería de ESTAÑO anterior, se ocupaba de masas muy pequeñas con alto contenido en ESTAÑO.

Actualmente es todo lo contrario. Los yacimientos filonianos, se consideran en su conjunto (paquetes de filones) y a ser posible, minería a cielo abierto.

Los aluviones, de grandes volúmenes y con posibilidad de total mecanización. Como contrapartida, los contenidos de ESTAÑO, medidos en ppm.

Este hecho nos obliga a una consideración importante, «la anomalía» Sn, queda poco destacada del fondo regional del Sn. de aquí que vigilemos mucho, tanto los medios de análisis, como la toma de muestras y posterior tratamiento.

Hemos de destacar que los valores del Sn. obtenidos por análisis de una muestra de «todo uno», sólo pueden servir para poner de manifiesto el Sn. La valoración del criadero deberá realizarse partiendo de concentrados. Esta situación es de suma importancia, 1.º para valorar el criadero, 2.º para saber lo que debemos exigir a los lavaderos.

En el primer caso, partamos siempre de muestras grandes, respetemos la representatividad de la muestra obtenida y, cuando llega el análisis, sea sobre al menos un preconcentrado. la incidencia del «fondo» de Sn. que sea lo mínimo posible y el método de análisis, sea preciso, pero necesariamente económico. Lo que se ahorra en controles analíticos, se traducirá en un aumento de riesgos.

En el segundo caso, subrayemos que la Casiterita no recuperable carece de valor para la determinación de reservas. Por tanto, debemos considerar como ESTAÑO a recuperar aquél que, de forma artesanal, se consiga recuperar con la batea, o bien utilizando líquidos densos con densidad próxima a 2,7. Cuando digamos que debemos recuperar un determinado porcentaje, nos referiremos al concentrado por éstos métodos, nunca al control químico de la alimentación (entrada).

Después de estas divagaciones generales, vamos a centrarnos en lo que puede influir en la economía de una explotación de ESTAÑO.

Analizaremos las partidas por separado, cuyo total determinará el valor unitario del costo de explotación.

## **ARRANQUE Y TRANSPORTE**

Es de toda necesidad el controlar rigurosamente este costo. Tenemos actualmente un valor similar en las explotaciones de carbón a cielo abierto.

No debe considerarse el arranque como un simple movimiento de tierras; cuando decimos que necesitamos mover 900.000 Tm./año (300 días), queremos decir también que necesitamos 3.000 Tm./día (de 8 horas o, en el peor de los casos, de 24 horas) y no de promedio, sino de valor real diario. Este caso no se contempla en el movimiento de tierras generalmente. Tendremos que tener en cuenta los valores difíciles del arranque para garantizar el suministro diario. Lo mismo ocurre con el transporte en las épocas difíciles, (fríos, lluvias), tienen que estar contemplados y, en consecuencia, no dudar en una mayor inversión, cuando con ello garantizamos el suministro, sin un sustancial aumento del costo unitario. No debemos olvidar que, hoy por hoy, no podemos planificar la destrucción de la Naturaleza sino sólo su utilización con la menor alteración del paisaje.

Por tanto, dos premisas imprescindibles: a) Conseguir una extracción racional al mínimo costo. b) La misma destrucción compensada con un feliz remate, a ser posible, mejore el paisaje natural.

## **ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL**

Hemos de señalar que la etapa siguiente será de concentración gravimétrica, por lo tanto, el acondicionamiento deberá dirigirse a tal fin.

Dos cuestiones se colocan como prioritarias:

- a. Eliminación de aquellas partículas que, por su pequeña magnitud, no puedan ser objeto de tratamiento, aún en el supuesto de que tenga valores de ESTAÑO. Su presencia, cuando menos, aumenta la cantidad material a tratar pero, generalmente, puede traer malas consecuencias.
- b. Reducir el tamaño de las partículas del material hasta que se logre la liberación total (económicamente rentable) de la Casiterita existente, pero moviéndonos entre dos grandes límites: si las partículas son gruesas, la liberación será muy escasa y, si son muy finas, además de ser procesos muy caros, producirá abundancia de partículas de Casiterita que no serán recuperables.

Como decíamos anteriormente, hoy moveremos grandes masas, que solamente serán parcialmente cuarzos; por tanto, la presencia de arcillas en las pizarras que constituyen las salvandas de los filones, estará muy generalizada. Si en vez de minas filonianas se tratara de aluviones, la presencia de arcillas está asegurada. La eliminación de arcillas se impone. Su presencia en los circuitos de los lavaderos son fuente de dificultades. Una adecuada instalación de clasificación de aguas, es fuente de producción de arcillas o caolines, por un lado, y una estabilización de arcillas en los circuitos, desaparición de posibles contaminaciones en cauces por vertido de aguas residuales, por otro.

Entendemos que mediante máquinas apropiadas (tromeles-ciegos, etc.) deberán movilizarse las arcillas o caolines que contengan los materiales objeto de tratamiento. Así mismo, se evitará en lo posible la contaminación en Sn. de las mismas (aparición de ultrafinos de Casiterita procedente de quebrantos o molindas). La eliminación por decantaciones (clasificación de aguas) permite establecer circuitos cortos de recirculación de aguas, con el consiguiente ahorro de la misma (generalmente un bien escaso) y abaratamiento del proceso.

La liberación del mineral Casiterita, es necesario en aquellos casos de material filoniano o en aquellos depósitos eluvionales o aluvionales, donde se encuentre no liberada, siempre que costee su molienda.

Esta liberación se conseguirá mediante quebrantos y molindas hasta conseguir su liberación, dato este, que deberá determinarse por previo estudio.

Hemos de destacar que tratamos de recuperar metales de precios superiores a 1.000 pts/Kgr., por ello los tenemos en cuenta a pesar de concentraciones como 500 ppm. Pues bien, sería intolerable que estériles con este valor, fueran desechados y, sin embargo, la densidad del conjunto (ganga-mena) apenas se diferencian de los livianos.

Quede claro que no es posible conseguir unos concentrados de mixtos recuperados por métodos gravimétricos con valores de 0,1 % Sn. ya que la densidad de estos mixtos es igual a la densidad media de estériles.

El anexo 1 nos da valores relacionados de % Sn., densidad, porcentaje de Casiterita en volúmenes y relación del criterio de concentración (c.c.).

Cuando se plantea el problema de la liberación, no tenemos más remedio que ir a por él de la única forma posible: molienda de todo el material hasta alcanzarla.

Ahora bien, tengamos en cuenta estas condiciones:

1. No moler lo que ya está molido.
2. Ver si existen fracciones granulométricas abundantes, con muy bajos contenidos en Sn, que puedan eliminarse.
3. Evitar la producción de ultrafinos (porciones inferiores a las 70 micras) cuya recuperación gravimétrica puede ser muy baja.

Si reducimos mucho el tamaño de las partículas para alcanzar la liberación, puede resultar contraproducente por las pérdidas originadas con los ultrafinos. Y si no liberamos, las pérdidas se producen en forma de mixtos.

La fragilidad de la Casiterita o Schelita es un hecho de ahí que no pueda ignorarse a la hora de las molindas tanto en la elección de las máquinas, como en la de determinar hasta que punto debemos llevar la reducción de las partículas.

Decíamos al principio de este apartado, que tendríamos sumo cuidado con eliminar partí-

culas finas ya existentes (arcillas), ahora abundamos; si no se corrige su presencia, el tratamiento de ultrafinos, se complica, ya que está produciendo medios densos, que reducen aún más la recuperación de los ultrafinos.

Si alguna posibilidad hay de recuperarlos, será sin presencia de arcillas, de ahí que debamos tener esto muy en cuenta a la hora de establecer circuitos.

En la fase de preparación, queremos destacar dos apartados, que por conocidos, no deja de ser importante subrayarlos, se trata de:

- A. Los ciclones.
- B. Las cribas estáticas para finos y ultrafinos.

El aparato ideal para cortes granulométricos a alta velocidad, es el ciclón. Con él podemos conseguir, entre otras cosas, aplicarlo en un lavadero para la eliminación de arcillas.

Un lavadero exige una alimentación uniforme. Los materiales antiabrasivos están muy generalizados. Estas dos circunstancias hacen que el ciclón funcione perfectamente en lavaderos bien controlados.

La economía y efectividad de las cribas estáticas, para materiales finos, está perfectamente probada. La combinación de cribas estáticas y ciclones permite diseños muy racionales y efectivos en plantas de concentración gravimétricas.

## **CONCENTRACION GRAVIMETRICA**

Antes de entrar en más detalles, trataremos de las definiciones para conseguir la mayor claridad y precisión en la exposición.

CAPACIDAD.  
GRADO DE CONCENTRACION.  
RECUPERACION.  
GRADO DE LIBERACION.  
GRANULOMETRIAS

### **CAPACIDAD**

Cualquier valor que se de a las mismas, ha de entenderse como relación de cantidad/tiempo pero en condiciones aceptables de trabajo. Nunca debe sobrepasarse las condiciones de normalidad porque un aumento de alimentación puede traer consigo una disminución de la recuperación, produciendo como consecuencia un encarecimiento unitario del proceso (por pérdida de ingresos).

### **GRADO DE CONCENTRACION**

En un equipo, el grado de concentración es el cociente de dividir la cantidad de material pasado, por la cantidad de concentrado producido según el esquema de recuperación propuesto.

### **RECUPERACION**

Este punto tiene que quedar claro. Definamos primero el valor recuperable del ESTAÑO de un yacimiento, y luego calculemos su recuperación. Como decíamos, de poco vale conocer el ESTAÑO químico contenido en una muestra, lo importante es saber cual es el ESTAÑO recuperable de esta muestra.

Los patrones más utilizados son: La batea.  
Los medios densos.

En el 1.º caso, es necesario el empleo de especialistas y además que el ESTAÑO esté liberado.

En el 2.º caso, deberán utilizarse medios densos apropiados, y que la densidad no sobrepase del 2,7.

Todos los controles se realizarán siguiendo uno de los métodos, y cuando digamos que un producto es estéril, se entiende que se realizó el control sobre un concentrado de batea o un hundido de líquidos densos. Lo mismo ocurre con los concentrados; su análisis equivale a concentrados de batea o un hundido de medios densos.

La recuperación se define teniendo en cuenta el método de valoración antes descrito: el cociente de dividir la cantidad de Casiterita (ESTAÑO) obtenido por la cantidad de Casiterita (ESTAÑO) recuperable que ha alimentado al circuito. Expresándolo en %, para más precisión:

$$R = \frac{c(a-e)}{a(c-e)} \times 100$$

donde: c = concentrado  
a = alimentación  
e = estériles

Estos valores han de ser altos (superiores al 90 %), pero, recordaremos de nuevo, expresados en ESTAÑO recuperable, no en el que el análisis químico dé en la muestra no concentrada.

## GRADO DE LIBERACION

Podríamos definirlo como aquél en que los productos estériles tienen un contenido en ESTAÑO (los mixtos) tal, que su liberación no resulta rentable.

Su definición no es muy determinante, pues por ser un valor económico, tendrá que definirse para cada caso.

## GRANULOMETRIAS

El tamaño de las partículas se definen en función de la tela de criba que las deja pasar (-) o las rechaza (+).

Es usual marcar el valor superior (paradójicamente diciendo «menor de») e indicar con el signo positivo el valor de malla que lo rechaza, excepto la última que tendrá un menos.

Otra forma es promediar la tela superior (que pasa) y la inferior (que rechaza) y darle el valor promedio. Por ejemplo -10 + 3, se definiría como 6,5.

Otra forma es determinar cual es la tela que rechaza igual cantidad que la que pasa de un tamaño determinado ( $d_{50}$ ).

Establecidas estas definiciones, vamos a enmarcar la situación.

En la minería de ESTAÑO, necesitaremos unos equipos que reúnan las siguientes condiciones:

1. Poseer una gran capacidad.
2. Tener un alto valor de GRADO DE CONCENTRACION.
3. Que puedan tratar minerales de granulometría fina.
4. Poseer una gran recuperación.

## GRAN CAPACIDAD

Como indicamos al principio, la minería de ESTAÑO, se caracteriza porque sus contenidos en Sn. están próximos a las 500 ppm. Por tanto, para producciones normales, deberemos pasar por la planta gran cantidad de material.

Las cantidades a pasar no podrán ser inferiores a las 2.000 Tm/día, trabajando las instalaciones las 24 horas. no podrá bajarse de las 100 Tm/hora.

En caso de aluviones, que por lógica, su contenido en ESTAÑO será inferior al de minas filonianas, a igual valor de rentabilidad, el volumen horario a tratar deberá ser mayor.

## **GRADO DE CONCENTRACION**

La necesidad de simplificar las instalaciones y poder trabajar con grandes volúmenes de materiales con leyes muy bajas, hace que precisemos equipos de gran eficacia. Denominaremos grado de concentración la relación entre el peso de material pasado y el peso del concentrado obtenido. Este resultado se entiende cumpliendo un valor de recuperación determinado.

## **MATERIALES FINOS**

Como indicamos anteriormente, tratándose de minerales de ESTAÑO y TUNGSTENO, la concentración ha de realizarse con materiales con granulometrías próximas al mm. en su valor máximo. Por tanto los equipos de concentración tendrán que seleccionarse entre los que posean una recuperación aceptable en finos.

En gravimetría, los equipos de que disponemos son:

Jigs (cribas) hidráulicas.

Mesas de sacudidas hidráulicas.  
" " " " neumáticas.

Medios densos.

Espirales.

Los más comunes y de más sencilla aplicación son las mesas hidráulicas y los jigs.

## **LAS MESAS**

Están muy generalizadas, las ventajas e inconvenientes son de sobra conocidas, poco puede apuntarse como novedad, solamente recordar que: requieren una alimentación muy constante, granulometría muy regular, sus capacidades son pequeñas (no llegan a 1 Tm/hora) no deberán ser utilizadas en tamaños gruesos mayores de 1 mm, la relación sólido/líquido, estará en 1/2 o 1/3, requiere un buen ajuste. Para desbaste, tendrán que utilizar amplias bandas, lo que reduce el grado de concentración y para el afino al tener que producir concentración alta, producirá unos reciclajes muy fuertes disminuyendo el rendimiento efectivo.

Resumiendo, la utilización de mesas de sacudidas necesita una buena cobertura (no utilizables a la intemperie), buena dosificación, granulometrías estrechas, gran cantidad de ellas y, por lo tanto una gran superficie. Un buen equipo de mantenimiento y un gran consumo de energía.

Esto limita su uso a materiales de una alta concentración, para que la incidencia en el precio del mineral a recuperar sea bajo.

## **JIGS:**

Son los equipos a nuestro juicio más compactos y eficaces que encontramos en el mercado. Sin embargo el conocimiento de su mecánica y razón de ser no está muy extendida, lo que hace que sea frecuente verlos en los lavaderos retirados de las instalaciones proyectadas

como indicando su falta de utilidad. Nuestra opinión es la contraria, y el hecho de que no se obtengan de ellas resultados positivos es más que nada por desconocimiento de los mismos.

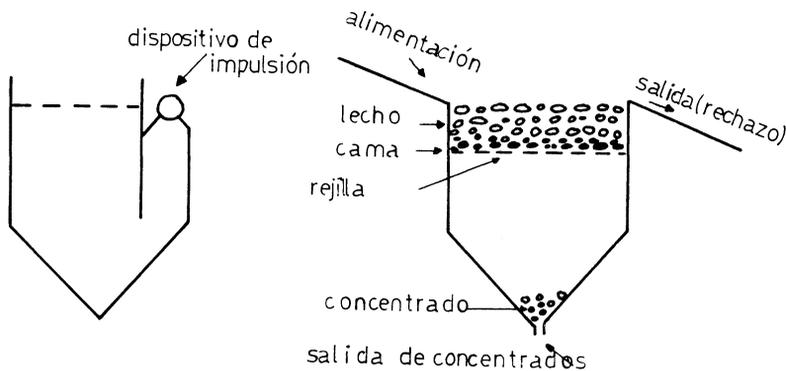
Su complejidad se debe a la cantidad de parámetros que entran en juego, lo que obliga a una reordenación de ideas para que la complejidad se convierta en versatilidad y sea una ventaja (recurso).

En primer lugar, tenemos que determinar cuales son las operaciones (trabajos de concentración) que puedan realizarse con los mismos.

En el anexo 2 vemos una gráfica que relaciona los criterios de concentración con los diámetros de las partículas y su recuperación.

En ella observamos, delimitados por una curva, dos campos diferentes según se pueda o no utilizar el jigs, en función del tamaño de las partículas y conociendo bien la constitución de livianos y densos.

Tras estas consideraciones detallaremos a continuación el funcionamiento de un Jigs.



Toda criba mecánica está formada por un recipiente que contiene agua, una criba o rejilla capaz de soportar los materiales sólidos y un dispositivo de impulsión que origina los movimientos ascendentes y descendentes del agua.

El procedimiento más usual para mover el agua consiste en una excéntrica que acciona un pistón, el cual transmite un movimiento armónico al fluido.

Estudiemus lo que ocurre en el lecho de un jigs, formado por partículas grandes y pequeñas de cuarzo e igualmente de casiterita.

Dichas partículas ascenderán al sufrir el impulso ascendente. Partiendo inicialmente de una situación elevada y suponiendo para las partículas una caída libre, al ser la velocidad de caída de las partículas proporcional a su masa, tendremos:

$$F \text{ caída} = m \cdot a = mg - wg - R$$

- Donde:
- m = masa
  - g = aceleración gravitatoria
  - w = masa de agua desplazada
  - R = resistencias al movimiento

Como los espacios recorridos serán pequeños, el valor de R podemos despreciarlo y por lo tanto:

$$a = (1 - d) g$$

Siendo d la densidad del mineral.

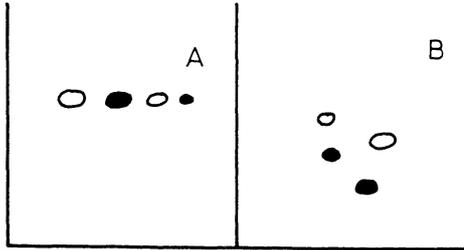
Si comparamos la Casiterita con el Cuarzo, obtenemos:

$$a_1 = (1 - 1/2,65) 9,8 = 6,1 \text{ m/seg}^2 \text{ en el Cuarzo.}$$

$$a_2 = (1 - 1/7) 9,8 = 8,4 \text{ m/seg}^2 \text{ en la Casiterita.}$$

Por lo tanto la aceleración de la Casiterita es superior a la del Cuarzo.

Si representamos los densos por puntos negros y los livianos por puntos blancos, la situación inicial representada en A evolucionará, en el transcurso de unos segundos, a la representada en B.



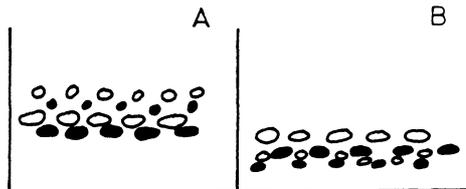
Aunque, para simplificar, se han representado en el esquema fracciones aisladas, en la realidad sedimentan numerosas partículas simultáneamente, dando lugar al fenómeno de sedimentación conjunta. Este fenómeno origina una viscosidad aparente que retarda la caída, afectando más a las fracciones ligeras que a las pesadas.

Una vez terminada la decantación gruesa, aún prosigue un aprieto final a cargo de los materiales finos, que se cuelan por los intersticios.

Cuando la caída se realiza en el seno del agua ascendente, veremos que según su velocidad de ascensión, los granos caerán, quedarán en suspensión o se elevarán, dependiendo de sus densidades y tamaños. Teóricamente, se provoca un mayor distanciamiento en las fracciones.

Si el tiempo que permanece formado el sedimento grueso es grande, los finos pueden seguir en el aprieto final su camino descendente, con lo que mejora la recuperación de los mismos, especialmente de los pesados.

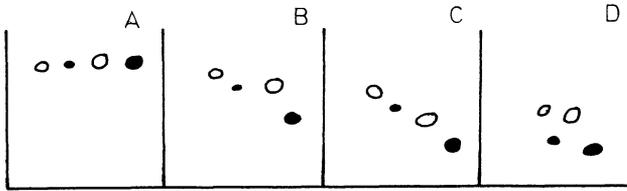
El esquema podría ser:



A = comienzo del aprieto final

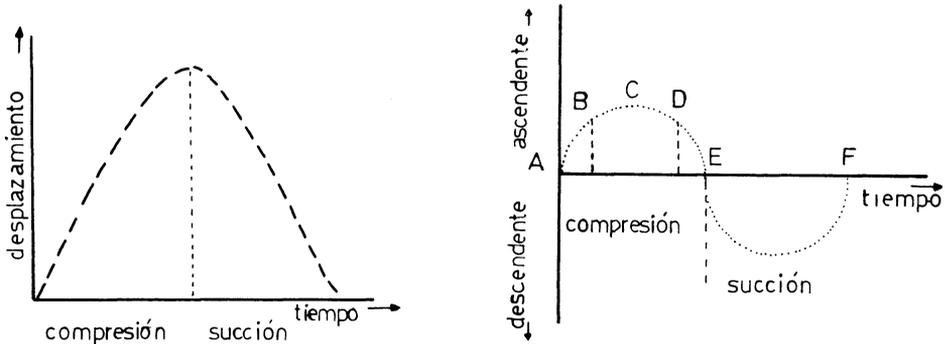
B = final del aprieto.

Resumiendo, estas pueden ser las 4 fases:



- A = comienzo
- B = aceleración por caída libre
- C = formación por decantación grosera
- D = aprieto final.

Cuando se produce el trabajo de jig mediante pulsador accionado por excéntrica, su representación gráfica será:



En el punto E, el lecho de la criba se hará compacto (sedimentación grosera) y, durante EF, se producirá el aprieto final.

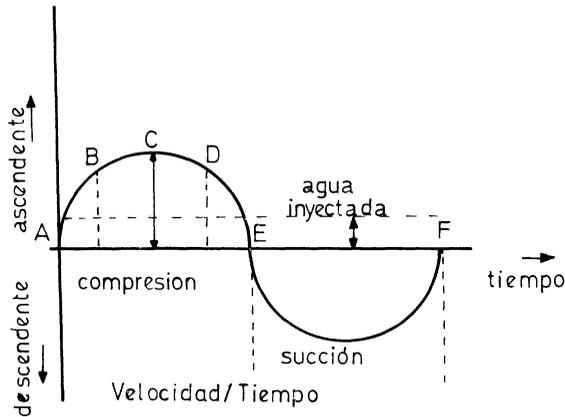
Además de este movimiento ascendente-descendente tenemos el horizontal de desbordamiento, que va desde la entrada a la salida.

Durante el fenómeno de compresión, las partículas que alcancen la superficie del agua (generalmente las finas) serán arrastradas por este movimiento horizontal, produciendo su pérdida.

El trabajo del jig hasta ahora descrito origina un lecho muy compacto que hace que los granos gruesos de mineral penetren con mucha facilidad. Además como el lecho en su totalidad debe sufrir un movimiento hacia la salida, existe el riesgo de pérdida de granos gruesos del mineral. Esta compacticidad dificulta también el desplazamiento horizontal.

Hay que dar una mínima fluidez al lecho, esto se consigue con un aporte constante de agua que hace que tengamos una fuerza ascendente permanente (modernamente, y por ahorro de agua, se inyecta ésta en los momentos de succión).

Estos dos fenómenos, el del pistón y el del agua inyectada, se superponen así:



Teóricamente podemos eliminar la succión pero no resultaría práctico por el elevado consumo de agua y porque la fuerza ascendente se llevaría todas las partículas finas.

Esta fluidez creada consigue que el material denso (mineral) penetre más fácilmente, y el transporte horizontal se realice ahora de forma satisfactoria.

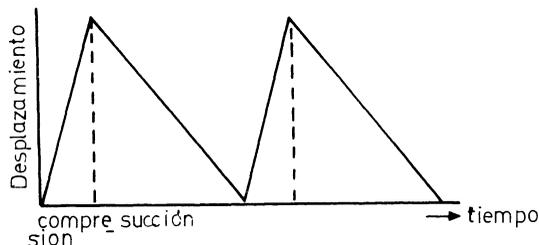
Todo esto hace, que en los jigs accionados con excéntricas la incorporación de agua dé buenos resultados con el mineral grueso y produce pérdidas cuantiosas de minerales finos, al aumentar la velocidad ascensional y la velocidad horizontal.

## MOVIMIENTO DE DIENTE DE SIERRA

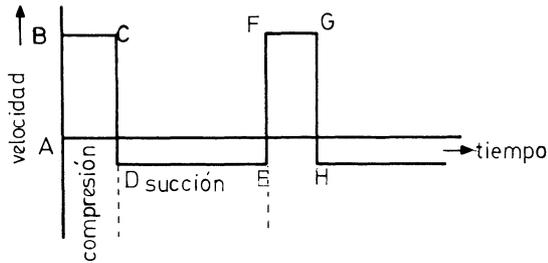
En los movimientos armónicos (Jigs convencionales), la resultante con el agua inyectada, dá un flujo ascendente largo y el descendente corto, esto provoca una pérdida grande de finos y poco tiempo para que éstos penetren en las camas.

Si modificamos el sistema de pulsación, de forma que tenga un movimiento ascendente corto pero enérgico y un descendente largo y suave, habremos conseguido una fluidez total de los lechos y un tiempo importante de aprieto final, con lo que los finos, especialmente densos, podrán alcanzar y finalmente penetrar en las camas.

Su gráfica será así:



Y el de velocidad/tiempo:



Durante el corto período BC, el violento flujo ascendente comunica al lecho su impulso, haciendo que ambos se muevan como una unidad en razón de su inercia y de que los granos están compactados y no se mueven uno con relación al otro.

En el punto C, la fuerza ascendente se para bruscamente pero como ha alcanzado gran altura relativa, permitirá un buen tiempo de decantación así como un aprieto final, y como la succión es muy débil el lecho no se compacta durante el largo período de DE.

Estos diagramas no pueden cumplirse estrictamente en la práctica, pero sí de una forma muy aproximada. Así se logra con los diapositivos de **impulsión autogenerada Baltar** o con el **dispositivo impulsor de la IHC** (de la MINING AND TRANSPORT ENGINEERING B. V. -MTE-) una empresa del IHC Holland Group.

Estudios comparativos realizados por MTE, con jig rectangulares de 2 celdas (42" × 42") alimentadas con 12 m<sup>3</sup>/hora, conteniendo granos de Casiterita entre 100 y 150 mallas (150-100 micras), demostraron que el sistema de diente de sierra recuperaba un 15 % más que el de onda armónica.

Como tratamos finos en presencia de gruesos, el fuerte impulso necesario puede elevar a los mismos a la zona de movimiento horizontal del agua de rebose, produciendo arrastres (pérdidas).

Esta situación hay que cuidarla, bien reduciendo el impulso lo más posible, bien elevando el nivel del agua sobre el nivel máximo de elevación de los lechos. Se puede reducir también la velocidad de salida horizontal mediante aumento de anchura de salida (formas trapezoidales, forma ideal jig-radial).

La cantidad de agua en la alimentación de sólidos, deberá ser la mínima posible para evitar corrientes fuertes horizontales. Como las cribas convencionales necesitan inyectar agua para fluidificar los lechos, estableceremos unas pautas a seguir.

La pulpa de alimentación deberá estar formada de un 10 % a 20 % en volumen de sólidos, es decir una densidad de pulpa de 1,1 a 1,3 Kg/litro.

Deberá ser controlada la cantidad de arcillas (lamas) que van en suspensión en las aguas (partículas menores a las 50 micras y generalmente un  $d_{90}$  inferior a 10 micras); como la existencia de finos y ultrafinos de Casiterita, en un hecho, la presencia de muchas arcillas incrementa la viscosidad y por tanto la dificultad de hundimiento de la Casiterita fina.

Unos 5 grs./litro de arcilla, como máximo, es tolerable fijando una recuperación de estos finos en un 85 %.

Estudiaremos **otros parámetros** cuya correcta utilización coadyuba a una recuperación ideal.

## 1. LECHOS DE CRIBA

Los materiales retenidos por la rejilla, constituyen los lechos.

No conviene confundirlos con las «camas», cosa frecuente.

Por ello cuando decimos que es necesario que el lecho esté convenientemente fluido, queremos decir que las partículas que están encima de las rejillas y camas han de moverse. con el tiempo podrá establecerse un «chivato» medidor de esta magnitud, hoy por hoy no existe otra medida que la «aplicación de las manos».

## 2. CAMAS

(Material denso, de grano mayor que la luz de la rejilla y aportado artificialmente). Un buen material es esencial para obtener un elevado grado de concentración. Como norma general, la densidad del material utilizado como camas, debe estar comprendida entre el valor de la densidad del pasado y la densidad del liviano.

El tamaño (granulometría) de las camas, debe ser grande comparado con la granulometría de alimentación, para que halle intersticios por donde se cuelen los densos. Para concentrados altos, un material redondeado y homogéneo es necesario.

Para concentrar la Casiterita, se utiliza como «cama» la hematita (densidad 4,9 - 5,3) mientras que en el beneficio del oro puede utilizarse granalla de acero.

Los tamaños utilizados varían entre 15 y 4 mm. Ø para materiales gruesos y pueden llegar a 1 mm. para los muy finos.

Durante el proceso de concentración van quedando como «camas» otros materiales pesados que acompañan a la Casiterita, tales como la Turmalina, Rutilos, Piritas y que, junto a la hematita forma la «cama» operacional. A medida que pasa el tiempo la concentración de mineral producido aumenta, por lo que es conveniente que periódicamente se limpien las camas, sobre todo, de las primeras cajas (una vez por semana).

Al comienzo de una operación por limpieza de camas, fluirá mucho más concentrado, pudiendo producir atascos, pero pronto se estabilizará.

Existe cierta confusión hasta en técnicos bien cualificados, sobre las camas. Las camas deberán moverse por carrera ascendente pero de una forma apenas perceptible.

Para una buena concentración hemos de jugar con dos factores transcendentales, la altura de los lechos y la cantidad de camas a utilizar. Una buena conjunción de estas dos, sin desprecio de las demás, determina dominar «el arte del cribado» y con ello la eficacia del sistema. Es difícil en cuatro líneas dejar todo bien apuntillado. Recordemos que NO EXISTE SUSTITUTO PARA LA EXPERIENCIA.

## 3. REJILLAS

La parte metálica que soporta las camas y los lechos constituye la REJILLA. Está formada por orificios redondos, cuadrados o rectangulares y pueden estar formadas de alambres (telas metálicas) chapas perforadas o láminas paralelas.

Es conveniente que sean elásticos los agujeros para evitar su obturación. Y para su conservación caucho o acero inoxidable, ya que más afecta la corrosión que la abrasión.

La superficie abierta de la rejilla puede ser del 20 % cuando se trata de materiales de poca concentración de densos; para otros procesos (concentrar barita, piritas, hierro, etc.) la superficie abierta tendrá que ser mayor.

## 4. SALIDA DE CONCENTRADOS

Se consigue mediante orificios en la parte inferior del jig. Debido a las distintas condiciones de trabajo, materiales gruesos o finos, poca producción o mucha, es difícil su diseño. Hay

quien utiliza el caño abierto con una pérdida de agua considerable, otros utilizan revólver para su graduación, en otros sitios se utilizan las espigas, ciclones, válvulas intermitentes, válvulas diferenciales, etc.

## 5. ALIVIADERO

La evacuación de los estériles y del agua sobrante se realiza por el aliviadero. Es interesante estudiar esta evacuación. De hecho está formada por dos productos: agua y materiales sólidos. El primero es fluido, por tanto un pequeño gradiente le dá gran velocidad de salida.

Los segundos «viscosos» y lentos, necesitan más gradiente y fluidez para moverse.

Aquí reside uno de los problemas de la pérdida de finos densos. La velocidad del agua produce una evacuación desmedida de finos y por lo tanto su pérdida lo cual es importante cuando de densos se trate.

Una de las formas de evitarlo es reducir el agua. Esto no siempre es posible, y por ello debemos utilizar un artilugio.

Consiste en elevar el nivel del agua represada en el jig, de tal forma que el movimiento laminar horizontal del agua esté alejado del movimiento horizontal del material, así se evitan los arrastres violentos. Se consiguen dotando a los equipos de dos salidas, una de agua, prácticamente sin finos y otra de pulpas con más o menos agua.

## 6. AGUA DE INYECCION

Las cribas convencionales con sistema accionador armónico necesitan para funcionar esta agua. Es aconsejable utilizar unos 250 litros/minuto m<sup>2</sup> en las cribas de desbaste, en las secundarias o terciarias se pueden utilizar más.

Las cribas de diente de sierra en su accionador (impulsor) no necesitan agua inyectada, no obstante, por motivos operacionales, para compensar la pérdida por salida de concentrados, es aconsejable, si el dispositivo inyector no lo suministra, una aportación de 60 litros/minuto/m<sup>2</sup>.

Es decir, 1/4 parte de la utilizada en las cribas condicionales es la imprescindible.

Este agua de rebose, suma de la inyectada con la aportada por la pulpa de alimentación, no debiera estar sin control. Un exceso produce pérdidas muy considerables de finos. Hasta el momento en los lavaderos no existe este control, éste puede ser fácil, si desviamos el agua de rebose, no contaminada por finos, midiéndola. De alguna manera nos orientará para regular el agua de los circuitos.

Cualquier fluctuación en los caudales puede indicarnos variaciones en las pulpas de alimentación, o la existencia de atascamientos en las salidas de los concentrados.

## CONTROL DE UN LAVADERO CON JIGS

A pesar de los adelantos tecnológicos todavía no existe una sistema de autocontrol de un lavadero. Sabemos que se trabaja sobre ello y que a un alto precio se está ensayando; no conocemos nada sobre control en jigs. Algo que mida la fluidez de los lechos, la producción de concentrados, la alimentación, las salidas de rechazos según su agotamiento, aguas utilizadas (caudales), etc. Por tanto, sigue siendo válido aquello que decíamos del ARTE DEL CRIBADO, que para saber si los lechos están bien tendremos que aplicar la mano.

Para todo ello no existe más que la experiencia, de momento no puede ser sustituida

## RESUMIENDO

Debido a que hemos de trabajar con grandes tonelajes de baja ley y de gran finura, las circunstancias están a favor de los jigs de movimiento de diente de sierra, frente a los de onda armónica.

Con los primeros conseguiremos:

1. Poder trabajar también los finos.
2. Un gran factor de concentración (alimentación)/concentrado
3. Una mayor recuperación (90-95 %)
4. Un menor costo operacional al poder simplificar los circuitos y reducir equipos.
5. Un ahorro de energía.

Esto se consigue utilizando jigs con movimiento en diente de sierra como el suministrado por los equipos Baltar o los equipos de la IHC.

Como dato demostrativo en el anexo 3 vemos un estado comparativo entre equipos radiales de la IHC - Cleaveland y un trabajo realizado con jigs convencionales rectangulares de 2 celdas de 48" x 42" (publicación de la MINERAL DRESSING BY IHC - JIGS agosto 78).

## **ALMACENAMIENTO DE ESTERILES**

Este costo, que debemos siempre añadir a los costos de explotación, no es simplemente un costo más, sino que muchas veces es crear un peligro.

Los estériles debemos siempre considerarlos como un subproducto, al menos en parte y tratar de comercializarlos.

Por lo general con el ESTAÑO están el cuarzo, feldespatos, arcilla, caolines, micas y pizarras.

Con un estudio detenido de los productos, posiblemente encuentren un mercado o bien puede crearse uno.

Su velocidad de venta, en su generalidad, será inferior a su producción, lo que hará que su venta se prolongue más que su explotación.

En el peor de los casos estamos produciendo los elementos necesarios para crear un buen suelo agrícola.

Por tanto, además de tratar de aminorar el gasto que esto significa, cambiaremos la estampa del minero, sustituyendo aquello de «después de mí, el diluvio», por: mi caso ha sido el comienzo de la prosperidad, creando nuevos pantanos (cráteres de antes) nuevas tierras fértiles (los vacíos de entonces) y mejoras en la infraestructura (nuevas carreteras, nuevos puentes, luz eléctrica, agua, viviendas y barracones) en definitiva PROSPERIDAD.

## BIBLIOGRAFIA

- TAGGART, A. F., 1951. Handbook of Mineral Dressing, New York.
- RODRIGUEZ BALTAR, C. 1966. Nuevas Técnicas y Dispositivos.
- DENVER EQUIPMENT COMPANY. 1964. Denver.
- TJOE HAUW IR. NIO. 1978. Mining and Transport Engineering BV Amsterdam.
- VAQUERO NAZABAL, S. 1977. Prospección y Estudio mineralométrico de yacimientos detríticos. Aplicación del método en el Batolito de Los Pedroches. Madrid.
- DUPUY DE LOME, E. - GOMEZ ANGULO, J. A. - MELGART, J. - PINTADO, F. - MIRAVED, J. J., 1970. La investigación minera en España. Madrid.
- DIRECCION GENERAL DE MINAS E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION. 1978. Plan nacional de Abastecimientos de materias primas minerales. Madrid.
- AMOR BOUZAS, F. - ARCHIPOV, V. 1970. Memorandum sobre resultados del jig Baltar en la concentración de minerales Chojlla, Avicaya (Bolivia), San Rafael y Santa Bárbara (Perú) Grace New York. (particular).
- AMOR BOUZAS, F. - TUDURI GAIZTARRO F. 1978. Valoración y proyecto de explotación del aluvión «Cerro Gordo» en Conquista (Córdoba) (particular).
- SOCIEDAD MINERA METALURGICA DE PEÑARROYA 1978. Mineral de Estaño de Fermonsa (Zamora) mina «Calabor» (particular).
- CHARTER - CJB MINERAL SERVICES LTD 1981 Tm Concentration plant study Santa Elisa mina (particular).
- GARCIA SANCHEZ, A. 1980. Métodos de análisis de Sn en geoquímica y minería (Salamanca). 1978/1979 Anual Progress Report Zamora Sta. Elisa Phelps Dodge (particular). 1980 Informes metalúrgicos de Babcock Metallurgical Cansupex (particular).
- DUMAS - MANESCU, D. 1970. VI Congreso Internacional de Minería. La mejora de la tecnología como factor importante para ampliar las aplicaciones de los métodos de explotación a cielo abierto (Rumania).
- DE RIVAS, R. 1970. VI Congreso Internacional de Minería. El Control presupuestario como elemento importante de la dirección científica de la empresa (España).
- ASOCIACION SUECA DE MINERIA 1980. Investigación y desarrollo técnico en la minería sueca. (España).
- MORGARDSHAMMAR, AB. 1980. Nuevo desarrollo en las máquinas para la preparación de minerales. (España).
- SKEGA AB. 1980. El caucho, protección contra el desgaste en minería y en las industrias del cemento y de los áridos. ¿Cómo, dónde y por qué usarlo?

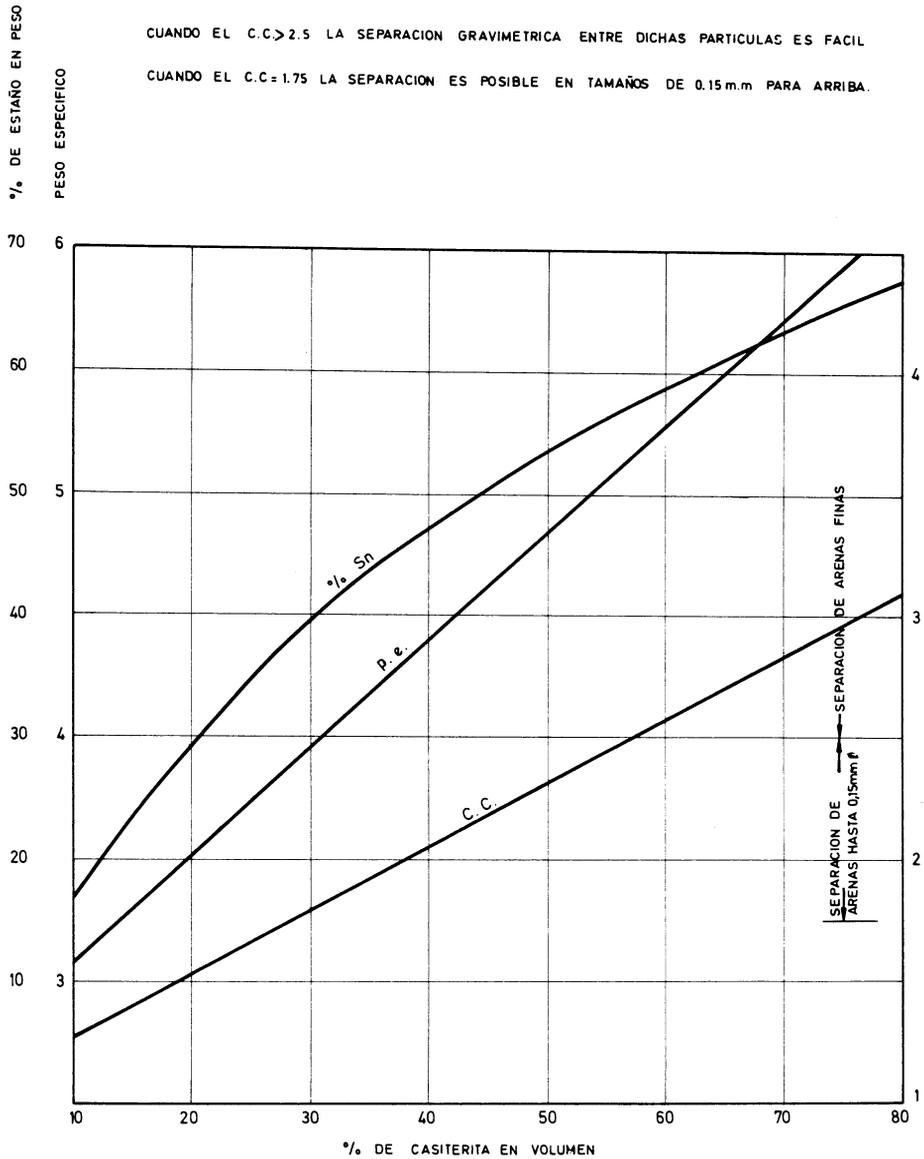
PESO ESPECIFICO, CONTENIDOS EN ESTAÑO Y CRITERIO DE CONCENTRACION, DE PARTICULAS MIXTAS CASITERITA / CUARZO

ENTRE DOS PARTICULAS, EL CRITERIO DE CONCENTRACION (C.C.) ES LA RELACION (ratio) DEL PESO ESPECIFICO (p.e.) MAS ALTO DIVIDIDO POR EL p.e. MAS BAJO, DISMINUIDOS AMBOS EN UNA UNIDAD (p.e. del agua)

ASI PARA EL CASO CASITERITA / CUARZO, TENEMOS  $C.C. = \frac{7-1}{2.65-1}$

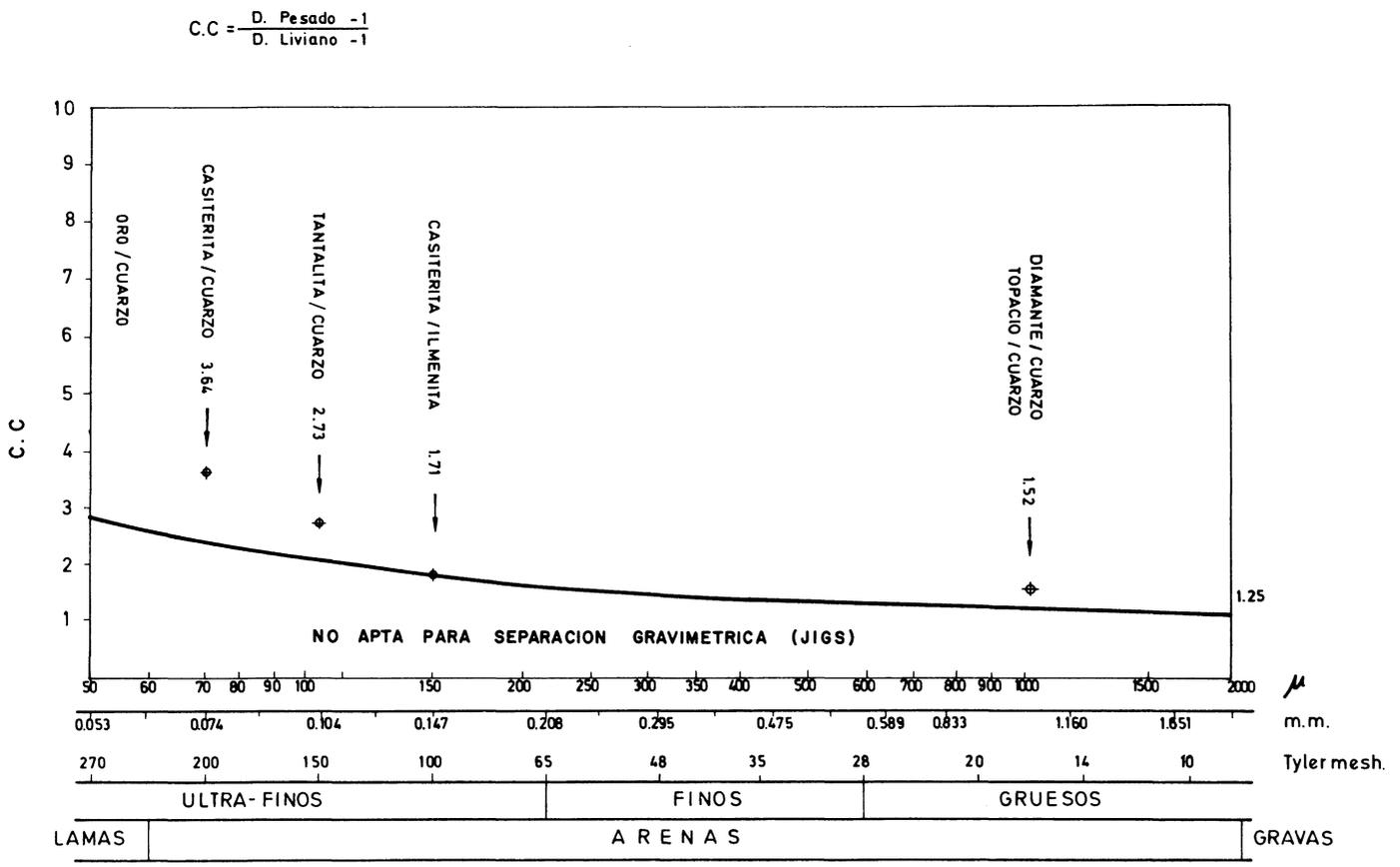
CUANDO EL C.C. > 2.5 LA SEPARACION GRAVIMETRICA ENTRE DICHAS PARTICULAS ES FACIL

CUANDO EL C.C. = 1.75 LA SEPARACION ES POSIBLE EN TAMAÑOS DE 0.15 m.m PARA ARRIBA.



ANEXO - 1

RELACION DEL CRITERIO DE CONCENTRACION CON LOS TAMAÑOS MÍNIMOS RECUPERABLES EN CONCENTRACION GRAVIMETRICA. (Jigs)



MUESTRA DE RESULTADOS CON EL JIGS-RADIAL IHC-CRAVELAND TIPO 25 ( 7,5 m. diámetro.)

RELACION ALIMENTACION / SUPERFICIE REJILLA / TIEMPO = C. S. =  $\frac{235 \text{ m}^3/\text{h}}{41,7 \text{ m}^2} = 5,6 \text{ m}^3 \text{ por m}^2 \text{ y hora.}$

ALIMENTACION → PRODUCTO ALUVION DE ESTAÑO (Casiterita)  
 → CAPACIDAD 376 Tn/h.

