

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
**FACULTAD DE QUIMICA**

---



CONCENTRACION DE UN MINERAL DE  
SCHEELITA DE BAJA LEY

**TESIS PROFESIONAL**  
Que Para Obtener el Título de:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A N

CARLOS FRANKLIN GUERRA VILLAGOMEZ

VICENTE SAUL PEREDA VAZQUEZ

— 1978 —



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS TESIS 1978  
ABO U. T. 216  
FECHA 208  
PRDC \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROF. KURT H. NADLER GUNDESHEIMER  
VOCAL: PROF. ENRIQUE CURIEL REYNA  
SECRETARIO: PROF. MARCO ANTONIO CHAMORRO DIAZ  
1er. SUPLENTE: PROF. HUMBERTO RODRIGUEZ CALDERA  
2o. SUPLENTE: PROF. RICARDO ALBARRAN LUNA

Sitio donde se desarrolló el tema:

FACULTAD DE QUIMICA  
COMISION DE FOMENTO MINERO  
CONSEJO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

Sustentantes:

CARLOS FRANKLIN GUERRA VILLAGOMEZ

VICENTE SAUL PEREDA VAZQUEZ

ASESOR

I.Q.M. KURT H. NADLER GUNDESHEIMER

A nuestros padres  
por su inapreciable apoyo,  
amor y dedicación

A mi querida esposa  
Leonor Teresa  
a Diana

A nuestros hermanos  
y amigos

A nuestros Maestros  
con profundo agradecimiento

Al I.Q.M. Kurt Nadler H. Gundesheimer  
por sus valiosos consejos y ayuda.

A DIOS GRACIAS POR HABERME PER  
MITIDO LLEGAR A LA REALIZACION  
DE MIS ESTUDIOS.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.-	
"LA MESA WILFLEY".....	5
CAPITULO II.-	
"ASPECTOS MINERALOGICOS".....	17
CAPITULO III.-	
"EL TUNGSTENO".....	31
CAPITULO IV.-	
"EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.....	40
CAPITULO V.-	
"CONCLUSIONES".....	59
CAPITULO VI.-	
"BIBLIOGRAFIA".....	65

## INTRODUCCION

La presente tesis tiene por objeto hacer un estudio cualitativo y cuantitativo de un mineral que contine scheelita ( $\text{Ca wo}_4$ ) en baja concentración, enfocando dicho estudio a la proporción de un metodo que nos permita efectuar la concentración de dicho mineral en la región en que se encuentra para su posterior transportación a una planta de beneficio.

El mineral a estudiar se localiza en la Sierra del Jaralito cerca de ures Sonora a  $110^\circ 15'$  Greenwich y  $29^\circ 30'$  latitud Norte a 65 Km aproximadamente de hermosillo, En esta región existen grandes yacimientos de este mineral con una concentración media del 0.1%. Siendo la finalidad de esta tesis efectuar estudios para el metodo de la mesa Wilfloy, ya que es un equipo de bajo costo de adquisición y que presenta características favorables puesto que el mineral a concentrar que es la scheelita es un mineral de alta densidad que es facilmente separable de sus minerales asociados.

Uno de los objetivos de nuestra tesis es demostrar que en una región donde existan minerales de baja ley pueden ser obtenidos, de manera que la explotación resulte costeable, siempre y cuando sea elegida correctamente la tecnica de concentración adecuada.

Por otro lado dentro de nuestros objetivos está el impulsar a la población gambusina, la cual debido a su tecnología rudimen

taria obtiene un bajo rendimiento de la explotación de yacimientos pobres, por lo cual se encuentra en general en una situación deprimente.

Además, México es un país que tiene una gran potencialidad Minero-Metalurgica, ya que encontramos en él una rica variedad - que incluye casi todas las especies mineralógicas. Aunque en - - muchos casos, sus yacimientos no tienen la concentración que nosotros quisiéramos. Esto con el paso del tiempo, lo cual representa adelanto en la tecnología, llegará el momento en que sea - consteable su explotación.

Debido a lo anteriormente expuesto y a sabiendas de las necesidades mundiales se van realizando estudios que tratan de solucionar en parte la escases de yacimientos ricos los cuales van a ser substituidos por yacimientos pobres, que con la tecnología apropiada disminuirán estas carencias.

#### EL DESARROLLO DE LA PRESENTE TESIS SE HARA DE LA SIGUIENTE MANERA.

##### CAPITULO I.

En éste capitulo se hará una descripción general sobre la mesa Wilfley, sus fundamentos y sus principios asi como una explicación de su funcionamiento.

Se hará también la descripción de un modelo matemático - - simple que describa el funcionamiento de dicha mesa asi como el comportamiento de las partículas que se encuentren bajo el campo de acción de la mesa. Se hará ver también la importancia de desa

rollar un modelo matemático el cual describa de una <sup>MANERA</sup> más aproximada el comportamiento de las partículas en la mesa Wilfley, ya que hasta el momento no se ha hecho nada al respecto.

#### CAPITULO II.

Se hablará del mineral y su composición mineralógica, así -- como también de los minerales que se encuentren asociados a la -- Scheelita.

Este capítulo es de vital importancia ya que nos provee de -- los datos necesarios para un buen diseño y planeación de una opti -- ma concentración.

#### CAPITULO III.

En éste capítulo, que es la parte medular de la tesis se ex -- perimentará con un mineral que contiene Scheelita con muy baja -- ley, y se demostrará que mediante el método de la mesa Wilfley, -- podemos obtener buenos resultados de concentración, se hará una -- descripción completa del método y las operaciones empleadas y se -- mostrará de una manera objetiva en una tabla de resultados (los -- resultados obtenidos durante el desarrollo del experimento así -- como las observaciones que se hicieron durante el mismo.

#### CAPITULO IV.

Se hará un breve estudio de la importancia del Tungsteno en el mundo moderno, sus aplicaciones y un breve bosquejo histórico del mismo.

## CAPITULO V.

Será dedicado a las conclusiones que se derivan del estudio anteriormente efectuado y se hará notar que con una buena planeación puede ser factible la explotación no tan sólo de la región de la cual proviene este mineral, sino de cualquier otra que se encuentre en condiciones similares; finalmente se hará mención de la bibliografía, fuentes de información y ayudas que fueron prestadas para efectuar este estudio.

C A P I T U L O I

"LA MESA WILFLEY"

## FUNDAMENTOS DE LA MESA WILFLEY.

Haciendo una breve introducción en la historia de la mesa Wilfley, nos daremos cuenta cuales fueron los motivos por lo cual se llegó a la elaboración de este equipo de concentración.

Los concentradores por medio de sacudidas son máquinas de separación por gravedad empleada en el tratamiento de géneros relativamente finos. Estas máquinas se dividen en dos grupos dependiendo de los tamaños de las partículas a concentrar. Cada uno de los cuales está representado por el prototipo movido a mano, y el mecánico perfeccionado (éste obtenido a partir del manual).

Se puede clasificar como sigue:

1.- En arenas más gruesas: está representado por la gamella (manual) y la mesa de secudimientos (mecánica).

2.- En arenas más finas: está representada por la placa y el Vánner.

Gamella: en forma relativamente moderna está representada por la siguiente figura: Ver figura 1

Generalmente está construida por una plancha de hierro ligero, rígida con el borde arrollado alrededor de una varilla consistente para evitar cualquier distorsión.

Operación: en la alimentación se apartan los guijarros por escogido a mano, aunque lavando y desprendiendo dentro de la gamella, la arena y la arcilla adheridas a éstas antes de desecharlos.

Las lamas se elimina.

La separación por gravedad se lleva a cabo cubriendo la carga de arena residual con agua, y cuidando que el movimiento elíptico, en el que la velocidad y la amplitud se combinen de tal modo, que la carga quede lo bastante suelta para permitir un movimiento diferencial vertical de los granos. El grado de agitación - debido es cuestión de experiencia y difiere con el tamaño de la partícula. Al cabo de segundos se suspende la operación y el operador inclina la gamella gradualmente hacia afuera, a la vez que imprime un movimiento alternativo basculante de izquierda a derecha de tal modo que una serie de ondas diagonales opuestas se deslicen a través de la superficie de la arena sedimentada y vayan - arrastrando la capa superficial hasta verter por el borde de la gamella. Los primeros lavados arrastran consigo las partículas de mineral ligero más grueso, y en las aguas de lavado sucesivas el tamaño de las partículas que rebozan de la gamella se va haciendo progresivamente más fino. Finalmente el residuo que queda en la gamella está constituido por el mineral pesado de todos los tamaños inicialmente presentes. Exceptuando los que no pudieron sedimentarse y fueron arrastrados con las aguas de lavado. Las separaciones ulteriores implican, la agitación, la sedimentación, el desplazamiento a otra parte de la gamella mediante el barrido y por último la suspensión del mineral ligero más fino pero no el pesado grueso y así sucesivamente hasta separar la suspensión del sedimento.

Batea: se fabrica con plancha de hierro y madera y el modo de operación es esencialmente el mismo que el de la gamella.

Ver (Fig 1 y 2)

Mesa Wilfley: es una mesa de sacudimientos. Esencialmente no es más que una gamella mecanizada para marcha continúa. Esta constituida por un tablero plano aproximadamente rectangular o romboidal, (a) montado en posición relativamente horizontal sobre soportes o guías que permiten que efectúe un movimiento alternativo en su propio plano, en una dirección más o menos paralela al lado más largo. El movimiento laternativo se efectúa por un mecanismo (b) (cabezal de la mesa) que determina que la inversión de movimientos sea más rápida al final de la carrera de ida que al final de la de vuelta. El tablero está cruzado por una serie de listones cuya disposición varía, pero que fundamentalmente son paralelos a la dirección del movimiento.

La altura de los listones aumenta desde los de borde más alto (lado de la alimentación del tablero) a los del más bajo (lado de los estériles); la altura de cada uno disminuye desde el extremo en que se encuentra el cabezal hasta el extremo en que se recoge el concentrado. Normalmente la superficie cubierta de listones se extiende sólo hasta una línea diagonal que va desde un punto del lado de la alimentación situado a una distancia comprendida entre la cuarta y las tres cuartas partes de la longitud de dicho lado contada a partir del extremo en que se encuen

tra el cabezal, hasta otro punto en las aproximidades de la esquina más baja del extremo del concentrado.

Ver Figura 3

Operación: la inclinación de la mesa puede variarse según aconsejen las condiciones de la operación, y el movimiento alternativo se efectúa normalmente a una frecuencia de doscientas a trescientas pulsaciones por minuto con amplitudes de 2.5 a 1.25 cm. La alimentación que se introduce con un 25% de sólidos en peso a través de la caja de alimentación, se distribuye a lo largo de C; el agua de lavado se distribuye a lo largo del resto del lado de alimentación desde la conducción D.

En la siguiente figura esquemática se presentan las distintas operaciones que tienen simultáneamente en el tablero de la mesa a medida que la corriente de alimentación se separa sucesivamente en sus componentes, de acuerdo con su densidad y tamaño. En este diagrama no tiene lugar el cribado de gruesos debido a que el cribado realizado en el lavadero ha eliminado ya el material demasiado grueso para tratarlo en la mesa.

Esquema de Tratamientos en una Mesa de Secudimientos.

Ver Fig 4

Este esquema de marcha de géneros lo podríamos explicar -- pero ocuparía mucho tiempo y espacio.

1.- La pulpa de alimentación, que comprende normalmente un 90% de agua en volúmen se somete a un desbaste de lamas mediante

la sedimentación de la arena, en los canales formados por los -- listones, mientras que las lamas fluyen pendiente abajo. Al mismo tiempo la arena retenida forma un lecho de arena movediza. En este lecho dilatado, tiene lugar una sedimentación diferencial de -- acuerdo con la densidad de las partículas a la vez que se inicia simultáneamente una clasificación granulométrica por escurrimiento. En esta zona se lleva a cabo en considerable proporción la -- reordenación de las partículas de arena en los canales formados -- por los listones como se indica idealmente.

Ver Fig 5

2.- La arena deslamada que procede de l guiada por los listo nes se desplaza hasta esta zona debido a las diferencias en las -- sacudidas del tablero de la mesa. El conjunto del lecho se despla za con el tablero durante la carrera de ida, lentamente acelerada, pero es incapaz de acelerarse al compás del tablero en la carrera de vuelta, realizada en sentido inverso. La acción y el efecto -- son análogos a los que se registran cuando un cuerpo plano por -- ejemplo una moneda que descansa sobre un libro se desplaza al im primir a éste un movimiento alternativo horizontal con una mano -- y haciendole un choque contra la palma de la otra. En este caso -- para este mineral en especial, la estratificación por densidades -- y tamaños se lleva aún más lejos. Aquí también debido a la dismi nución progresiva de la altura de los listones de derecha a izqui erda en la figura, del área y de la resistencia mecánica consi--

guiente, el flujo transversal de agua va arrastrando la capa superior del lecho que se ha depositado en los canales formados por los listones. Como esta capa superior es la fracción más gruesa de mineral ligero, la separación es fundamentalmente una operación de clasificaciones por tamaño y densidades. El residuo enriquecido continúa su desplazamiento hasta cinco.

3.- La corriente principal de arena procede de dos, y deprovisita de la mayor parte de mineral pesado se apura en este paso para recuperar mineral pesado puro, y los mixtos englobados que pueden haber sido arrastrados desde dos. Esta operación es una reestratificación de acuerdo con el mecanismo empleado en uno. La parte más gruesa del mineral ligero se descarga en el lugar indicado en la figura 5, y el rechazo de un estéril acabado se simboliza como sigue.

4.- Esta es la llamada esquina de mixtos en la mesa que se alimenta con el residuo enriquecido procedente de la franja de concentrados cinco. Esta mezcla se vuelve a estratificar y a clasificar por tamaños a lo largo de la periferia de la mesa como la siguiente figura.

Ver figura 6

Zonas de acción en una mesa de sedimentos.

Se descarga un producto que comprende los granos de mineral pesado libre, la mayor parte del intervalo de tamaños más gruesos de mixtos y las arenas de gangas más finas.

Esta esquina devuelve los granos más finos de mineral libre pesado e incluso mixtos, llevandolos hasta cinco por los canales formados por los listones.

5.- Esta es la zona de afino, constituida por la superficie del tablero desprovista de listones que se encuentra al extremo de éstos. Su objeto es depurar el concentrado obtenido en la zona listonada del tablero. Esencialmente se trata de un lavado por corriente laminar con sacudimientos. La ganga finamente dividida y los granos de mixtos englobados, que proceden de 2y 4 son arrastrados por la corriente de agua, mientras que el concentrado final se vierte por el extremo de la mesa de resultas de las diferencias de las sacudidas.

6.- Esta superficie constituye una segunda zona de deslaminado que recoge la parte más gruesa de las arenas arrastradas pendiente abajo y que proceden de una zona abarrotada para enviarlas a 3.

7.- Esta es la zona de deslaminado final donde se recogen las arenas más finas que se vuelven a enviar a 6. Las lamas en suspensión vierten por el borde del tablero, en comparación con la carga de alimentación, las lamas suelen estar enriquecidas debido a la tendencia de los minerales más pesados especialmente los sulfuros (notando en nuestro caso) a romperse preferentemente en las operaciones de trituración y molido.

La zona útil de la mesa es de 6 metros cuadrados (1.2 por 4.8mt.) la profundidad es de 0.95 a 1.25 cm. La zona de la mesa-

en que se trata, la arena es aproximadamente un paralelogramo, -- siendo su longitud a lo largo del tablero la del rifle más alto y su altura el ancho del tablero. La profundidad media del lecho es de 1.25 cm. con lo que se obtiene un volumen aproximado de 44 decímetros cúbicos y de una proporción de sólidos en peso de 0.6. Resulta que en un determinado momento la mesa está tratando unos 45 Kg de sólido. La mesa efectúa ésta operación con una rapidez de 14 a 40 veces mayor que la gamella.

Las características sobresalientes de la concentración por sacudimientos son la sedimentación diferencial de conformidad -- con el peso específico, en un lecho de arena movidiza mantenido por agitación sin que existan corrientes de fluido ascendentes y una estratificación por tamaños. Ambas características deben considerarse por separado. La citada en primer lugar constituye la acción principal, tanto en los procedimientos manuales como los mecánicos, mientras que la segunda hay cierta desventaja en la concentración con gamella debido a las dificultades planteadas por la separación de la ganga finamente dividida del concentrado de amplia granulometría. Sin embargo en la concentración en mesas constituye una ayuda valiosa al mantener al concentrado fuera del alcance del agua de lavado hasta que se haya separado la mayor parte de los estériles y de los mixtos.

Con un criterio de concentración fácil menor de 2.5 la ~~estratificación~~ de las arenas de acuerdo con su peso específico se completa en gran parte en los canales formados por los listones-

a unos cuantos centímetros de la caja de alimentación. Por consi-  
guiente tanto esa zona como en lo que en ella sucede, son facto-  
res críticos del análisis, la hipótesis de que aquí la arena - -  
movediza es el equivalente de una suspensión de medio denso no -  
puede sostenerse debido a que en ella se hundirán partículas de-  
ganga que sean mayores que los de alimentación normal de la mesa.  
Tampoco puede sostenerse la existencia de activas corrientes as-  
cendentes de agua, al amparo de los listones por que, aún en la-  
sección de lamas de la mesa donde los movimientos turbulentos en  
los canales son más intensos, los remolinos son incapaces de ele-  
var las arenas de la ganga. La clasificación granulométrica por-  
escurrimiento que se manifiesta a través de la porción enlisto-  
nada de la mesa invalida la hipótesis de un mecanismo de agua --  
ascensorial.

Con cada sacudida eficaz de la suspensión, las capas de - -  
arenas adyacentes verticalmente se separan por la fuerza mecáni-  
ca dominante que se les trasmite desde el medio de agitación, por  
tanto inmediatamente después se inicia la compactación por sedi-  
mentación a través del agua intersticial que como conjunto glo-  
balmente considerado está en reposo. A hora por término medio --  
las partículas de mayor tamaño y peso específico llegan a los in-  
tersticios de la capa subyacente antes de las contiguas más lige-  
ras y al ocupar los intersticios expulsan éstas últimas y las --  
desplazan hacia arriba.

Durante la fase de dilatación del ciclo de sacudimiento las

partículas finas tomadas en conjunto no se elevan ni con tanta frecuencia ni a tanta distancia como las contiguas más gruesas, debido a las mayores dificultades que han de vencer por las desigualdades que se les oponen en su camino, por tanto estas partículas descienden con mayor velocidad que las contiguas más gruesas de la misma densidad mientras que con las contiguas del mismo tamaño, las más densas descienden con mayor rapidez que las ligeras.

#### Construcción:

En 1893 apareció la mesa Wilfley, se han diseñado muchísimas formas y combinaciones de tablero, recubrimiento de tableros, enlistonados y sistemas de seducimientos. Se caracteriza por tener 1.2 por 4.8 mts. recubierta con linoleum grueso sobre el que se clava listones de pino que terminan en cuña a lo largo de una diagonal que va desde la esquina de descarga hasta un punto situado algo delante de la caja de alimentación, tiene un dispositivo para regular la longitud de pulsación. Posiblemente la modificación más notable que se introdujo desde que la mesa apareció por primera vez es el tablero en diagonal. Se ha empleado en su construcción vidrio, caucho, madera y cemento, y la superficie se han cruzado con listones finos y bajos como grueso y altos, listones que en algunos casos son rectos y en otros curvados y en otros casos forman un ángulo pendiente arriba o abajo. No obstante casi no hay ninguna diferencia en rendimientos.

Una mesa de sacudimientos, es más eficaz cuando separa los minerales densos finos de los gruesos ligeros. Por consiguiente es preferible alimentar la mesa con un género clasificado que - tenga esta clasificación por tamaños. No obstante la mesa constituye un excelente separador de arenas y lamas.

FIGURA 3

GHHELLA

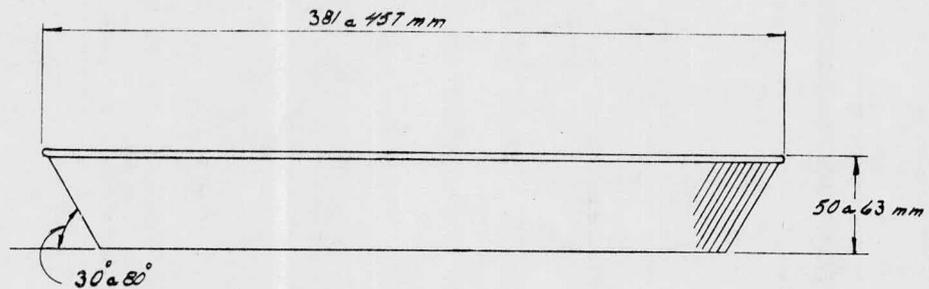
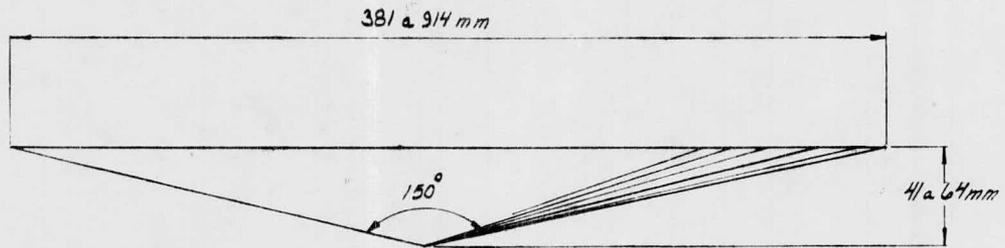
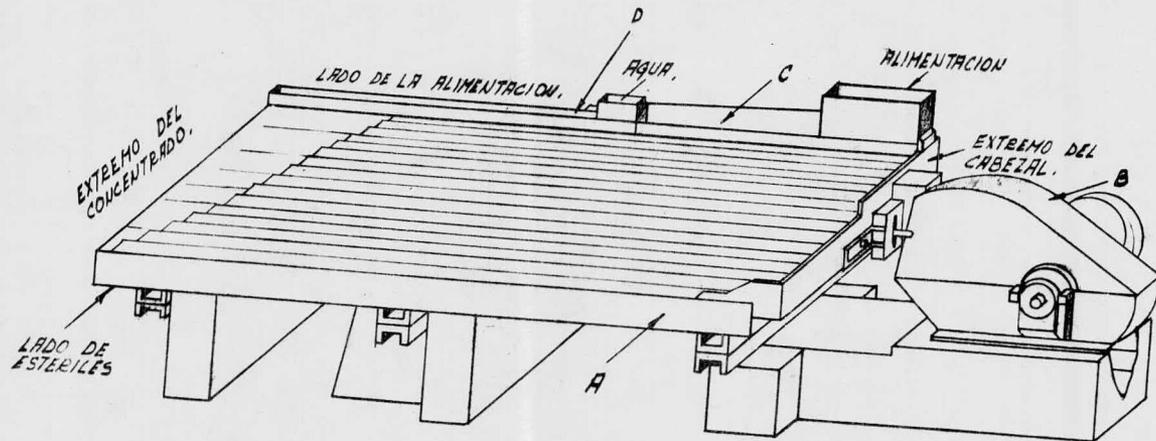


FIGURA-2

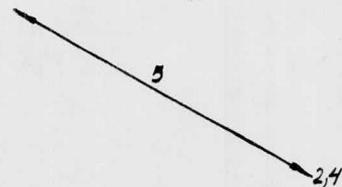
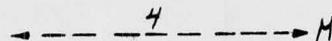
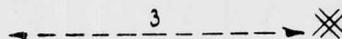
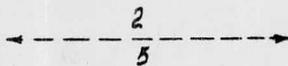
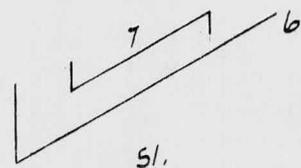
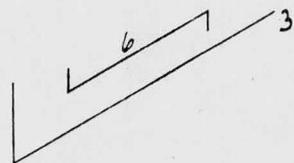
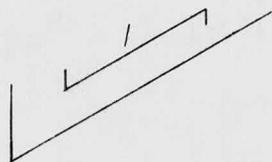


BATER.

FIGURA - 3



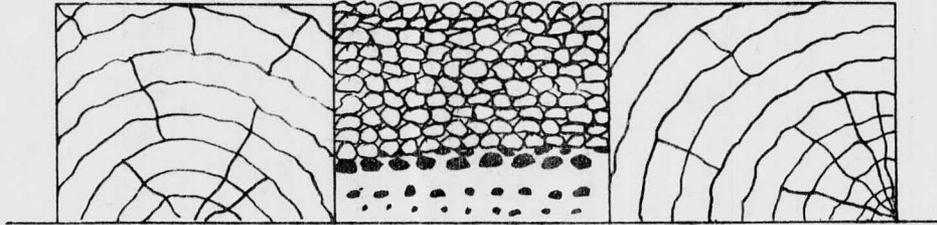
MESA DE SACUDIMIENTOS



ESQUEMA DE TRATAMIENTO DE UNA MESA DE SACUDIMIENTO.

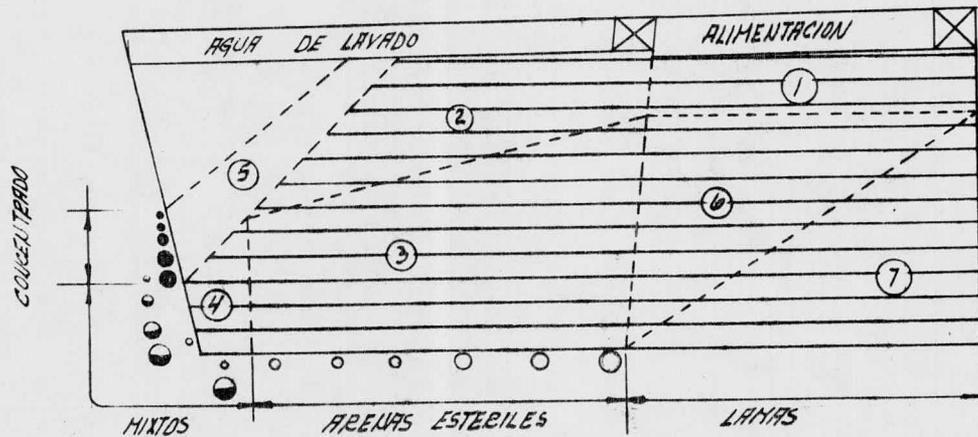
FIGURA - 4

*FIGURA-5*



*ESTRATIFICACION IDEAL EN EL CANAL DE UNA MESA DE SACUDIMIENTO.*

FIGURA - 6



ZONA DE ACCION EN EL TABLERO DE UNA MESA DE SACUDIMIENTO.

## C A P I T U L O   I I

" ASPECTOS MINERALOGICOS "

- A) EL MINERAL Y SU COMPOSICION  
MINERALOGICA
- B) ASPECTO MINERALOGICO DE LOS  
MINERALES ASOCIADOS
- C) ASPECTOS MINERALOGICOS DE -  
LA SCHEELITA.

El aspecto mineralógico, en la operación de beneficio es -- muy importante por varias razones, siendo la más importante, el hecho de conocer los minerales asociados, sus propiedades, para así planear correctamente la operación de beneficio.

Como en este caso se utiliza un método gravimétrico de concentración, es muy importante conocer la gravedad específica de los minerales, puesto que en el caso de la mesa Wilfley, para -- que exista una separación y una concentración efectiva es muy -- importante que la diferencia de densidades específicas sea lo -- suficiente marcada, para lograr condiciones óptimas de separa--- ción y concentración.

En este capítulo se hizo un estudio sobre el mineral y su - composición mineralógica, dicho estudio fue por difracción de ra yos X.

En la gráfica adjunta se observa un patrón de difracción -- que muestra los diferentes minerales, que forman parte de la muestra estudiada. Los minerales que forman parte son:

CUARZO, CLORITA, MICA MUSCOVITA, SCHEELITA.

estos minerales asociados a la Scheelita, son de densidades relativas mucho menores, por lo que la concentración en mesa Wilfley es recomendable.

Ver grafica 2.1

MINERALES ASOCIADOS	DENSIDAD ESPECIFICA	COMPOSICION QUIMICA.
MUSCOVITA ----	2.76 - 3 ----	$H_2KAl_3(SiO_4)_3$
CLORITA ----	2.65 - 2.78 ----	$H_3Mg_5Al_2Si_3O_{18}$
CUARZO ----	2.65 ----	$Si O_2$
SCHEELITA ----	5.9 - 6.1 ----	$Ca WO_4$

TABLA # 1

Esta tabla muestra las diferentes gravedades específicas -- así como sus composiciones químicas, según El Tratado de Mineralogía de (Edward S. Dana) las cuales nos serán de gran ayuda para el estudio a realizar.

Antes de hacer una mención completa de la mineralogía descriptiva de la Scheelita, hablaremos de algunos otros aspectos -- importantes del conocimiento mineralógico:

#### CUARZO.

Pertenece al sistema Cristalino Hexagonal (Romboédrico-trapezoédrico).

Se ha demostrado con los estudios de rayos X, que el cuarzo tiene una estructura atómica complicada. Los átomos de silicio -- están colocados en tres celosias hexagonales interpenetrables que tienen en la dirección vertical un arreglo espiral una con respecto a otros. Los átomos de oxígeno están apertamente agrupados de manera tetrahédrica alrededor de los átomos de Silicio. La -- celda unidad contiene tres átomos de Silicio.

El cuarzo es enantiomorfo.

El estudio termico del cuarzo muestra que existe en dos modificaciones, conocidas como el cuarzo alfa y beta, o cuarzo de alta y baja temperatura. Los ángulos del cristal de cuarzo alfa cambian con su aumento de temperatura hasta 573°C, el punto de inversión a cuarzo beta mientras que más alla de este punto permanece casi constante.

Opticamente +. Doble refracción débil. Polarización circular; derecho o izquierdo, correspondiendo el carácter óptico al carácter derecho o izquierdo de los cristales.

Composición.

Silice o bióxido de silicio.

$\text{SiO}_2$  = Oxígeno 53.3%, Silicio 46.7% = 100%

Las variedades impuras contienen óxido de fierro, carbonato de calcio, arcilla, arena y varios minerales como inclusiones.

Variedades.

Fenocristalina. Cristalizada de lustre vitreo.

Criptocristalina. Semejante al pedernal, maciza.

MUSCOVITA.

Llamada también Mica común o Mica Potásica.

Pertenece al sistema monoclinico.

Tiene formas vecinales comunes. Hojas con frecuencia muy pequeñas y agregadas en formas estrelladas, plúmeas o globulares; o es escamas y macizo escamoso; también criptocristalinas y ma--

ciza compacta.

Laminillas delgadas flexibles y elásticas cuando se doblan, muy duras, ásperas al tacto, que pasan a clases que son menos -- elásticas y tienen al tacto una sensación untuosa o como de -- talco.

Lustre vítreo a más o menos perlino o sedoso. Incolora, --- gris, moreno castaño, verde pálido, violeta, amarillo verde oli- vo oscuro, raras veces rojo rosa. Rya incolora. Transparente a - translúcida.

#### Composición.

En su mayor parte es un ortosilicato de Aluminio y Potasio.  
 $(\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3) = 2\text{H}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 = \text{Silice } 45.2\%, \text{ Alumina- } 38.5\%, \text{ Potasa } 11.8\%, \text{ Agua } 4.5\% = 100\%.$

Algunas clases dan una cantidad mayor de Silice (47-49%) -- que corresponde a un ortosilicato normal y se han llamado fengi- ta.

En secciones delgadas se reconocen por la falta de color, - y por el crucero perfecto que se ve en líneas finas. Con luz re- flejada al microscopio las mismas secciones muestran una super-- ficie peculiar moteada con lustre como satín.

#### Observaciones.

La muscovita es la más común de las micas. Es un constitu-- yente original de las rocas más cristalinas que son ricas en po- tasa y alumina, encontrándose más comunmente en granitos. En las

rocas volcánicas es rara, apareciendo solamente como un producto secundario. Ocurre también en las zonas de contacto de varias rocas; en caliza cristalina. Está con frecuencia asociada con ortoclasa cristalizada, cuarzo, albita; también con apatito, turmalina, berilio, y otras especies minerales características de vetas graníticas.

La muscovita es frecuentemente de origen secundario derivándose de la alteración de otras especies, por ejemplo topacio, --feldespato (oncosina) etc.

#### Uso.

Como material aislante en aparatos domésticos (eléctricos); como este material transparente incombustible para puertas de --hornos, etc.; en forma finamente dividida como material aislante termico e incombustible, mezclado con acêite como lubricante, etc.

#### CLORITA.

La Clorita cristalizada en el sistema monoclínico.

Consideradas químicamente, las cloritas son silicatos de --aluminio con fierro ferroso y magnesio y agua químicamente combinada. El fierro férrico puede estar presente en pequeña cantidad substituyendo al Aluminio, el Cromo entra similarmente en algunas formas que son entonces de un color rosa, en vez del verde más común. El Manganeso substituye al fierro ferroso en algunos-casos.

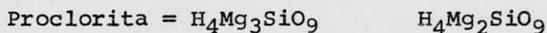
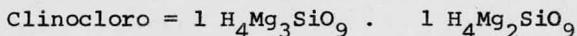
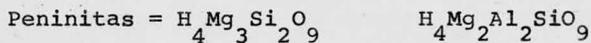
El grupo de las cloritas se puede dividir en dos partes:

Ortochloritas

Leptochloritas.

La composición de las leptochloritas, tienen un contenido de fierro más alto, menos agua, y se acercan más aproximadamente a la composición de las micas quebradizas. Comúnmente tienen índices de refracción más altos que las ortochloritas. Comúnmente ocurren como agregados escamosos densos o terrosos en las rocas.

La composición de las ortochloritas se ha explicado suponiendo mezclas isomorfas de  $H_4Mg_3Si_2O_9$  (serpentina) y  $H_4Mg_2AlSiO_9$  -- (amesita). En ambas de estas moléculas el fierro ferroso puede substituir al magnesio y en la última el fierro férrico (o cromo) puede substituir al aluminio. Con esta base se ha hecho la siguiente clasificación de las ortochloritas.



Además de las especies mencionadas hay otras clases menos precisas en forma, que ocurren en escamas, también fibrosas a macizas o terrosas; son con frecuencia de composición más o menos indeterminada, pero en muchos casos debido a su extensa ocurrencia, de gran importancia geológica. Estas últimas formas ocurren como minerales secundarios que resultan de la alteración especialmente de silicatos ferromagnesianos, como biotita piroxeno,

anfíbol; Con frecuencia están acompañados de otros minerales secundarios como serpentina liminita, calcita, étc. Especialmente en las formas alteradas de rocas básicas. Las cloritas que forman rocas se reconocen en secciones delgadas, escamas o fibras, algunas veces agregadas en esferulitas; por su color verdoso bajo relieve y colores de interferencia extremadamente bajos que frecuentemente exhiben el "ultra azul". Por esta última característica se distinguen fácilmente de las micas, a las que se parecen mucho y con las que están frecuentemente asociadas.

Grupo de la Scheelita.

TETRAGONAL

Scheelita	$\text{CaWO}_4$	5.246 KK	11.349
Powelita	$\text{CaMO}_4$	5.23	11.44

El tipo de estructura de la Scheelita está dado por un número de oxisales del tipo  $\text{AXO}_4$ , con grandes iones X, usualmente I, W o Mo, y ordinariamente con cationes relativamente grandes a pesar de que la estructura es muy tolerante en esta vista. La Scheelita y Powelita concuerdan en una simetría dipiramidal tetragonal (4/m). La Wulfremita sin embargo, aparentemente carece de un plano de simetría horizontal, y su punto simétrico es piramidal tetragonal (4), a pesar de que su estructura y la del mineral raro Stolzita es muy similar, si no es idéntico con la de la Scheelita. Raspite es un polimorfo monoclinico de Stolzita. Pro-

bablemente hay series completas envolviendo la substitución mutua de Wolframio y Molibdeno la cual se extiende entre ambas, -- Scheelita Powelita, Wulfenita-Stolzita. La Wulfenita, Stolzita y peculiarmente Powelita son minerales secundarios, mientras que -- la Sxheelita es típicamente un hidrotermal de alta temperatura, -- a pesar de que algunas veces es de baja temperatura o de origen secundario.

Cristalización. Tetragonal; dipiramidal 4/m. (Scheelita)

Formas:	a:c = 1:2.1717		P <sub>0</sub> :r <sub>0</sub> = 2.1717:1	
c001	....	0°0'	90°0'	90°0'
013	0°0'	35 54	90 00	65 30
011	0 00	65 16.5	90 00	50 02.5
114	45 00	37 31	64 29.5	90 00
112	45 00	56 55.5	53 40	90 00
134	18 26	59 47	74 08.5	67 16
123	26 34	58 17.5	77 38.5	74 23.5

ESTRUCTURA CELULAR. Grupo espacio I 4<sub>1</sub>/a . a<sub>0</sub>5.246KX,  
c<sub>0</sub>11.349 c<sub>0</sub>:c<sub>0</sub> = 1:2.165 Conteni celular Ca<sub>4</sub>(WO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.

HABITO. Octahédrica con 011 ó 112 predominante; algunas veces tabular 001 . 001 usualmente rugosa; 112 a menudo estriado diagonalmente, usualmente paralela a 311, la intersección con -- 121. También macizo, granular y columnar.

Ver Figura 7.

APAREAMIENTO. En 110, común, como penetración más amenudo - que contactos apareados. Composición del plano usualmente (110), también (001).

GRABADOS. Figuras grabadas conforman a una simetría tetragonal-dipiramidal, excepto con solventes opticamente activos.

CRECIMIENTOS ORIENTADOS. A cerca de la Wolframita, con ---- Scheelita 001 110 paralela a wolframita 010 001.

FISICAS. Desdoblamiento preciso 101, 112 interrumpida, 001 usualmente confusa. Ruptura desigual a subconcoidal. H. 4 1/2 -5.  $G.6.10 \pm 6.09$ ; la bravedad decrece con un aumento en la substitución del  $MoO_3$  ga. 8.0 % y  $G.=5.48$  para  $MoO_3$  24.0% (anal 9). Brillo vítreo, inclinado a adamantina. Sin color hacia el blanco, - usualmente blanco amarillento, amarillo palido o cafeso; también verdoso, gris, rojizo, amarillo-anaranjado. El material con poco o nada de Molibdeno es usualmente blanco o muy cercano a él. Algunas veces verde profundo debido a alteraciones superficiales a causa de la cuprotungstita. Veta blanca. Transparente. Brillo fluorescente blanco azulado en los rayos x, radiación ultravioleta corta, al igual que en los rayos catódicos. La fluorescencia se inclina a blanca y blanca amarillenta con el incremento en el contenido de Mo. Termoluminiscente.

OPTICA. Sin color la luz transmitida. Algunas veces exhibe una birrefringencia débil anormal. Los índices presumiblemente - decrecen con el incremento en el contenido de Mo, pero se carece

de datos. Uniaxial positivo (+). Indices:

	667	C	D	570	533	E	475
nE	1.9263	1.9281	1.9365	1.9375	1.9442	1.9368	1.9525
nO	1.9107	1.9124	1.9200	1.9208	1.9273	1.9298	1.9344

QUIMICAS. Tungstado de calcio,  $\text{CaWO}_4$ . El Mo puede ser substituído por W, y series parciales isomorfas se extienden hacia la powelita,  $\text{CaMoO}_4$ , hasta por lo menos Mo:W 1:1.38. La Scheelita ordinariamente contiene pequeñas cantidades de Mo pero este elemento no ha sido visto ni en los analisis viejos y modernos. Zonas de crecimiento con variación en la relación W:Mo y el color esta a menudo presente. Pequeñas cantidades de tierras raras y Cb, Ta están algunas veces presentes en substitución del Ca y W, respectivamente, Trazas de F y Cl han sido reportadas; también Si (aparentemente debido a mezclas en algunos ejemplos por lo menos) Fe y Bi.

ANALISIS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaO	19.47	19.49	19.57	19.43	19.28	18.33	19.73	20.33	22.43
MgO		tr.	0.05	tr.	0.55	1.67			
$\text{MoO}_3$		0.07	0.58	0.72	1.47	2.46	3.15	8.23	24.01
$\text{WO}_3$	80.53	80.53	79.51	79.58	78.75	77.35	77.03	71.08	53.56
Rem.			0.25						
Total	100.00	99.73	99.96	99.83	100.00	99.81	99.91	99.64	100.00
G		6.02						5.88	5.484

1.-  $\text{CaWO}_4$  2.- Schwatzerberg, Saxony. Capa exterior café -- sobre nucleos blancos conteniendo solamente una traza de  $\text{MoO}_3$ .- 3.- Traversella. Cristal amarillo Rem. es de  $\text{Cb}_2\text{O}_5$  0.08,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.02 tierras raras 0.14,  $\text{H}_2\text{O}$  0.01,  $\text{BaO}$  y  $\text{SrO}$  tr. 4, 5, 6, 7. Traversella color: 4, amarillo-anaranjado; 5.- Café verdoso; -- 6.- Café rojizo, 7.- sin color, 8.- Zinnwald Saxony. 9.- Ambondrombe, Madagascar.

VARIETADES. Molibdian. Moliboxheelite Strunz. Seirigita La croix. Contiene Mo en substitución del W por lo menos arriba -- del 24% en peso del  $\text{MoO}_3$  ( $\text{Mo}:\text{W} = 1:1.38$ ). Material con mas de 2 a 3% en peso de  $\text{MoO}_3$  es muy raro.

PRUEBAS.- B.B. fundido con dificultad a vidrio semi-transparente. Descompuesto por  $\text{HCl}$  o  $\text{HNO}_3$ , dejando un polvo amarillo de Oxido tungstico hidrico el cual es soluble en amonio.

OCURRENCIA.- La Scheelita está dispersada y amenudo es un material importante del tungsteno. Como la wolframita, con la -- cual esta amenudo asociada, la Scheelita es un mineral tipicamente de alta temperatura. Los tipos principales de ocurrencia incluyen: 1) depósitos metamórficos de contacto formados adyacentemente a intrusivas graníticas en piedra caliza. Minerales asociados incluyen granate, dipsida, tremolita, hornablenda, epidota, wolastonita, vesuvianita, axinita, molibdenita, fluorita, -- con cantidades menores de sulfuros, principalmente piritita y calcopiritita, y raramente wolframita. La roca metamorfica-contacto -- es comunmente conocida tactita. 2) Los depósitos principales --

económicos de Scheelita son de este tipo. Cuarzo-rico de alta temperatura de venas hidrotermales y gres, usualmente asociado con intrusivas graníticas inmediatamente y conteniendo cantidades importantes de wolframita y casiterita. Otros minerales asociados incluyen turmalina, apatita, topacio, fluorita, mica, albita, arsenopirita, pirita, pirrotita, molibdenita, calcopirita, bismuto-nativo, y Bismutinita. La Scheelita esta subordinada en cantidad a y formada mas tarde que la wolframita y amenudo es un mineral de accesorio. 3) En pegmatitas, usualmente sólo como un constituyente accesorial pero algunas veces en cantidades importantes --- (Oreana, Nevada). 4) En cantidades relativamente pequeñas de venas hidrotermales formadas a temperaturas bajas, (Leadville, Colorado; Bolivia; Atolia, California).

Alteraciones. (En la zona de erosión, la Scheelita se altera a tungstita, hidrotungstita o, en presencia de soluciones de cobre a cuprotungstita. La wolframita algunas veces es necontrada como un pseudomorfo perfecto después de Scheelita, pero la Scheelita es mas amenudo encontrada mas o menos remplazando completamente a la wolframita, en ambos casos aparentemente como un resultado de un proceso.

Los pseudomorfos también han sido encontrados en cuarzo, tungstita, kaolin y bismutita y después Scheelita.

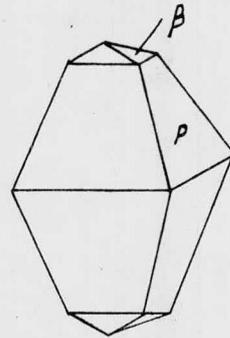
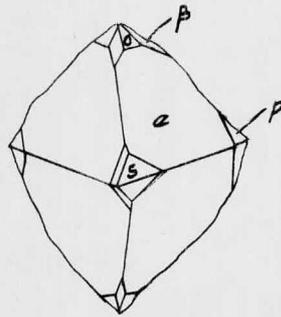
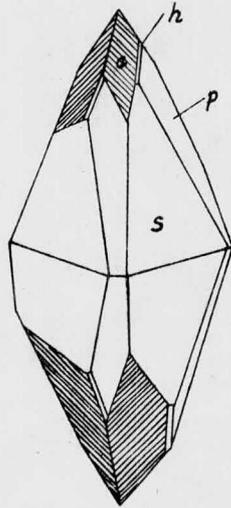
ARTIFICIAL.- Obtenida en cristales de la fusión de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  con  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{NaCl}$ , calentando el precipitado de  $\text{CaWO}_4$  con Ca en un

vapor de HCl, añadiendo gota a gota una solución de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  a una solución de  $\text{CaCl}_2$  acuosa acidulada con HCl, y como un sublimado por calentamiento de una mezcla de  $\text{CaWO}_4$  con NaCl y KCl.  $\text{CaWO}_4$  forma una serie parcial con  $\text{BaWO}_4$  en materiales artificiales. -- También obtenido como un simple cristal de fusión y por el proceso Verneuil.

**NOMBRE.** - Nombrada en honor del químico sueco Karl Wilhelm - Scheele (1742-1786), quien provó la existencia del óxido tungstíco en la Scheelita en 1781. El aislamiento de tungsteno metálico (del suecotung, pesado o ponderoso y sten, piedra), fue primero reportado por el químico español J.J y F. de Elhuyar en 1783, pero puede haber sido completada por Scheele.



FIGURA - 7



C A P I T U L O   I I I

"EL TUNGSTENO"

## A) ASPECTO HISTORICO.

El Tungsteno es un material vital en la industria, con una rica historia que ocupa varios siglos. Es uno de los metales -- más pesados, teniendo la misma densidad que el oro. La característica más importante del tungsteno es su alta temperatura de fusión, es de  $3410^{\circ}\text{C}$  la cual excede la de los otros metales. - Esta característica es debida a la cohesión interatómica muy -- fuerte del metal, la cual junto con el coeficiente de expansión térmico extremadamente bajo de la razón de su fuerza a elevadas temperaturas.

La corteza terrestre está constituida de aproximadamente - 0.01 por ciento de tungsteno, el cual está clasificado como uno de los 26 elementos más abundantes de la misma. Es más común -- que el molibdeno, columbio y tantalio, y un poco menos común -- que el níquel y el cobre.

Los minerales del tungsteno son encontrados en muchos países incluyendo la República Popular de China, la Unión Soviética, Corea, Bolivia, Portugal, Australia, Burma, Canadá y los Estados Unidos. China y Rusia contienen aproximadamente el 60% de las reservas mundiales.

El tungsteno en su forma elemental no es encontrado nunca en la naturaleza. Excepto para tungstenita,  $\text{WS}_2$ , el tungsteno siempre aparece como un trióxido combinado con óxidos de hierro,

manganeso o calcio, y con un limitado grado con los óxidos de plomo y cobre. Los minerales más importantes son la scheelita y las wolframitas. Las scheelitas contienen cerca de 80.6% de  $\text{WO}_3$  cuando se encuentra puro. La Wolframita cubre una serie de tungstatos ferrosos y manganosos yendo de  $\text{FeWO}_4$  a  $\text{MnWO}_4$  puro.

Algunas veces es conocido como wolframio, el descubrimiento del tungsteno proviene cuando un Agrícola en 1556 descubrió el mineral en depósitos de estaño. El lo llamó wolframio (espuma de lobo). porque se devoraba al estaño como un lobo se come a las ovejas. Lupus, el latín de lobo, ha sido traducido en el trabajo de los metalurgistas alemanes en lobo y "rahm" significa mancha de hollín debido al color negro y fragilidad del material.

#### WOLFRAMITA.-

El mineral designado wolframita era un tungstato de hierro manganeso. Los mineros de estaño alemanes lo vieron como un mineral dañino que devoraba estaño y causaba una menor recuperación del estaño en las fundiciones.

En 1781 el Químico sueco Karl Wilhelm Scheele identificó el tungstato de calcio ahora llamado scheelita, pero no podía ser producido en una forma metálica. La palabra tungsteno es proveniente de la palabra sueco "tung" por pesado y "sten" por piedra. En 1783 la wolframita fue primera aislada por los hermanos españoles J.J. y F. de Elhuyar. Ellos incineraron una mues

tra de ácido wolframico y carbón en polvo, la cual producía partículas de tungsteno metálico. Los hermanos experimentaron con el tungsteno para aceros duros. En 1785 el científico alemán -- Raspe demostró que el wolframio puede servir para éste mismo -- propósito.

Oxland recibió una patente Británica (No. 11848) para la manufactura de tungstato de sodio y el ácido tungstico en 1847.

Varios años más tarde Robert Mushet, un Inglés maestro en el hierro, desarrolló un grado de acero a alta velocidad el cual contenía de 6.4 a 10% de tungsteno. Cerca de 1868, otros investigaron la producción de acero al tungsteno para rieles en Francia, Bélgica y Rusia. Las herramientas de acero al tungsteno tenían mayor dureza que las hasta entonces existentes de acero, y también una mejor eficiencia cortante. En la exhibición de 1900 en París la Bethlehem Steel Corporation, exhibió una herramienta de acero a alta velocidad de una aleación de tungsteno.

En los Estados Unidos, depósitos de wolframita llamados -- "hierro negro" fueron descubiertos en 1883 en la región de las colinas negras de Dakota del Sur. Más tarde la compañía metalúrgica Reinbold explotó una mina, y embarcó mineral de tungsteno a Europa de sus minas en Sunday Gulch. El depósito más largo y puro de wolframita en cualquier parte del mundo fue descubierto accidentalmente en 1911, en la provincia montañosa Hunan al su-

roeste de China por K.C. Li, un joven ingeniero de minas.

En 1908 el Dr. William D. Coolidge de la compañía General-Electric desarrolló un proceso metalúrgico, para producir una lámpara incandescente de filamento de tungsteno ductil para reemplazar la de filamentos de carbón de Edison, los cuales eran --quebradizos y de corta vida. El tungsteno fue considerado el material ideal para filamentos debido a su alto punto de fusión, pero demostró ser difícil de trabajar. A temperatura ambiente era tan quebradizo como el vidrio, y los filamentos hechos de él eran frágiles y a menudo se rompían.

El Dr. Coolidge desarrolló una amalgama en forma de filamento consistiendo de mercurio, cadmio y bismuto como un enlazador para tungsteno en polvo. La mezcla fue vertida hasta sequedad, seguida por un movimiento del enlazador y por aplicación de alto calor, entonces se enlazan las partículas de tungsteno pasando una corriente a través del filamento. Sin embargo, el filamento era muy quebradizo.

No fue hasta tres años después que Coolidge tuvo éxito en hacer un filamento dúctil de polvo de tungsteno puro, por medio de un tratamiento con calor y trabajo mecánico. Fue determinado que la alta temperatura usada en la sinterización, el filamento de tungsteno quedó con una estructura metalográfica completamente cristalina, lo cual causó la fragilidad. Fracturando el crystal por medio de trabajo mecánico causó un cambio en el tungste

no de una estructura completamente cristalizada a una algo fibrosa. Resultando un filamento dúctil, el cual pudo ser fácilmente enrollado como alambre. Esto marcó el principio de la industria eléctrica luminosa.

Un hecho interesante es que 1/2 Kg. de polvo de tungsteno puede ser convertida en un alambre de 14 Km. de largo o suficiente para proveer filamentos para 23 000 focos de 60 watts.

El trabajo del Dr. Coolidge ayudó para crear otros productos importantes tales como tubos electrónicos, toberas y contactos eléctricos. El Dr. Coolidge murió en febrero de 1975 a los 101 años de edad.

Después de la primera Guerra Mundial Alemania usó herramientas de acero alta velocidad de tungsteno y herramientas cortantes para producir municiones.

En los años veinte se hizo el carburo de tungsteno sintetizado, uno de los materiales mas duros hechos por el hombre. Numerosos productos de metal cortante resultaron.

#### USO EN ARMAS DE GUERRA.

Durante la segunda guerra mundial, los alemanes fueron los primeros que usaron el carburo de tungsteno en armaduras de alta velocidad para proyectiles penetrantes.

El tungsteno se ha convertido en un material muy necesario en productos importantes, por ejemplo, la unión de carburo de -

tungsteno es un componente de materiales duros usado para herramientas cortantes, cuñas y usado en partes resistentes. También ha llegado a ser un material muy importante para insertar pedazos usados en taladro de roca para minería y taladros de aceite. Composiciones de tungsteno-plata y tungsteno-cobre son usados para contactos eléctricos. Otras aplicaciones del tungsteno incluye toberas de cohetes, electrodos para soldaduras de arco eléctrico, calentamiento de elementos y protector para radiación, y contrapeso para los relojes de pulsera que dan vueltas por sí solos (automáticos).

#### PRODUCCION DE TUNGSTENO EN MEXICO.

El incremento en la oferta de tungsteno, ha obedecido fundamentalmente a una mayor demanda externa, ya que la producción se destina casi en su totalidad a la exportación, debido a que en nuestro país no existen actualmente las instalaciones minero-metalúrgicas que aprovechen los minerales concentrados de tungsteno que se obtienen en México, para elaborar los productos finales que requiere la industria de la transformación.

La producción fue:

Año	Volúmen (Tn/métricas)
1968	266
1969	289
1970	288
1971	416
1972	492

#### LOCALIZACION.-

Los estados productores de tungsteno en el país son: Sonora, Chihuahua y Baja California. En donde se obtiene el 85%, -- 13%, y 2% respectivamente.

#### YACIMIENTOS Y RESERVAS.

Sonora: Municipio de Caborca, Santa Ana y Sahuaripa.

Baja California: Municipio de la Paz y en la Zona del Fenómeno.

Chihuahua: Municipio de Guadalupe y Calvo.

Potencialmente aunque no existen denuncias importantes en la región de la Sierra de Ures en el estado de Sonora.

El mineral de tungsteno que mas abunda en el país es la -- Scheelita, aún cuando también se ha encontrado la Wolframita, - la Wunstita y la Cuprotungstita. Generalmente la ley de los minerales que se han explotado, fluctúa entre el .3% y 1% de  $WO_3$ .

A pesar de que los yacimientos de tungsteno han sido poco observados las reservas positivas de este mineral se estiman en 171 630 toneladas con un contenido de 0.5% de  $WO_3$ .

#### DEMANDA.

Las importaciones mundiales de tungsteno se realizan principalmente en forma de minerales metálicos y ferrosos.

Los principales importadores mundiales de tungsteno fueron: Alemania Occidental, Reino Unido, Japón y Austria.

## PRODUCCION MUNDIAL.

Año	Ton. métricas (volumen)
1966	28 615
1967	28 455
1968	31 017
1969	32 091
1970	33 573

C A P I T U L O   I V

"EXPERIMENTACION Y RESULTADOS "

- A) DISEÑO DEL EXPERIMENTO
- B) DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES
- C) TABLAS DE RESULTADOS
- D) BALANCE METALURGICO

## A) DISEÑO DE LA PARTE EXPERIMENTAL:

En ésta parte nos referimos al planteamiento que hicimos - para diseñar el método, sabiendo que de la elección de éste método experimental dependerá el éxito que persigue nuestra tesis.

Primeramente mostraremos en una forma descriptiva el procedimiento que fué seguido y posteriormente se hará un cuadro que - lo muestre en forma objetiva se partió de un mineral molido que - contiene Scheelita, que como sabemos éste es un mineral que contiene Wolframio en la forma de Wolframato de Calcio ( $\text{CaWO}_4$ ).

Dicho mineral nos fué proporcionado con el fin de concentrar y alcanzar valores considerables de concentración entendiendo con éstos valores de concentración que pudieran revestir un interés comercial.

Para comenzar se procedió a efectuar un estudio mineralógico con la finalidad de conocer la composición del mineral y saber que tipo de minerales asociados vienen con la Scheelita, dicho estudio fué efectuado por difracción de "RAYOS X".

Una vez conocida la composición mineralógica se observó -- que los minerales asociados tienen una densidad específica menor que la de la Scheelita, por lo cual podría escogerse un método de concentración que tubiera como fundamento la separación por diferencia de densidades.

Haciendo un breve estudio se encontró que la mesa Wilfley -- podría servirnos para los fines que perseguíamos y tal como se --

menciona en capítulo 1, en la mesa Wilfley en la zona de concen--  
trados se obtiene el mineral de mas alta gravedad específica o --  
sea el mineral más pesado de la muestra a concentrar, y como se  
menciona en el capítulo 2, los minerales encontrados fueron los -  
siguientes:

MUSCOVITA	-	Densidad Específica	-	2.76 a 3.
CLORITA	-	"	-	2.65 a 2.78.
CUARZO	-	"	-	2.65.
SCHEELITA	-	"	-	5.9 a 6.1

Una vez que se tiene ésto definido proseguimos nuestros es-  
tudios con la seguridad de que la mesa Wilfley nos será de gran -  
ayuda.

El siguiente paso es separar y clasificar la muestra por -  
tamaños de partícula, ésto lo hicimos con una serie de mallas ó -  
cribas colocando la criba de orificio mayor en la parte superior-  
y así sucesivamente.

Las cribas utilizadas para separar en éste estudio son las  
siguientes:

-30+40  
-40+70  
-70+100  
-100+150  
-150+200  
+200.

Estas separaciones serán de gran interés, ya que después de concentrar el mineral a través de la Mesa Wilfley podrá determinarse, haciéndose un análisis químico previo, cual es el grado de molienda óptimo, o sea a que tamaño de partícula deberá hacerse la molienda, para que en caso de ser costeable su explotación, el mineral sea molido a las mallas que determine nuestro estudio.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en el cribado de la muestra teniendo así la siguiente granulometría:

FRACCION	# MALLAS	PESO(KG)	% EN CADA MALLA
I	-30+40	.145	1.45%
II	-40+70	3.025	30.25%
III	-70+100	1.324	13.24%
IV	-100+150	1.534	15.34%
V	-150+200	1.492	14.93%
VI	+200	2.480	24.79%
	TOTAL	10.000	100%

VER (Grafia 4.1)

Una vez cribado el mineral se encuentra listo para entrar en la siguiente operación, la cual realizaremos en la mesa Wilfley de la siguiente manera:

Primeramente se efectuarán dos corridas de prueba para ajustar y conocer el comportamiento de la mesa y las variables de operación como son, inclinación, velocidad de pulsación, flujo de agua, cantidad y forma de alimentar el mineral. La primera prueba se hizo con finos (malla +200) y la segunda con semigruesos (malla +70-100) utilizando 100 grms. de cada uno y observando claramente la separación de tres y cuatro bandas (siendo la de concen-

trados en forma de hilo de color lechoso).

Una vez ajustadas las variables de la mesa se procedió a --  
efectuar las corridas de cada una de las fracciones recogiendo --  
como productos:

- 1) Concentrados
- 2) Medios
- 3) Colas
- 4) Lamas.

Las cuales fueron recogidos en charolas y puestos a secar --  
en vasos de precipitados, pesando y anotando cuidadosamente los --  
pesos de cada una de las partes recogiendo meticulosamente las --  
mismas, procurando así evitar las pérdidas de material luego se--  
cando éste en una estufa con el fin de eliminar la humedad de las  
muestras para tener resultados confiables (los resultados se mues  
tran en las tablas de resultados mas adelante).

Una vez obtenidas las separaciones correspondientes a cada  
una de las fracciones, las muestras serán chequeadas por un análi  
sis químico, para determinar los valores de concentración obteni  
dos.

## B) DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES:

### TRITURACION.

#### B.1) PRINCIPIOS:

La trituración de minerales se efectúa normalmente por com  
presión, fracturándose estos en el momento de llegar a su límite-

elástico. Consecuentemente para llegar a tal punto es necesario - transmitir a la superficie de los minerales una fuerza de tal intensidad que permita traspasar el límite mencionado. En estas condiciones, cada vez que un mineral se tritura hay un consumo de -- energía proporcional a la nueva superficie producida.

Con el objeto de ilustrar el principio de trituración se hace un análisis de fuerzas que se imparten en una quebradora de -- quijada y se determina a la vez, porque las quijadas de una quebradora están colocadas en un ángulo determinado.

Ver Figura No. 8

$F$  = Fuerza aplicada.

$f$  = fuerza de fricción.

La fuerza ( $F$ ) que la quijada móvil importa a la roca en su punto de contacto, se descompone en dos, una normal y la quijada-fija ( $F \cos$  ) y otra vertical ( $F \text{ sen}$ ).

La fuerza normal ( $F \cos$  ) ( $F$ ), origina la fuerza ( $f$ ) ( $F \cos$ ) siendo ( $f$ ) la fuerza de fricción. El valor de esta fuerza ( $f$ ) está dada por el coeficiente de fricción, el cual es a la tangente del ángulo de fricción entre la roca y la quijada. Teniéndose teóricamente dos puntos de contacto de la roca con las quijadas, el coeficiente de fricción (0.2 a 0.3) se duplica, teniéndose por -- consecuencia los siguientes valores:

Angulo cuya tangente es  $0.20 = 11^{\circ}19'$

Angulo cuya tangente es  $0.30 = 16^{\circ}42'$

La abertura teórica entre las quijadas deberá ser de:

( $22^{\circ}38'$ ) a ( $33^{\circ}42'$ ), tomándose en la práctica entre  $20^{\circ}$  y  $25^{\circ}$ .

Relación de Trituración y Nueva Superficie.

### 2.1 Relación de Trituración (RT)

Esta relación es la existente entre el tamaño de mineral que se alimenta a una quebradora y el de su descarga, tomándose estos valores como (F) alimentación y (P) descarga, valores que deben ser correspondientes al tamaño al cual se halla el 80% de cada producto, quedando esta relación expresada en los siguientes términos:

$$RT = \frac{F}{P} \quad (1)$$

Suponiendo que se alimenta a una quebradora mineral a  $-10''$  y se tritura a  $-2''$ , teniéndose tanto de alimentación como de descarga las granulometrías que se consignan en los cuadros 1 y 2, se pueden determinar los valores (F) y (P) por medio de las gráficas 4, 2 y 4, 3.

### A L I M E N T A C I O N .

Producto	tamaño cm	Peso %
$-10'' + 9''$	25.40 + 22.86	37.6
$-9'' + 8''$	22.86 + 20.32	10.6
$-8'' + 6''$	20.32 + 15.24	9.4
$-6'' + 4''$	15.24 + 10.16	8.2
$-4'' + 2''$	10.16 + 5.08	17.6
$-2''$	5.08	16.6

## A L I M E N T A C I O N .

Producto	Tamaño cm	Peso %
-10"	-25.40	100.0
- 9"	-22.86	62.4
- 8"	-20.32	51.8
- 6"	-15.24	42.4
- 4"	-10.16	34.8
- 2"	5.08	
(F) 244000	MICRAS	

Cuadro No. 1

## D E S C A R G A .

Producto	Tamaño cm	Peso %
-2" + 1"	5.08 + 2.54	38.6
-1" + 3/4"	2.54 + 1.9	14.9
-3/4" + 1/2"	1.9 + 1.27	13.9
-1/2" + 1/4"	1.27 + 0.635	15.8
-1/4"	.635	16.8
-2"	-5.08	100.0
-1"	-2.54	61.4
-3/4"	-1.91	46.5
-1/2"	-1.27	32.6
-1/4"	-0.64	16.8
(P) 39000	MICRAS	

Cuadro No. 2

Quedando con los valores determinado (F) y (P) la relación de trituración siguiente:

$$RT = \frac{F}{P} = \frac{244000}{39000} = 6.25$$

Esta relación que ha sido determinada bajo los conceptos señalados, difiere considerablemente de la que comunmente se determina mediante el producto de las relaciones escuetas de admisión.

(10") y descarga (2"), que daría una falsa relación de trituración RT = 5.0

## 2.2 NUEVA SUPERFICIE PRODUCIDA:

Con el objeto de expresar con sencillez el concepto de superficie original y de superficie producida, nos permitiremos suponer que en un cubo al ser triturado se fracturará en partículas iguales. Consecuentemente, el cubo de la figura siguiente, tendrá un área original (S)

$$S = 6 (x^2) \quad (2)$$

Ver Figura No. 9

Si la partícula se tritura en la relación de trituración --- siguiente:

$$RT = \frac{X}{D} \quad (3)$$

La nueva superficie producida será:

$$NS = 6D^2 (RT)^3 \quad (4)$$

Si la misma partícula se tritura en otra nueva relación de trituración que produzca partículas de lado (d), tendrá la siguiente relación de trituración (rt) y nueva superficie (ns).

$$rt = \frac{x}{d} \quad (5)$$

$$ns = 6d^2 (rt)^3 \quad (6)$$

Ejemplo:

Dando valor de:

$$X = 4 \text{ cm.}$$

$$D = 2 \text{ cm.}$$

$$d = 1 \text{ cm.}$$

y substituyendo valores en (2), (3), (4), (5) y (6) se tendrá:

$$S = 6(4^2) = 96 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

$$RT = \frac{4}{2} = 2 \quad (3)$$

$$NS = 6(2^2) \times (2^3) = 192 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

$$rt = \frac{4}{1} = 4 \quad (5)$$

$$ns = 6(1^2) \times (4^3) = 384 \text{ cm}^2 \quad (6)$$

#### METODO DEL PENDULO.

El método del péndulo, que determina un índice de trabajo (Wi), consiste en fracturar partículas de mineral mediante el impacto producido por el péndulo con peso 33.3 lbs., y carrera -- máxima de 3.0 Ft, que gira libremente en un perno, imparte una -- energía variable Ft-lb a la boca para ser fracturada.

Normalmente para esta determinación se hacen entre 40 y 60-- pruebas, tomando un promedio de los espesores de las rocas frac-- turadas así como de las lecturas registradas por la altura de -- caída del péndulo. El producto de dividir el promedio de lectu-- ras entre el promedio de espesores corresponde a la energía nece

saria en Ft lbs., por pulgada que se denomina como factor (c).

#### DIAGRAMA DE TRITURACION:

El diagrama No. 1, representa en términos generales los tres principales arreglos para esta operación, en los cuales la eficiencia en la misma va en aumento del arreglo (1) al (3), debiéndose considerar que la inversión en instalación aumenta en el mismo -- aspecto pero el de operación es un sentido inverso. Este último-- aspecto se intensifica notablemente en plantas de gran capacidad.

Ver Figura No. 10

#### COMENTARIO.

#### TRITURACION.

Los frecuentes estudios para determinar la demanda de energía en la operación de Trituración, mediante la aplicación de los métodos "Directos" y del "Péndulo", han permitido llegar a comprobar la similitud entre los resultados obtenidos en innumerables -- casos. Sin embargo es importante considerar, que para algunos minerales con planos de fractura definidos, como en las calizas, -- pizarras, lutitas, que presentan caras planas, el método del "Péndulo", generalmente no es aplicable acusando valores de demanda-- de energía hasta 300% mayores que los obtenidos en Método "Directo".

La caliza cuyos átomos de calcio y carbono se ubican forman-

do una celda unitaria romboendral, estando los grupos de oxígeno en series de tres alrededor de los átomos de carbono, orientan a los grupos cristalinos en extractor paralelos a sus caras, en estas condiciones, si este mineral recibe el impacto normal a sus planos, acusa valores altos de resistencia y si lo recibe normal a los planos acusa valores bajos. En el mismo caso se hallan los otros minerales antes mencionados, por lo que para este tipo de minerales se recomienda el Método Directo que proporciona un valor real e intermedio.

#### MOLIENDA.

#### GENERALIDADES.

La operación de molienda normalmente se efectúa en etapa primaria en molinos de barras y secundaria en los de bolas. Generalmente la descarga de los molinos de barras es a 991 micras (16 mallas), alcanzándose cualesquier tamaño, dentro de límites económicos, en los de bolas. Esta operación se logra con alta eficiencia cuando los molinos son operados en condiciones normales en cuanto a uniformidad del tamaño de alimentación, dilución y satisfacen además las siguientes constantes:

- a. Velocidad.
- b. Carga de bolas.
- c. Potencia del motor.

## VELOCIDAD CRITICA Y DE TRABAJO.

Para que haya lugar al efecto de molienda de partículas de mineral en un molino, se requiere que los miembros de molienda, barras, bolas o guijarros, tengan un movimiento relativo tal, con respecto a este que permita que la operación se efectúe eficientemente.

Recurriendo un tanto al absurdo y si se considera que la velocidad del molino es igual a cero, no habrá movimiento alguno de los miembros de trabajo y consecuentemente no se obrenará ningún grado de molienda. Si por el contrario, se supone que la velocidad del molino es tal que permita que por efecto centrífugo, los miembros de trabajo y la carga de mineral se adhieran al molino, tampoco se verificará la operación de molienda.

Consecuentemente, los miembros de trabajo deberán tener con respecto al molino un movimiento relativo para poder llegar a determinada posición para que en su caída y rodamiento efectúen su trabajo.

A la velocidad necesaria del molino para satisfacer tal condición, se le denomina velocidad de trabajo ( $V_t$ ) que corresponde, dependiendo del tipo de molino y requerimientos de molienda, entre el 70 y 80% de la velocidad crítica ( $V_c$ ), siendo ésta aquella a la cual una bola en el interior del molino se adhiere a éste -- por efecto centrífugo y se desprende al llegar a la parte superior del mismo y cae libremente.

Los cálculos permiten llegar a la fórmula de la velocidad -- crítica de los molinos, y a partir de ésta la velocidad de trabajo y determinar las fórmulas para las otras constantes.

#### CARGA DE BOLAS.

La carga de bolas en los molinos debe ser un factor constante ocupando un volumen proporcional a ellos. Independientemente-- del diámetro de la descarga del molino, en términos generales se-- considera como carga apropiada la que ocupe el volumen correspondiente a un tercio del diámetro de trabajo del molino.

## TABLAS DE RESULTADOS

Una vez cribado el material se efectuaron las primeras corridas de pruebas y se determinaron las variables de la masa, posteriormente se hicieron las corridas de las diferentes fracciones usando 500 grs. de cada una de cada corrida, obteniendo resultados de concentración y análisis químico, como (WO<sub>3</sub>).

PRODUCTO	FRACCION I		FRACCION II		FRACCION III		FRACCION IV		FRACCION V		FRACCION VI	
	PESO (GR)	LEY	PESO (GR)	LEY	PESO (GR)	LEY	PESO (GR)	LEY	PESO (GR)	LEY	PESO (GR)	LEY
Concentr.	51.865	1.284	90.67	7.308	25.180	12.655	5.429	40.040	2.729	28.616	1.800	42.386
Medios.	389.800	.151	392	.113	246.300	.104	378.101	.274	382.000	.377	224.700	.680
Colas	47.000	.142	14.3	.113	23.300	.17	98.000	.061	93.540	.090	239.098	.082
Lamas	2.300	.076	3	.104	25.200	.189	18.470	.453	21.690	.368	34.400	.080
Total	500		500		500		500		500		500	

En las gráficas pueden observarse las tendencias de cada uno de los productos (Conc., medios, colas, lamas) después de haber sido efectuada la concentración en la mesa Wilfley.

Ver Gráfica 4.4.

## TABLAS DE RESULTADOS

## FRACCION 1

	CANTIDAD PESO (Gs)	CONCENTRADA PESO%	LEY WO <sub>3</sub> %	ANALIZADA CaWO <sub>4</sub>	W%
CONCENTRADOS	51.865	10.373	1.284	1.5950	1.0181
MEDIOS	398.800	79.76	.151	.1876	.1197
COLAS	47.000	9.4	.142	.1759	.1126
LAMAS	2.300	.46	.076	.0938	.0602
TOTAL	500	100%			

## FRACCION 11

	CANTIDAD PESO (Gs)	CONCENTRADA PESO%	LEY WO <sub>3</sub> %	ANALIZADA CaWO <sub>4</sub> %	W%
CONCENTRADOS	90.670	18.135	7.308	9.0756	5.7950
MEDIOS	392.000	78.404	.113	.1407	.0896
COLAS	14.300	2.860	.113	.1407	.0896
LAMAS	3.000	0.600	.104	.1290	.0824
TOTAL	500	100%			

## FRACCION 111

	CANTIDAD PESO (Gs)	CONCENTRADA PESO%	LEY WO <sub>3</sub> %	ANALIZADA CaWO <sub>4</sub> %	W%
CONCENTRADOS	25.180	5.036	12.655	15.7163	10.0351
MEDIOS	426.300	85.260	.104	.1290	0.0824
COLAS	23.300	4.660	.17	.2111	.1348
LAMAS	25.200	5.040	.189	.2345	.1498
TOTAL	500	100%			

## FRACCION IV

	CANTIDAD PESO (Gs)	CONCENTRADA PESOS%	LEY WO <sub>3</sub> %	ANALIZADA CaWO <sub>4</sub> %	W %
CONCENTRADOS	5.429	1.085	40.04	49.7293	31.7508
MEDIOS	378.101	75.620	.274	.3401	.2172
COLAS	98.000	19.600	.061	.0762	.0483
LAMAS	18.470	3.694	.453	.5629	.3592
TOTAL	500	100%			

## FRACCION V

	CANTIDAD PESO (Gs)	CONCENTRADA PESO%	LEY WO <sub>3</sub> %	ANALIZADA CaWO <sub>4</sub> %	W%
CONCENTRADOS	2.729	.546	28.616	35.5377	22.6918
MEDIOS	382.000	76.400	.377	.4691	.2989
COLAS	93.540	18.708	.090	.1114	.0713
LAMAS	21.690	4.338	.368	.4574	.2918
TOTAL	500	100%			

## FRACCION VI

CONCENTRADOS	1.800	.360	42.386	52.6380	33.6111
MEDIOS	224.700	44.940	.68	.8445	.5392
COLAS	239.098	47.819	.082	.1020	.0650
LAMAS	34.400	6.880	.080	.0996	.634
TOTAL	500	100%			

## BALANCE METALURGICO

## FRACCION 1 LEY ANALIZADA.

PRODUCTO	PESO EN Gr	PESO%	%CaWO <sub>4</sub> ANALISIS	CONTENIDO EN Gr	DISTRIBUCION %
CONCENTRADO	51.865	10.373	1.5950	.16545	49.828
MEDIOS	398.800	79.76	.1876	.14963	45.063
COLAS	47.000	9.4	.1759	.01653	4.978
LAMAS	2.300	.46	.0938	.00043	.1295
TOTAL	500	100%	_____	.33204gr	100%

## FRACCION 11 LEY ANALIZADA

PRODUCTO	PESO EN Gr	PESO%	%CaWO <sub>4</sub> ANALISIS	CONTENIDO EN Gr	DISTRIBUCION %
CONCENTRADO	90.760	18.135	9.0756	1.64586	93.463
MEDIOS	392.000	78.404	.1407	.11031	6.264
COLAS	14.300	2.860	.1407	.00402	.228
LAMAS	3.000	0.600	.1290	.00077	.043
TOTAL	500.000	100%		1.76097	100%

## FUNCION 111 LEY ANALIZADA

PRODUCTO	PESO EN Gr	PESO%	%CaWO <sub>4</sub>	CONTENIDO EN Gr	DISTRIBUCION %
CONCENTRADOS	25.180	5.036	15.7163	.79147	85.741
MEDIOS	426.300	85.260	.1290	.10998	11.914
COLAS	23.300	4.660	.2111	.00983	1.065
LAMAS	25.200	5.040	.2345	.01181	1.279
TOTAL	500	100%		.92309	100%

## FRACCION IV LEY ANALIZADA

PRODUCTO	PESO EN Gr.	PESO%	%CaWO <sub>4</sub> ANALISIS	CONTENID	DISTRIBUCION %
CONCENTRADOS	5.429	1.085	49.7293	.53956	64.815
MEDIOS	378.101	75.620	.3401	.25718	30.893
COLAS	98.000	19.600	.0762	.01493	1.793
LAMAS	18.470	3.694	.5629	.02079	2.497
TOTAL	500	100%		.83246	100%

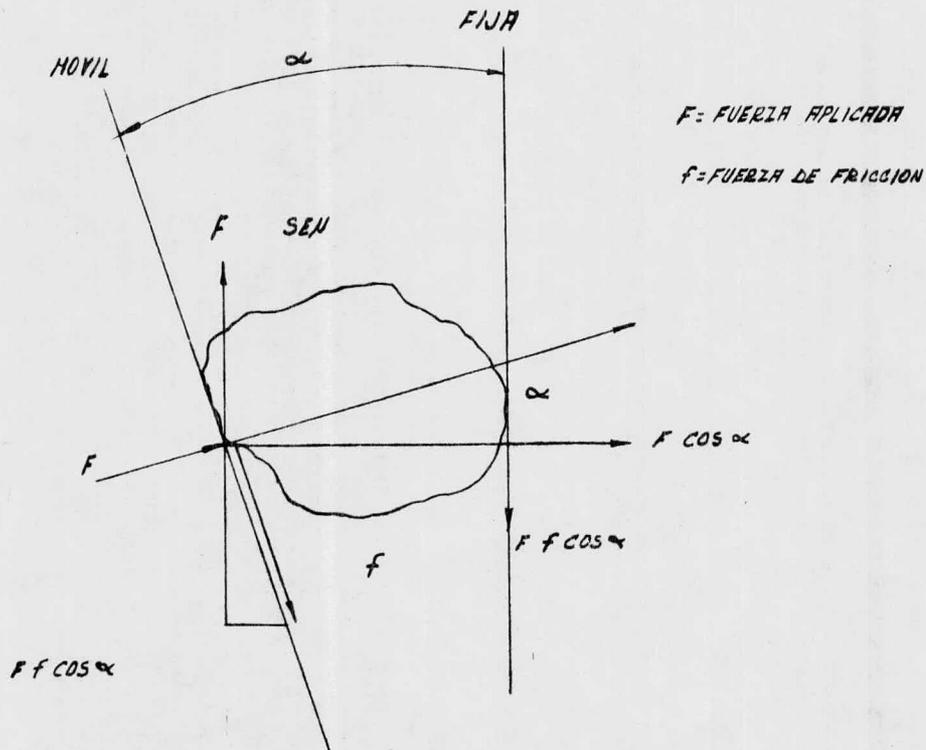
## FRACCION V LEY ANALIZADA

PRODUCTO	PESO EN Gr.	PESO %	%CaWO <sub>4</sub> ANALISIS	CONTENIDO	DISTRIBUCION %
CONCENTRADOS	2.724	.546	35.5377	.19403	32.714
MEDIOS	382.000	76.400	.4691	.35839	60.427
COLAS	93.450	18.708	.1114	.02084	3.514
LAMAS	21.690	4.338	.4574	.01984	3.345
TOTAL	500	100%		.5931	100%

## FRACCION VI LEY ANALIZADA

PRODU PRODUCTO	PESO EN Gr.	PESO %	%CaWO <sub>4</sub> ANALISIS	CONTENIDO	DISTRIBUCION %
CONCENTRADO	1.800	.360	52.6380	.18949	30.66
MEDIOS	224.700	44.940	.8445	.37951	60.758
COLAS	239.098	47.819	.1020	.04877	7.808
LAMAS	34.400	6.880	.0996	.00685	1.096
TOTAL	500	100%		.62462	100%

FIGURA-8



$$S = 6(x^2)(2)$$

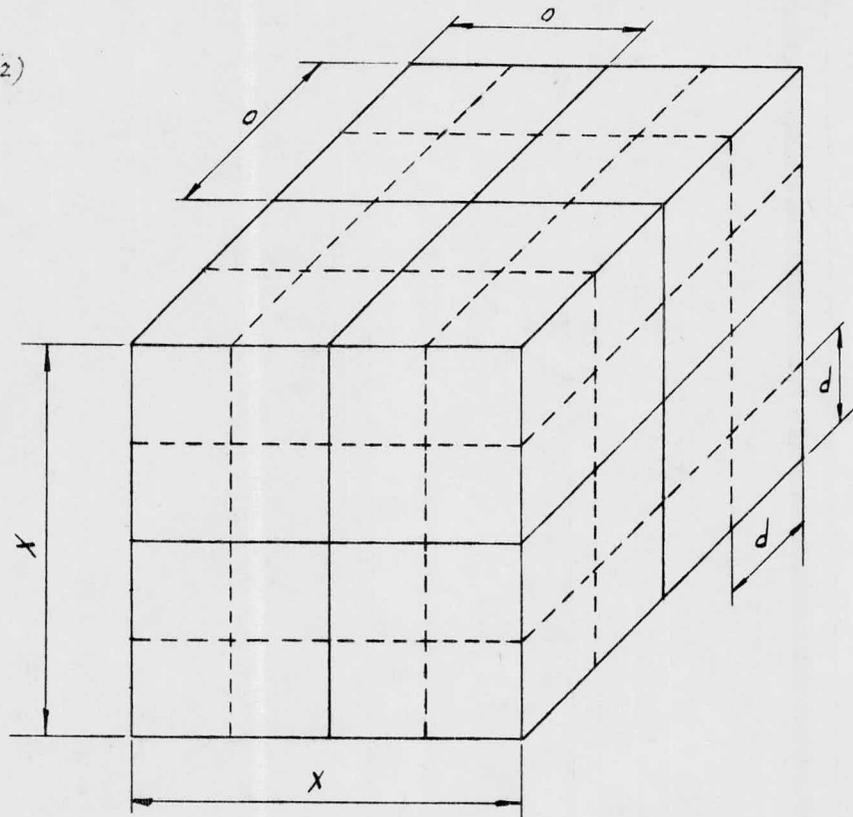
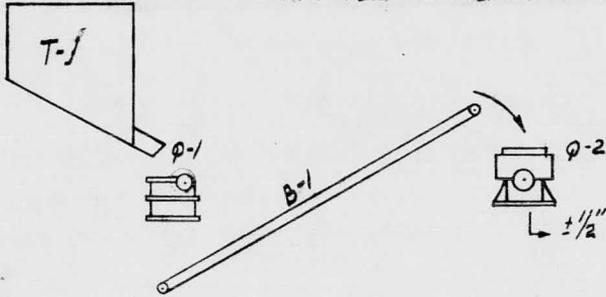


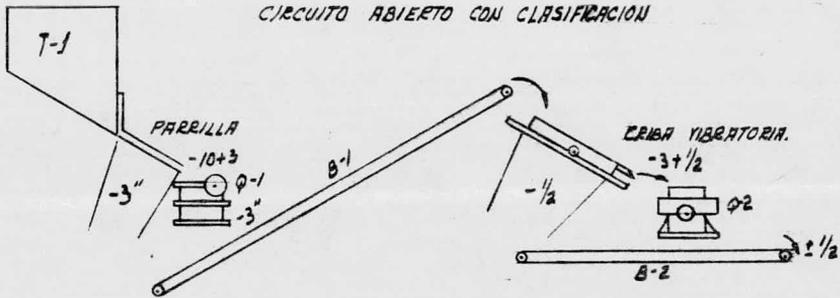
FIGURA - 9

FIGURA - 10

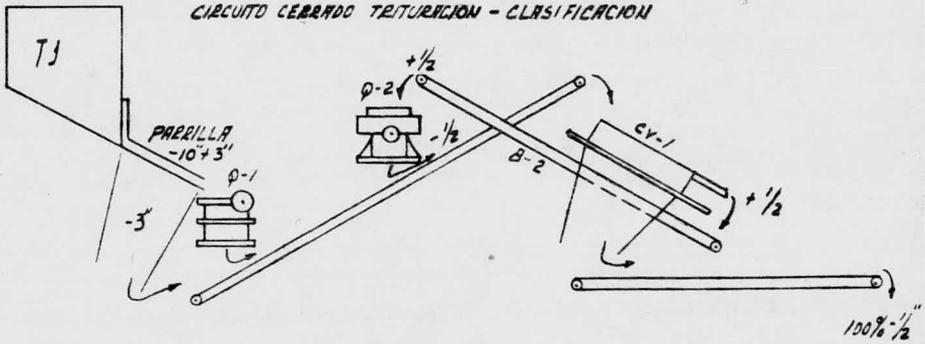
CIRCUITO ABIERTO SIN CLASIFICACION



CIRCUITO ABIERTO CON CLASIFICACION

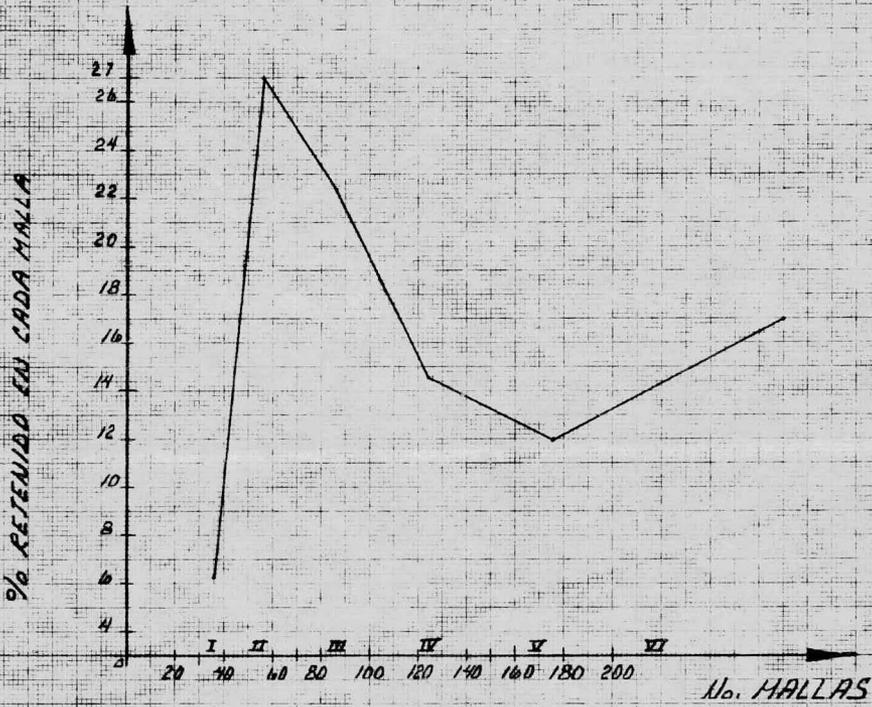


CIRCUITO CERRADO TERTURACION - CLASIFICACION



# GRAFICA 4.1

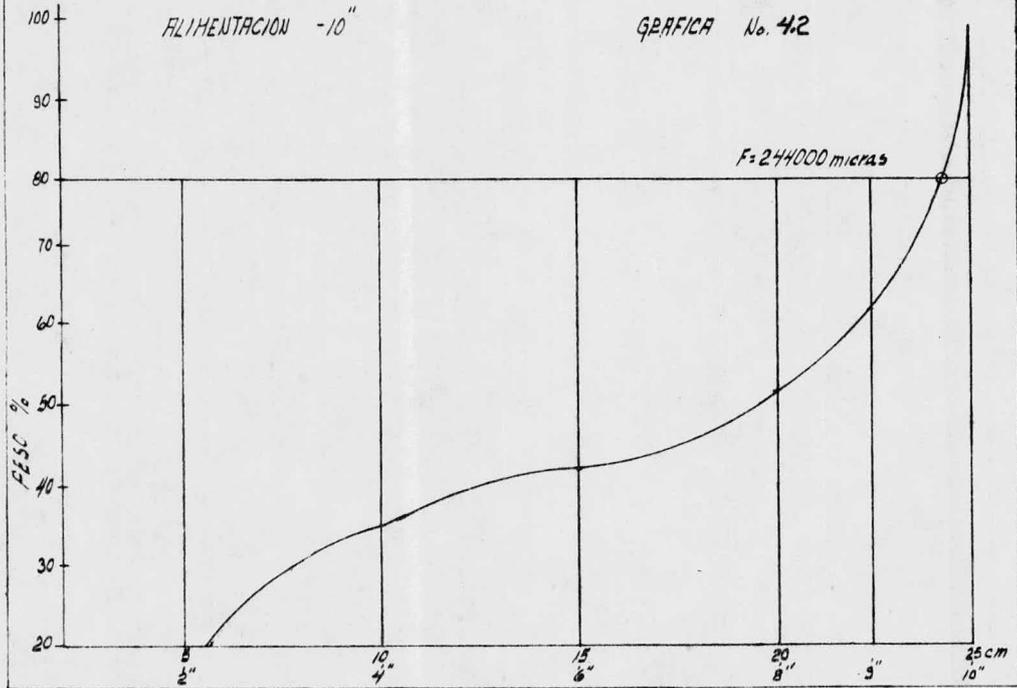
## DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

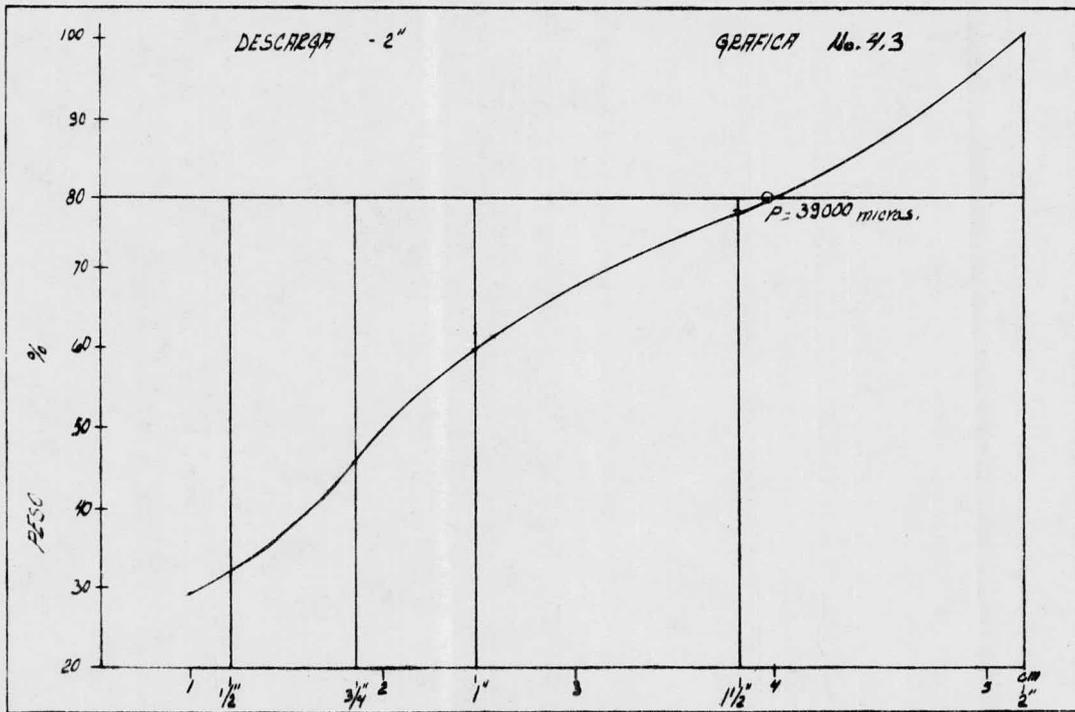


ALIMENTACION -10"

GRAFICA No. 42

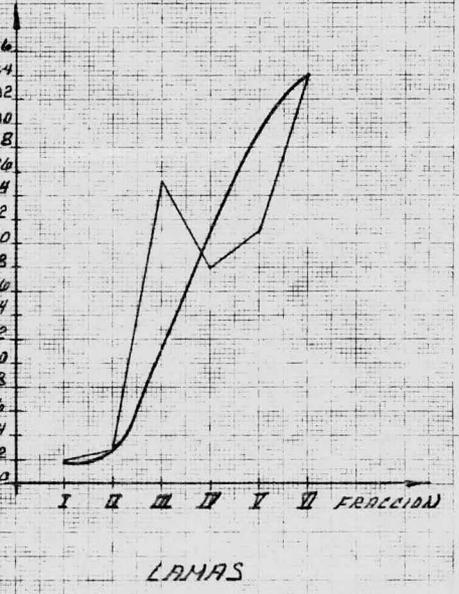
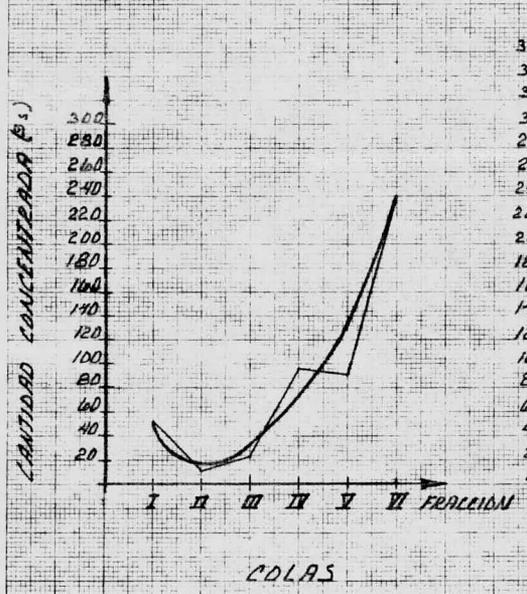
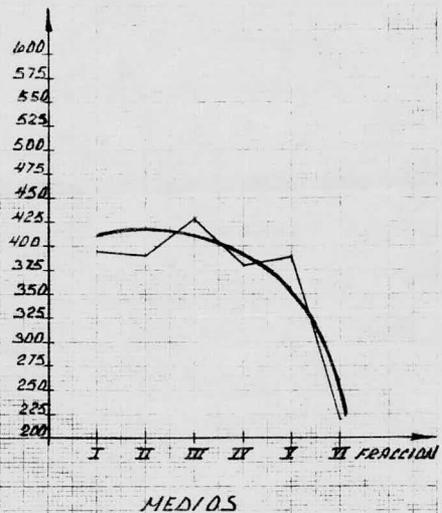
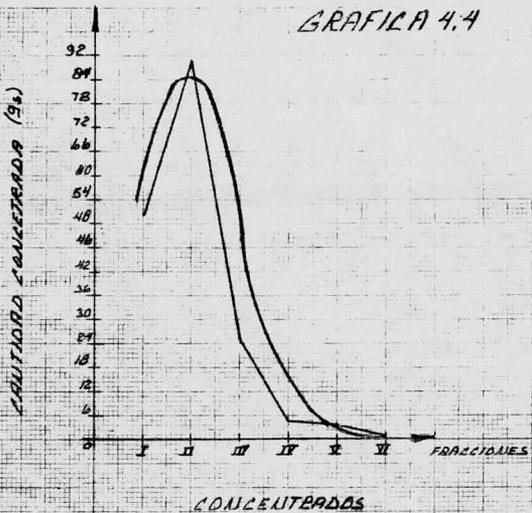
F=244000 micras





B 81.81.1/2000 34

GRAFICA 4.4



C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios efectuados en el transcurso de nuestra tesis y en base a los recursos obtenidos a través de la parte experimental y el balance metalúrgico podemos concluir -- que es factible la explotación del mineral en la región de la sierra del Jaralito cerca de Ures, Sonora usando como equipo de concentración la mesa Wilfley.

Podríamos extender nuestras conclusiones a regiones en condiciones similares o sea en aquellas que exista un mineral de alto peso específico a beneficiar con minerales asociados de menor peso específico, en donde la concentración natural es baja.

Es importante subrayar que siempre que sea elegido el método adecuado para la concentración y beneficio de cualquier mineral podrá presumirse que los resultados que se obtengan serán siempre satisfactorios.

A continuación presentaremos una tabla en la cual se muestran los principales indicadores para nuestras conclusiones como son:

- Recuperación
- Distribución
- Relación de concentración
- Distribución %
- Contenido de  $\text{Ca WO}_4$  (en gramos)
- Por ciento en peso
- Ley calculada

- Porcentaje retenido en una fracción (en pesos)

En la siguiente tabla podemos observar los siguientes puntos: Ver Tabla 5-1

- A) El mayor grado de recuperación se encuentra en la fracción II, siendo en esta fracción donde se obtuvieron los óptimos resultados.
- B) La fracción con mayor porcentaje retenido es la fracción II con un 27% en peso, sin embargo este no es un valor muy bueno y sería recomendable incrementar el porcentaje retenido entre las mayas 40 y 70 controlando la molienda a obtener el máximo posible en esta fracción.
- C) Se observa que los productos colas y laminas no son incluidos en la tabla de conclusiones y esto es debido a que los contenidos en estos productos son prácticamente despreciables. Lo cual indica que la concentración efectuada en cada fracción estuvo bien hecha puesto -- que se obtuvieron los contenidos mas altos en los productos principales como son concentrados y medios, es to a su vez demuestra que el método de la mesa Wilfley es adecuado puesto que separa satisfactoriamente los valores del mineral.
- D) Haciendo un análisis de la tabla de conclusiones en base se a los siguientes indicadores:
- % en peso (de los productos conc. y medios)

- Recuperación - distribución

Comencemos con la fracción I y comparemos consecutivamente una fracción con la anterior (Ver Gráfica 5-2)

Al ir de la fracción I hacia la fracción II observamos un incremento de recuperación lo cual indica que para tamaños de partícula mayores a 40 mallas, la liberación de valores va decreciendo del mismo modo observamos que hacia la fracción III - hay un decremento de recuperación la cual decrece sucesivamente hasta llegar a un mínimo en la fracción VI, esto implica que la máxima recuperación se encuentra en la fracción II o sea que la máxima liberación de valores se encuentra entre 40 y 70 mayas.

<p>Tabla 5-1 tabla de conclusiones</p>
--------------------------------------------

<p>Gráfica # 5-2</p>
--------------------------

En el caso específico de nuestra tesis se eligió la mesa Wilfley por ser un equipo de bajo valor de adquisición recordando que uno de los enfoques de esta tesis fue hacia la población gambusina la cual normalmente cuenta con poco capital de inversión por lo cual este equipo puede resultar ideal para iniciar una explotación. Aunque posiblemente esta tesis no tenga toda la difusión que se quisiera entre la población gambusina pero para los estudiantes y compañeros con inquietudes de exploración gambusina puede ser una buena guía en cuanto a la metodología del estudio efectuado y con esto logramos uno de los princi

pales propósitos de una tesis que es proporcionar un estudio - del cual se obtenga una aportación para las nuevas generacio-- nes de nuestra escuela.

T A B L A 5.1

## CONCLUSIONES:

Una vez efectuada la parte experimental y determinado el balance metalúrgico, podemos observar cuál fue el comportamiento del mineral en el proceso de concentración al través de la mesa Wilfley.

Tendremos como principales indicadores para nuestras conclusiones los siguientes datos:

- 1.- Relación de concentración.
- 2.- Recuperación.
- 3.- Distribución %.
- 4.- Contenido en gramos.
- 5.- Por ciento en peso.

En la siguiente tabla observamos de una manera objetiva los indicadores anteriormente citados.

% Retenido en cada malla	FRACCION	PRODUCTO	PESO %	CONTENIDO	DISTRIBUCION %	RELACION DE CONCENTRACION	RECUPERACION	LEY CALCULADA	LEY ANALIZADA	
1.45	I	Concentrados medios	10.373 79.760	.16545 .14963	49.828 45.063	94.891	1.109	94.891% en 90.133% en peso	.33204	.1658
30.25	II	Concentrados medios	18.135 78.404	1.64586 .11031	93.463 6.264	99.727	1.035	99.727% en 96.539% en peso	1.76097	.8085
13.24	III	Concentrados medios	5.036 85.260	.79147 .10998	85.741 11.914	97.655	1.107	97.655% en 90.296% en peso	.92309	.4076
15.34	IV	Concentrados medios	1.085 75.620	.53956 .25718	64.815 30.893	95.708	1.303	95.708% en 76.705% en peso	.83246	.3421
14.93	V	Concentrados medios	0.546 76.400	.19403 .35839	32.714 60.427	93.141	1.299	93.141% en 76.705% en peso	.59310	.052
24.79	VI	Concentrados medios	.360 44.940	.18949 .37951	30.660 60.758	91.124	2.207	91.124% en 45.300% en peso	.62462	.0587
								CABEZAS DEL MINERAS ANTES DE CRIBAR		.3051

# GRAFICA 5.2-1

RECISO %

100  
95  
90  
85  
80  
75  
70  
65  
60  
55  
50  
45  
40

(94.89%; 90.133% - I)

(99.727%; 96.539% - II)

(97.455%; 90.296% - III)

(95.708%; 76.705% - IV)

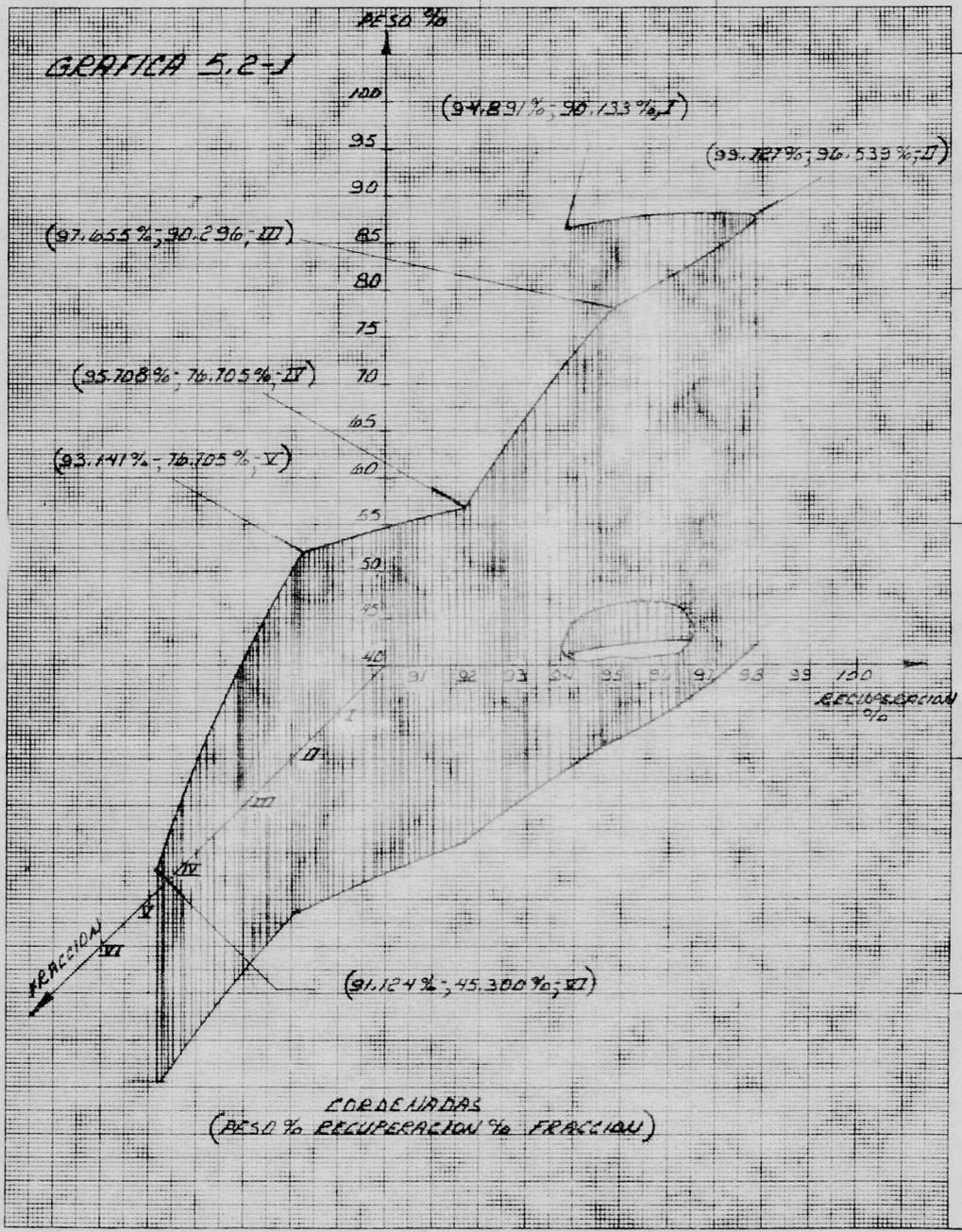
(93.141%; 76.705% - V)

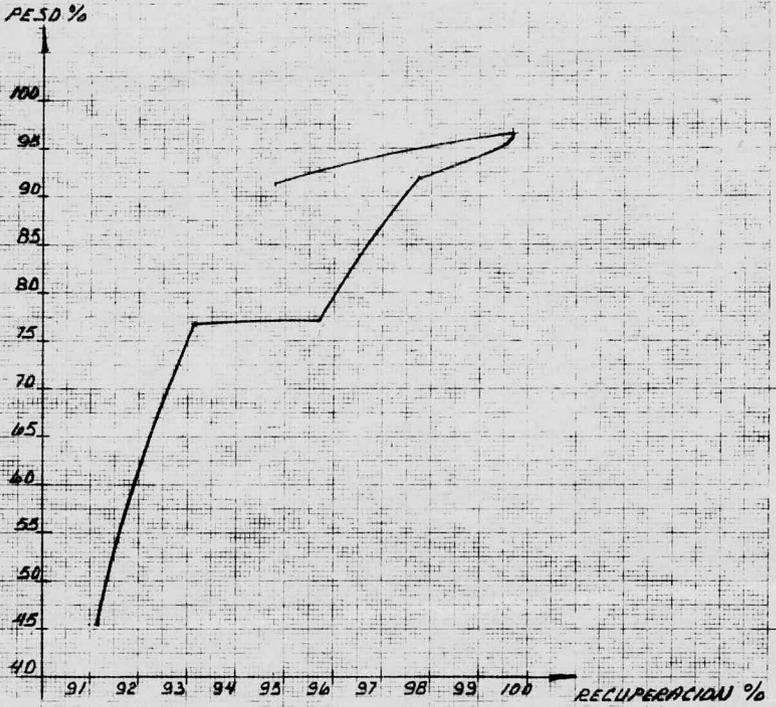
(91.124%; 45.300% - VI)

RECUPERACION %

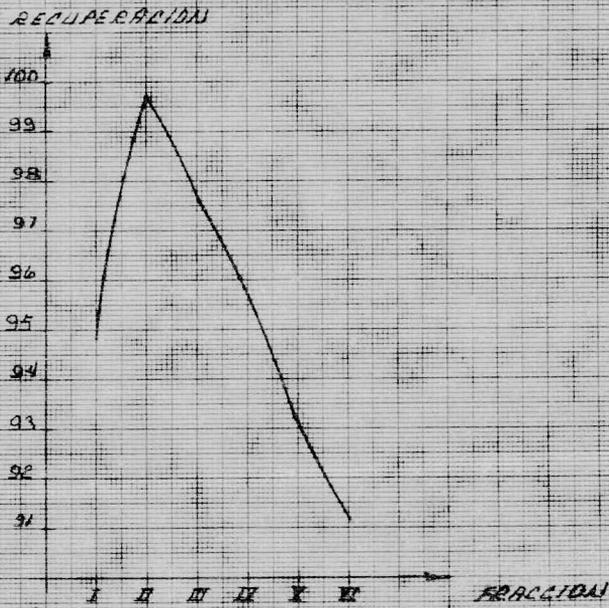
RECUPERACION

COORDENADAS  
(RECISO % RECUPERACION % FRACCION)





GRAFICA 5.2-2



GRAFICA 5.2-3

C A P I T U L O   V I

BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Metal market/metal working news  
January 16-1976, copyright, 1976  
Fairchil Publications, inc.
- 2.- Baltierra G. F.  
Explotación y concentración de minerales de tungsteno  
Biblioteca del Consejo de Recursos Naturales no Renov.  
(Localización 9269)
- 3.- Bernal, A.  
Beneficio de la Scheelita  
Boletín 1, Tomo I, Revista de Minería y Metalurgia (1957)  
Biblioteca del Consejo de Recursos Naturales no Renov.  
(Localización P.E.R. 331)
- 4.- Cárdenas, J. - Wise J. H.  
Los yacimientos de tungsteno en el Edo. de Sonora  
Boletín No. 3, I.N.R.I.M.  
Biblioteca del Consejo de Recursos Naturales no Renov.  
(Localización 4759)
- 5.- Dana, E. S.  
Tratado de Mineralogía  
Editorial J. Wiley
- 6.- Laboratorio de Investigación y Experimentación Metalurgica  
"Teoría y Prácticas de Trituración y Molienda"  
Comisión de Fomento Minero
- 7.- Tagart, F. Arthur  
"Elementos de Preparación de Minerales"  
1a. Edición (Española) (1966)  
Ediciones Interciencia