



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ESTUDIO METALÚRGICO POR EL MÉTODO DE CONCENTRACIÓN  
GRAVIMÉTRICA PARA UN MINERAL AURÍFERO DE MINAS DE  
PUERTO DEL ORO, MUNICIPIO DE COYUCA  
DE CATALÁN, GUERRERO.”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS Y  
METALURGISTA**

**P R E S E N T A :**

**ANA TERESA SOUTO ROSILLO**

**DIRIGIDA POR:**

**M. EN C. JOSÉ DE JESÚS HUEZO CASILLAS**



**CIUDAD UNIVERSITARIA / 2005**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



---

# AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios en primer lugar, por haberme dado el don de la vida y las capacidades necesarias para la realización de mi carrera y de esta tesis*

*Expreso mi gratitud hacia mis padres, ya que sin haberme, inculcado valores y sin haberme brindado su apoyo incondicional, yo no sería lo que soy ni estaría en donde estoy.*

*Quiero dar las gracias al Ing. Carlos Lara Valenzuela por haberme permitido realizar las pruebas para la investigación en el Concentrador Knelson del CIDT de Monterrey de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V., a la Ing. Patricia González Pineda por ayudarme a la realización de las pruebas y al Ing. Luis Magallanes Hernández pro brindarme su apoyo y la información necesaria para al realización de esta tesis.*

*También doy las gracias al Ing. Mario Ochoa Rodríguez y al Ing. Alfredo Ibarra Álvarez por todo el apoyo y la amistad que me brindaron.*

*También quiero hacer parte de mi agradecimiento al Ing. Carlos Garnica Hernández por su apoyo, amistad y consejos.*

*No puedo excluir de mi agradecimiento al resto de mi familia y amigos, que si los enumero uno por uno no cabrían en estas páginas; ni a todas las personas que se cruzaron en mi camino y a lo largo de mi carrera y que de alguna manera son parte de este logro*

*De manera especial expreso mi agradecimiento al M en C José de Jesús Huevo Casillas quien dirigió este trabajo de tesis, fue un excelente docente y me brindo su apoyo y amistad a lo largo de mi carrera. No solo expreso mi agradecimiento sino además mi admiración hacia el como ser humano.*



---

# ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
I MARCO TEÓRICO	3
I.1 Introducción	3
I.2 Aspectos Mineralógicos que se deben considerar	4
I.3 Principios de Concentración Gravimétrica	5
I.4 Equipos de Concentración Gravimétrica	6
I.4.1 Concentradores de Impulsos	6
I.4.2 Concentradores de Sacudimiento	8
I.4.2-1 Mesas Concentradoras	9
I.4.2-2 Variables de operación de la Mesa Concentradora	16
I.4.2-3 Posibilidades de aplicación	17
I.4.2-4 Ventajas	17
I.4.2-5 Desventajas	18
I.4.3 Concentradores de Película	18
I.4.3-1 Bateas	19
I.4.3-2 Canaletas	22
I.4.4 Concentradores centrífugos	26
I.4.4-1 Ventajas	28
I.4.4-2 Concentrador Falcon	31
I.4.4-3 Concentrador Knelson	32



---

I.4.4-4 Funcionamiento del concentrador Knelson	36
II GENERALIDADES	42
II.1 Localización y accesos	42
II.2 Infraestructura	42
II.3 Fondos Mineros	44
II.4 Geología local y Regional	44
II.5 Plano Geológico local	47
II.6 Yacimientos Minerales	48
III ESTUDIO MINERAGRÁFICO PETROGRÁFICO	50
III.1 Descripción Megascópica	50
III.2 Descripción Microscópica	51
III.3 Mineralogía	52
III.4 Resultados del Muestreo	58
IV ESTUDIO METALÚRGICO	63
IV.1 Criterio de Concentración Gravimétrica	63
IV.2 Procedimiento para la toma de Muestras Representativas de Cabezas	65
IV.3 Clasificación Granulométrica	65
IV.4 Pruebas en Mesa Wilfley	71

---



---

IV.4-1 Parámetros para la experimentación	72
IV.5 Pruebas en Concentrador Knelson	79
V ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
V.1 Análisis de la Experimentación en Mesa Wilfley	84
V.2 Análisis de la Experimentación en Concentrador Knelson	86
V.3 Comparación entre pruebas realizadas en Mesa Wilfley y Concentrador Knelson	90
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
VI.1 Conclusiones	91
VI.2 Recomendaciones	91
BIBLIOGRAFÍA POR ORDEN ALFABÉTICO	93



## RESUMEN

El objetivo primordial del estudio es determinar si utilizando el proceso de Concentración Gravimétrica, se obtienen concentrados económicos de oro.

Otro objetivo es comparar los resultados obtenidos en Concentrador Knelson y mesa Wilfey, para así identificar con cual de los dos equipos se obtienen mejores leyes en los concentrados de oro

Para el desarrollo del estudio metalúrgico se trabajó con mineral de las minas San Pedro, Gachupines y San Juan, localizadas en el Distrito Minero de Puerto del Oro, en el Estado de Guerrero, teniendo como apoyo para esta evaluación un muestreo de orientación integrado por 28 muestras de mineral de óxidos, recolectadas en forma sistemática, en las zonas de las minas mencionadas, donde están expuestas las estructuras mineralizadas de interés económico, con presencia de valores de oro en diferentes leyes y cuyos resultados se analizaron individualmente para cada una de las propiedades de interés en el presente estudio.

Para ello se realizó un estudio minerográfico-petrográfico observándose que el depósito mineral es del tipo de enriquecimiento supergénico, con valores de oro que se presenta en forma libre o asociado a minerales de oxidación (hematita, goethita-limonita), en estructuras tipo veta emplazadas en fracturas y fallas de bajo ángulo sensiblemente paralelas a la foliación del paquete de rocas metamórficas que afloran en al área de estudio y en el estudio de caracterización mineralógica, se determinó que las partículas de oro se presentan en tamaños de 80 a 350 micras (185 a 45 mallas), como mineral libre o combinado con óxido de hierro. De las tres minas, la que reporta mejores leyes de oro en cabezas es la mina



Gachupines con 20 g/t , seguido de mina San Juan con 7.8 g/t y mina San Pedro con 6.3 g/t.

Finalmente obtuvieron concentrados gravimétricos utilizando una Mesa Wilfley y un Concentrador Knelson

Para el caso de la Mesa Wilfley se obtuvieron los siguientes resultados en los concentrados:

19.3 g/ton de Au para Mina San Juan, 11.8 g/ton de Au para mina San Pedro y 38.80 g/ton de Au para Mina Gachupines.

Para el caso del Concentrador Knelson y con una presión de 3psi se obtuvieron los siguientes resultados en los concentrados:

105.6 g/ton de Au para Mina San Juan, 197.45 g/ton de Au para Mina San Pedro y 146.28 g/ton de Au para Mina Gachupines.

También se realizó un análisis y una comparación de los resultados de las pruebas en ambos equipos con base en los balances metalúrgicos obtenidos; observándose que en el concentrador Knelson se obtienen mayores leyes de oro en los concentrados.





# I MARCO TEÓRICO

## I.1 Introducción

### CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

La concentración por gravedad es un método para separar partículas minerales de diferente peso específico por razón de sus diferencias en movimiento en respuesta de las acciones que ejercen sobre ellas, simultáneamente la gravedad y otra u otras fuerzas.<sup>1</sup>

Es el método de concentración más antiguo. Los antiguos egipcios usaron los predecesores de las canaletas y las bateas para recuperar oro (2000 A.C.), y Georgius Agrícola describe una variedad de artefactos de concentración gravimétrica utilizados en 1556. Por la leyenda del "vellocino de oro" se sabe que se utilizaban las pieles de oveja para recuperar oro aluvial.

En 1920 fue el método más importante en la minería, pero se reemplazó por el método de concentración por flotación.

Se acepta generalmente que la concentración por gravedad es el más sencillo y económico de los métodos de concentración; ya que permite la recuperación del mineral útil siempre en un orden de tamaños tan gruesos como sea posible

Los métodos de concentración gravimétrica se agrupan en tres categorías principales: concentración por impulsos, concentración por sacudimiento y concentración de película

---

<sup>1</sup> Taggart, Hanbook of Mineral Dressing



Los métodos de separación por gravedad se usan para tratar una gran variedad de materiales, que varían desde los sulfuros metálicos pesados como la galena hasta el carbón, en algunos casos con tamaños de partículas menores a 5  $\mu\text{m}$ .

Estos métodos perdieron importancia en la primera mitad del siglo XX y fueron reemplazados por el método de concentración por flotación.

En los últimos años se han revaluado los sistemas gravimétricos debido al incremento en el costo de los reactivos de flotación, la relativa simplicidad de los procesos gravimétricos y al hecho de que producen relativamente poca o nula contaminación ambiental. Cuando se incorporan a las plantas de alta capacidad las técnicas gravimétricas modernas, resultan eficientes para la concentración de minerales que tiene tamaños de partículas de 50-10  $\mu\text{m}$  (300-400#)

Cada vez se usan más las técnicas gravimétricas que recuperan los minerales pesados valiosos de las colas de flotación.

## **I.2 Aspectos Mineralógicos que se deben considerar**

- Caracterización mineralógica.
- Composición.
- Proporción.
- Propiedades minerales
- Criterio de concentración.
- Textura
- Tamaño de liberación



### I.3 Principios de Concentración Gravimétrica

Los métodos de concentración gravimétrica separan minerales de diferente densidad relativa por su movimiento, respondiendo a la gravedad y a una o más fuerzas, una de ellas es la resistencia al movimiento que ofrece un fluido viscoso, como el agua o el aire<sup>2</sup>. Los factores que se consideran para determinar el movimiento relativo de la partícula en un fluido son la gravedad específica, peso, y el tamaño y forma de la partícula.

Para una separación efectiva es indispensable que exista una marcada diferencia de densidad entre el mineral y la ganga. A partir del criterio de concentración, se tendrá idea sobre el tipo de separación posible.

$$X = \frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

X = criterio de concentración.

Dh = Densidad relativa del mineral pesado.

Df = Densidad relativa del medio fluido.

DI = Densidad relativa del mineral ligero.

En términos generales cuando el cociente es mayor a 2.5, ya sea positivo o negativo, entonces la separación gravimétrica es relativamente fácil. A medida que el valor del cociente disminuye la eficiencia de la separación disminuye; a menos de 1.25, la concentración gravimétrica por lo general no es comercialmente posible.

---

<sup>2</sup> Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control, Vol I Edit. SME



El movimiento de una partícula dentro de un fluido depende no solamente de su densidad relativa, sino también de su tamaño, y las partículas grandes serán más afectadas que las más pequeñas.

La eficiencia de los procesos gravimétricos aumenta con el tamaño de partícula y las partículas deben ser lo suficientemente gruesas para moverse de acuerdo a la ley de Newton. En la práctica, es necesario el estrecho control de la granulometría en la alimentación para reducir el efecto del tamaño y hacer que el movimiento relativo de las partículas dependa de la densidad relativa.

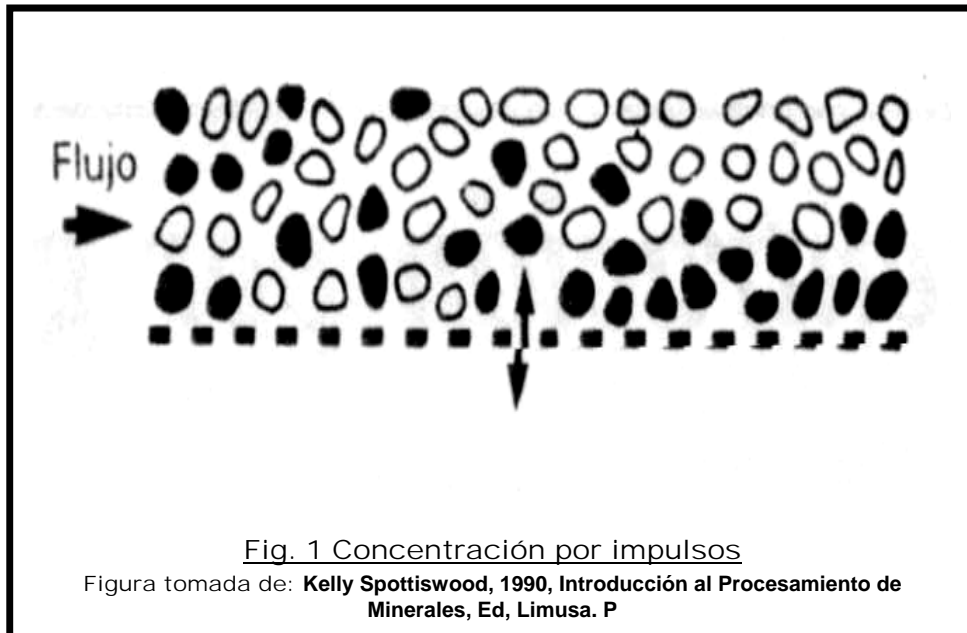
## **I.4 Equipos de Concentración Gravimétrica**

Para elegir un equipo de concentración Gravimétrica deben tomarse en cuenta ciertos aspectos como son: el tamaño de la alimentación, capacidad de los equipos, el tipo de material, la solubilidad; ya con esto se realizan pruebas metalúrgicas en los equipos para comparar las recuperaciones y leyes obtenidas.

Es una característica de todos los dispositivos de concentración por gravedad, que las partículas se mantengan ligeramente apartadas, de manera que puedan moverse unas con relación a las otras, para que así puedan separarse idealmente en capas de minerales densos y ligeros. Debido a esto los concentradores se clasifican en diversos grupos y son los siguientes:

### **I.4.1 Concentradores por impulsos**

Tienen un movimiento oscilatorio normal a la corriente de sólidos y fluido.(Fig.1)



El pulsado es uno de los métodos más viejos de concentración gravimétrica. La pulsadora o concentrador de impulsos se usa para concentrar material relativamente grueso y si la alimentación es conveniente y está bien clasificado por tamaños (por ejemplo de 3 a 10mm), no es difícil alcanzar una buena separación de los minerales con una gama medianamente limitada de densidad relativa en la alimentación (por ejemplo, la fluorita, densidad relativa de 3.2, a partir del cuarzo con 2.7)<sup>3</sup>

La concentración por impulsos es probablemente la más compleja debido a su hidrodinámica continuamente variable. El principio de los concentradores por impulsos es cuando el agua de un depósito se impulsa repetidamente hacia arriba del lecho de mineral, se expande y luego vuelve a asentarse, ocurriendo el reasentamiento con el agua fluyente en descenso a una velocidad más baja.

---

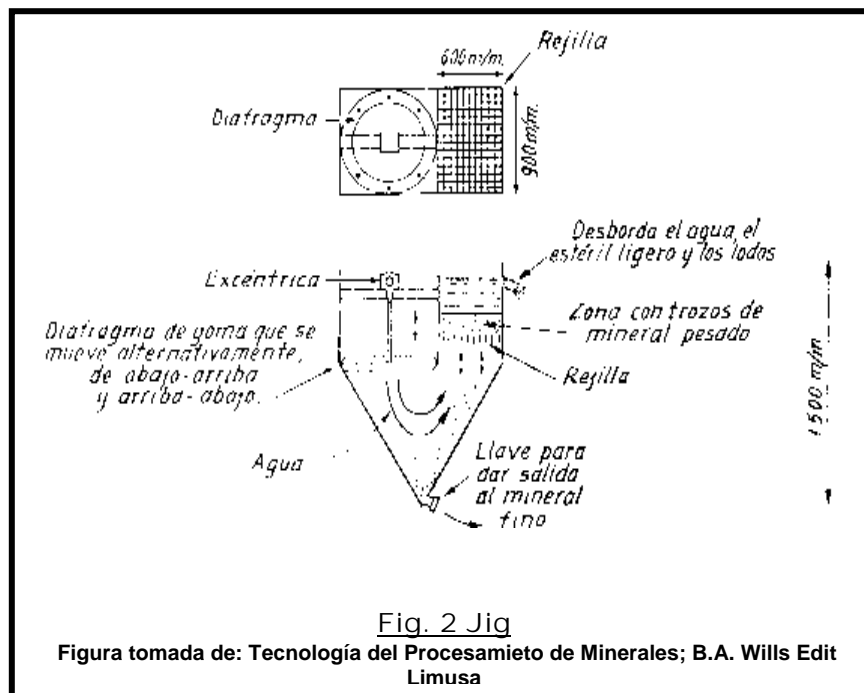
<sup>3</sup> **Tecnología del Procesamiento de Minerales; B.A. Wills Edit Limusa**



Esto dará por resultado que las partículas más densas de mayor tamaño formen las capas inferiores, y las partículas más finas y ligeras tomen su lugar en la parte superior.

Dentro de la concentración por impulsos se encuentran los siguientes equipos:

Impulsadora de diafragma o de émbolo para minerales, impulsadora Baum, impulsadora Batac, Wemco Remer, impulsadora neumática y el Jig (Fig. 2)

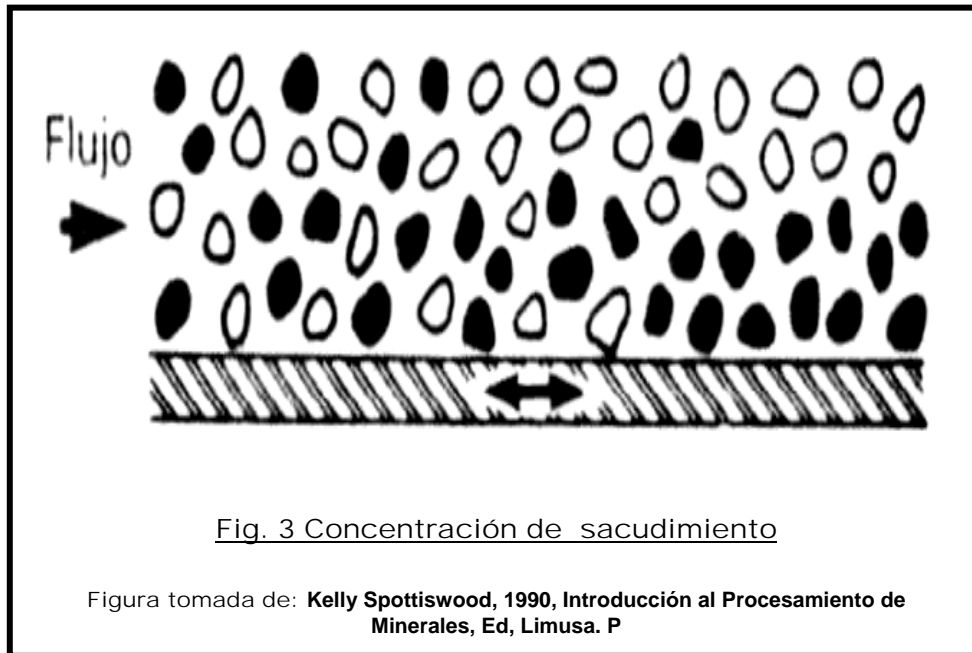


#### I.4.2 Concentradores por Sacudimiento

Su fuerza cortante es paralela a la corriente de sólidos y fluido provocando ondas vibratorias a la superficie. (Fig.3) En este tipo de



concentradores se incluyen la mesa concentradora, el separador vibratorio, y el concentrador Bartles Mozley.



#### 1.4.2-1 Mesas Concentradoras

Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada. Cuando una capa fluyente de agua corre sobre una superficie plana inclinada, el agua más próxima a dicha superficie se retarda por la fricción del agua absorbida sobre dicha superficie y la velocidad aumenta en dirección de la superficie del agua. Si se introducen partículas de mineral en el interior de la capa, las partículas pequeñas no se moverán tan rápidamente como las partículas grandes, puesto que estarán sumergidas en la porción de la capa de movimiento más lento. Las partículas de alta densidad relativa se mueven más lentamente que las partículas más ligeras y en esa forma se produce un desplazamiento lateral del material (Fig. 4).

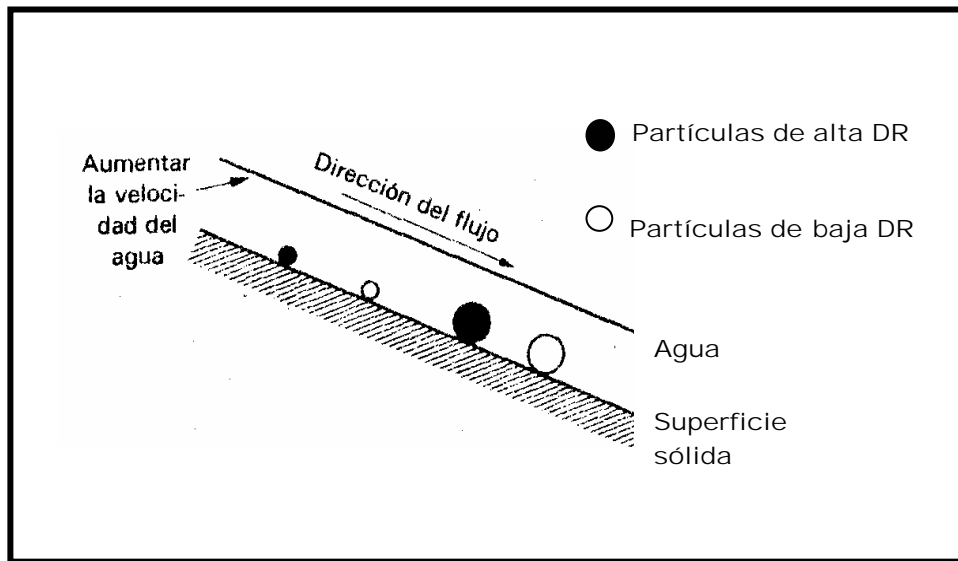


Fig. 4 Acción de una capa fluyente

Figura tomada de: *Tecnología del Procesamiento de Minerales*; B.A. Wills Edit Limusa

En general, en las mesas concentradoras se procesan materiales más finos que los que pueden manejarse en las impulsadoras (1mm-10 $\mu$ m; malla 16 a malla 1000), pero esto se logra a expensas de la capacidad; las mesas de una sola cubierta tienen capacidad relativamente baja para su costo y necesidades de espacio.<sup>4</sup> Aquí se habla principalmente de los tipos con movimiento longitudinal vibratorio, donde las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico y granulometría (Fig. 5).

En la mesa Wilfley se aplica una acción de sacudimiento diferencial a lo largo de su eje horizontal. Esta acción no solo abre el lecho para permitir que se hundan las partículas densas, sino que su asimetría proporciona el transporte de partículas a lo largo de la mesa.

---

<sup>4</sup> Kelly Spottiswood, 1990, *Introducción al Procesamiento de Minerales*, Ed, Limusa. P.



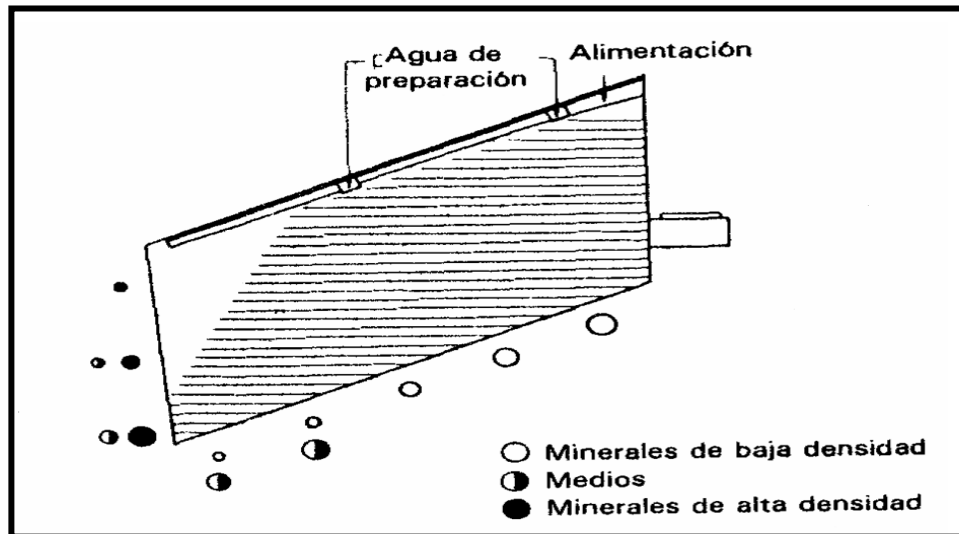


Fig.5 Distribución de productos de la mesa Wilfley

Figura tomada de: Tecnología del Procesamiento de Minerales; B.A. Wills Edit Limusa

Otros tipos de mesas (mesas de banda, mesas basculantes, mesas de paño sin fin, etc.) son raramente usadas en la pequeña minería y por esto no se describen aquí en detalle.

La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en el procesamiento del estaño, wolframio y oro.

La separación por película o capa fluyente se utiliza en el concentrador de mesa de sacudidas y desde el punto de vista metalúrgico es la forma más eficiente de concentrar por gravedad; el concentrador de mesa de sacudidas es el que más se usa para tratar corrientes pequeñas de flujo<sup>5</sup>.

Este concentrador conocido como Mesa Wilfley (Fig. 6) consiste de una cubierta ligeramente inclinada, **A**, con la cual la alimentación con casi el 25% en peso de sólidos, se introduce en la caja de alimentación y distribuye a lo largo de **C**; el agua de lavado fluye a lo largo del resto del lado de la alimentación desde el canal **D**. La mesa vibra longitudinalmente, por medio del

<sup>5</sup> Separación por gravedad por Tony Brewis; REVISTA MINING Octubre 1995

mecanismo **B**, usando carrera lenta hacia delante y un rápido retorno, lo que causa que las partículas minerales se arrastren lentamente a lo largo de la cubierta paralela a la dirección del movimiento.

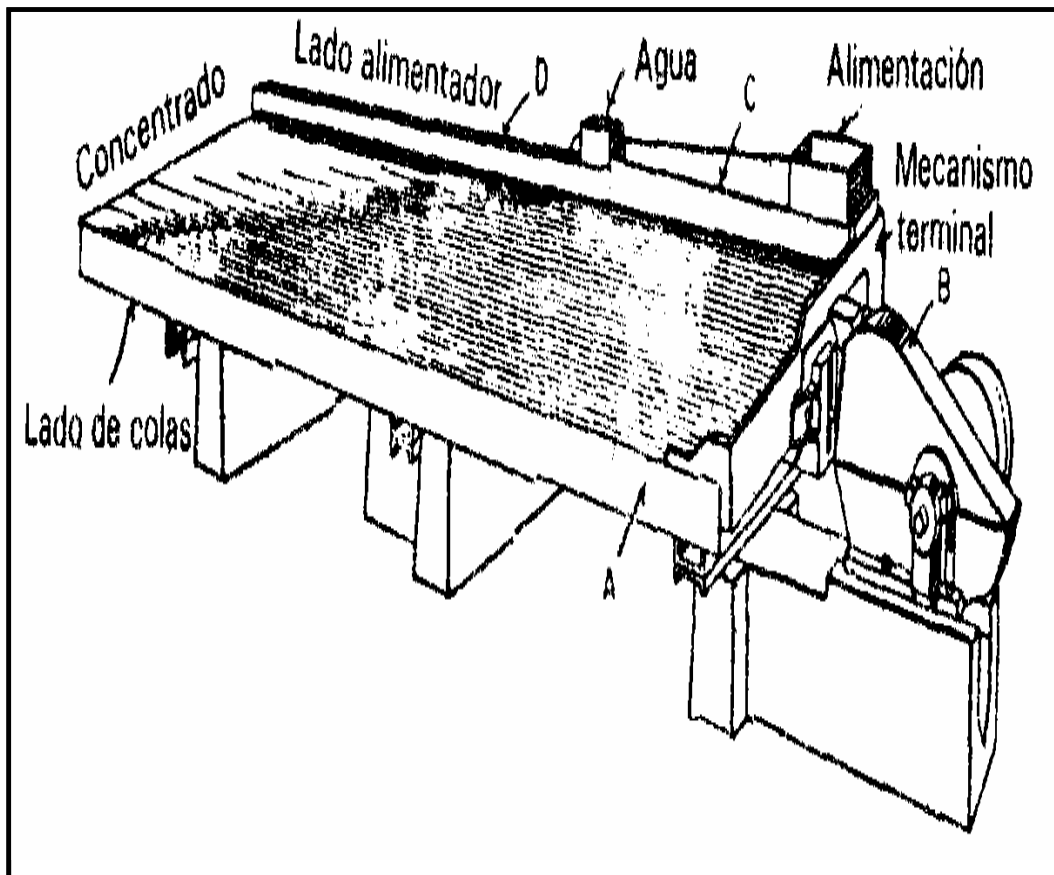


Fig. 6 Mesa Wilfley

Figura tomada de: Tecnología del Procesamiento de Minerales; B.A. Wills Edit Limusa

De este modo los minerales están sujetos a dos fuerzas: la debida al movimiento de la mesa y otra perpendicular a la anterior debida a la capa fluyente de agua. El efecto neto es que las partículas se mueven diagonalmente a través de la cubierta desde el extremo de la alimentación y como el efecto de la capa depende del tamaño y densidad de partículas, estas formarán un abanico sobre la mesa, las partículas más pequeñas y más pesadas viajan más alto hacia la artesa del concentrado en el extremo



distante, mientras que las partículas más ligeras y grandes se depositan dentro de la artesa de las colas, las cuales corren a lo largo de la longitud de la mesa. Los estratos de partículas se mueven a través de las tiras de retención (rifles) por la acción del empuje de la nueva alimentación y por la capa fluyente de la capa de lavado. Debido a la paulatina disminución de los rifles, las partículas clasificadas progresivamente más finas y las partículas de más alta densidad continuamente se desplazan por el contacto por la capa fluyente de agua que sobresale de las tiras de retención. La concentración final tiene lugar en el área sin rifles, en el extremo de la cubierta, donde la capa de material generalmente tiene solamente una o dos partículas de profundidad.

Muchos otros factores desempeñan una parte importante en la mesa, incluyendo la forma de la partícula y el tipo de cubierta. Las partículas planas, tales como la mica, aunque ligeras, no ruedan fácilmente a lo largo de la cubierta en la capa de agua; éstas se adhieren a la cubierta y son llevadas hacia abajo hasta la descarga del concentrado. Además las partículas esféricas densas se mueven fácilmente dentro de la capa hacia la artesa de las colas.

Las cubiertas de la mesa normalmente se construyen de madera revestida con material que posee un alto coeficiente de fricción, tales como el linóleo, hule y plásticos. También se usan cubiertas de fibra de vidrio las cuales, son extremadamente duras al desgaste. Los rifles sobre tales cubiertas se integran como parte del molde.

El tamaño de partícula desempeña un papel importante en las separaciones en mesa; a medida que aumenta la gama de tamaño en una alimentación de mesa, la eficiencia de separación disminuye. Si una alimentación de mesa está formada de una amplia gama de tamaños de partícula, algunos de estos tamaños no se limpian eficientemente.



Existen de diferentes tipos, marcas y variaciones en las mesas (Fig. 7 y 8), en la minería aurífera se usan especialmente los tipos Wilfley y Deister. Las diferencias entre unas y otras son mínimas, principalmente en el mecanismo del cabezal, la geometría del tablero y el tipo de enriflado. Para el último paso de limpieza de concentrados, por ejemplo. Antes de la fundición directa, se encuentran en algunas minas también mesas tipo "Géminis".

De acuerdo a su modelo y tamaño, las mesas se utilizan para concentrar minerales finos y ultra finos con una capacidad hasta un máximo de 1,5 t/h por unidad.

Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el proceso de concentración se lleva a cabo a la vista sobre el tablero de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambios en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente. Se pueden tomar muestras directamente durante la operación, utilizando bateas para oro, por ejemplo.

Por lo tanto, la optimización de esta operación se lleva a cabo de una manera simple y puede ser realizada por operadores aprendices.

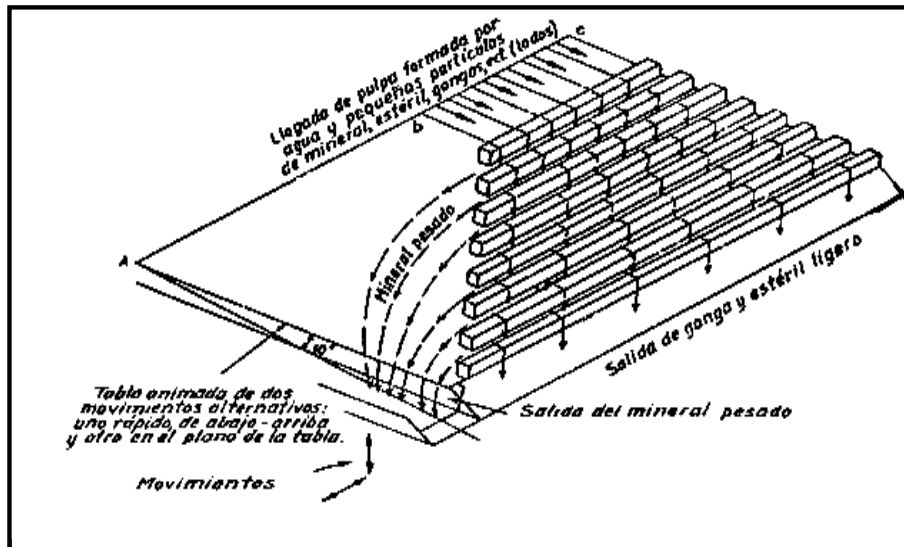


Fig. 7 Mesa oscilante para concentración

Figura tomada de: Kelly Spottiswood, 1990, *Introducción al Procesamiento de Minerales*, Ed. Limusa. P

Debido a la distribución del material en forma de un abanico sobre la superficie de la mesa, uno puede obtener bandas específicas de mineral de una manera selectiva (algo que no ocurre en las espirales, donde las bandas se sobreponen parcialmente unas sobre otras). De esta manera, uno puede separar, al realizar la regulación correspondiente, un concentrado de oro libre de alta riqueza así como un concentrado de sulfuros, por ejemplo, que contiene oro diseminado, para su posterior tratamiento. Esto implica, por otro lado, que es muy fácil obtener un concentrado de alta ley cuando se utilizan las mesas para la fase de limpieza de los minerales.

La efectividad de todas las mesas depende de la homogeneidad del material de alimentación y de la densidad de pulpa -particularmente de la densidad- ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente.

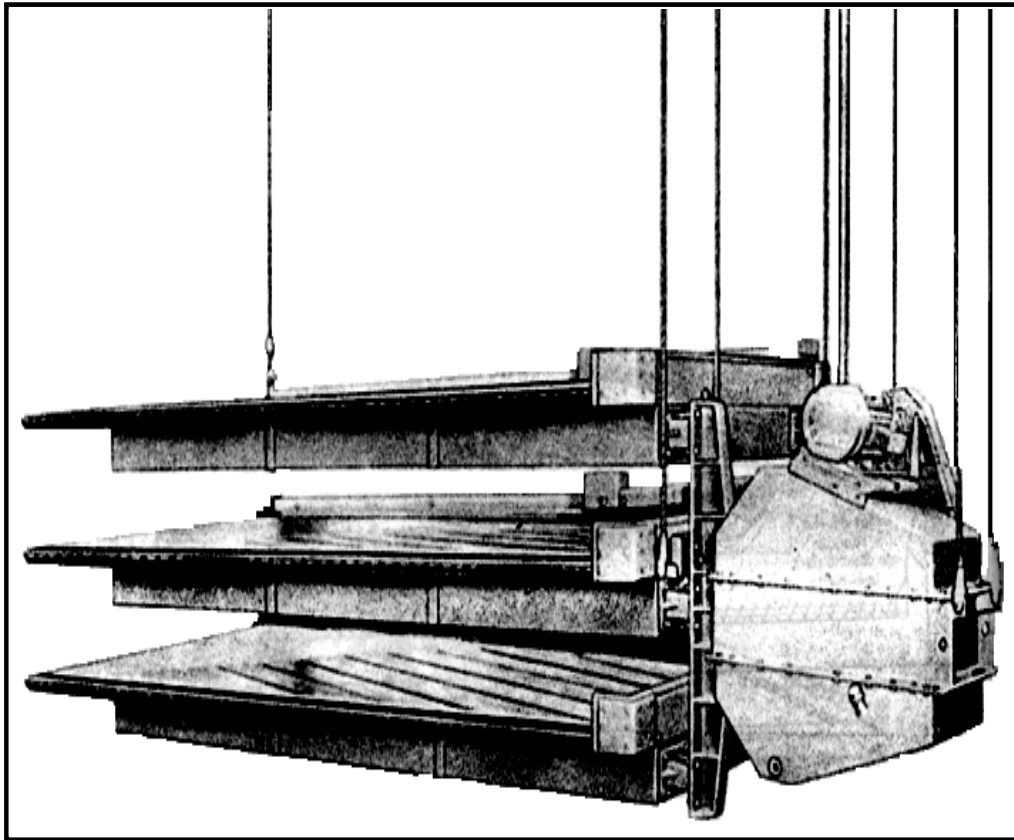


Fig. 8 Mesa de triple cubierta

Figura tomada de: **Kelly Spottiswood, 1990, Introducción al Procesamiento de Minerales, Ed, Limusa. P**

#### **I.4.2-2 Variables de operación de la mesa concentradora**

Entre las más importantes se mencionan:

- ✦ Granulometría de la alimentación
- ✦ Longitud de golpe (amplitud)
- ✦ Frecuencia de golpe
- ✦ Inclinación de la mesa
- ✦ Cantidad de agua de lavado
- ✦ Posición de los cortadores de productos.



### **I.4.2-3 Posibilidades de aplicación**

Principalmente se puede usar en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas; su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso adicional.

Las mesas sirven también para enriquecer preconcentrados gravimétricos obtenidos por otros equipos (canaletas, espirales, etc.) y para producir concentrados de alta ley (que en algunos casos se pueden fundir directamente).

Las mesas se pueden fabricar localmente, en talleres metal-mecánicos (mecanismo) y de carpintería (tableros).

A continuación se mencionan algunas de las ventajas y desventajas que presentan las mesas concentradoras:

#### **I.4.2-4 Ventajas**

- Descarga continua de productos
- Permite obtener una gama de productos (concentrados, mixtos, colas)
- Comportamiento visible del material sobre el tablero
- Costo relativamente bajo (de producción local)
- Gran flexibilidad
- Manejo y supervisión relativamente simple
- Posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañantes
- Alta seguridad en las condiciones de trabajo
- Buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento
- Posibilidad de su fabricación en países en desarrollo.

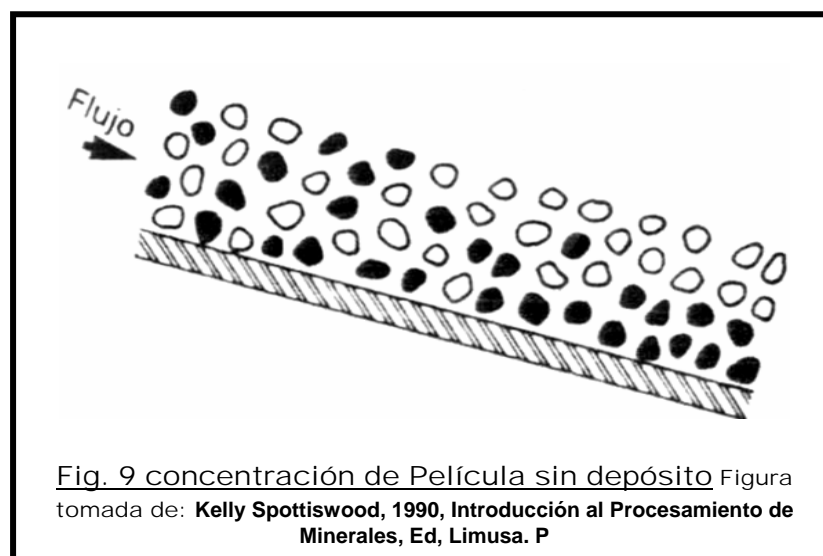


#### I.4.2-5 Desventajas:

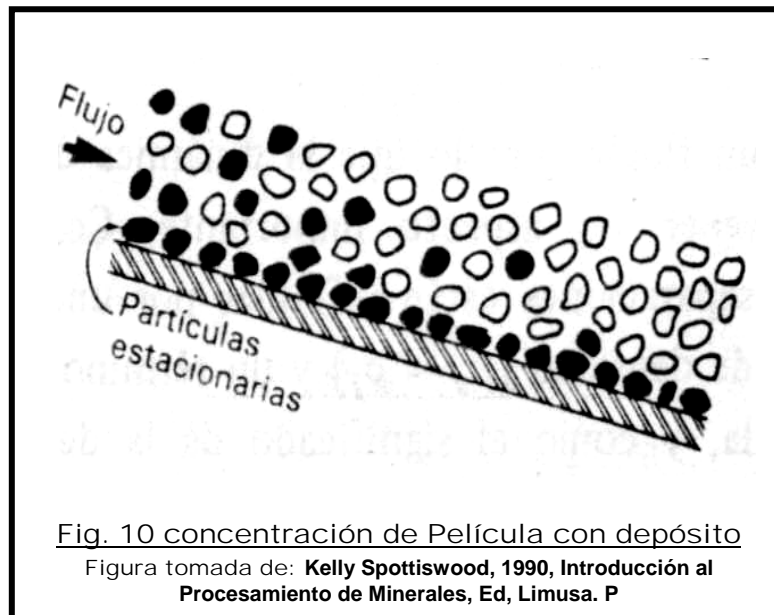
- ✦ Precio relativamente alto (con relación a su capacidad)
- ✦ Requiere alimentación constante ( si no la posición de las cejas varían demasiado dentro del tablero)
- ✦ Requiere supervisión continua
- ✦ Requiere motor.
- ✦ Alto consumo de agua

#### I.4.3 Concentradores de Película

El espacio hueco que existe es mantenido esencialmente por la acción de una capa de pulpa que fluye de forma descendente, bajo la influencia de la gravedad, sobre una superficie inclinada (Fig. 9 y 10). Entre los concentradores que se incluyen en este grupo están los concentradores de canaleta, las bateas, el cono Reichert, la espiral Humphreys.







#### I.4.3-1 Bateas

Las bateas, junto con las canaletas, son el instrumento de mayor importancia en la pequeña minería. Tanto en la minería aurífera aluvial como en la minería primaria, las pequeñas operaciones dependen fuertemente del proceso de separación con bateas. En efecto, varias minas pequeñas y artesanales no utilizan ningún otro procedimiento para la concentración del mineral. Gracias a su alta selectividad, las bateas para oro son únicas e irremplazables en todas las fases de la pequeña minería, es decir, en el reconocimiento, la exploración y en el proceso interno de control de producción y preparación de la producción. Más aún, las bateas para oro se utilizan frecuentemente en la fase preparatoria para limpiar o enriquecer los preconcentrados. Una batea para oro es un aparato simple, generalmente circular, con un corte transversal en forma trapezoidal o triangular, a pesar de que también se utilizan cortes transversales en forma de óvalo u oblonga, y



bateas en forma rectangular. A medida que el minero mueve la batea, el oro se reúne en el fondo.

Existen dos diferentes tipos de movimiento: uno rotatorio y otro longitudinal. Lo importante es que la pulpa en la batea forme un lecho fluidizado para que con el movimiento las partículas más pesadas puedan ir hacia el fondo.

Si el material del fondo de la batea se encuentra compactado, el operador pierde sobre todo el oro fino y las láminas.

Existen básicamente dos maneras en las que se opera una batea para oro: La batea norteamericana (corte transversal trapezoidal) y también las bateas rectangulares se mueven de adelante para atrás para desplazar el material más liviano fuera de la batea. Muchas veces, una sección de la batea tiene estrías que ayudan a retener el oro en la misma.

Las otras bateas (cortes transversales triangulares o cóncavos) deben ser rotadas para que su centro se mantenga casi inmóvil (pero suspendido), mientras que una combinación de corriente de agua y aceleración radial llevan las colas (o livianos) fuera de la batea.

El minero repite este proceso una y otra vez hasta que sólo el oro, o la arena negra conteniendo el oro, permanezcan en la batea.

Las bateas de oro se fabrican de diversos materiales entre ellas están:

Las *bateas de madera o fierro* (oxidadas para que la superficie sea más áspera y que el color sea más oscuro): son las que mayormente son utilizadas en Latinoamérica, a pesar de que las *bateas hechas de PVC negro* ofrecen varias ventajas: son resistentes a las rajaduras, livianas y generalmente



durable, y el oro se muestra claramente en ellas. En el uso de la batea hay que tener cuidado de no perder oro fino por flotación. Este efecto, que se presenta también en otros procesos gravimétricos (canaletas, mesas, etc.) significa que el oro, debido a su superficie hidrófoba (una característica que puede ser reforzada por un recubrimiento de grasas o aceites) no se hunde, sino que flota en la superficie del agua. Mientras que en el proceso de flotación (como alternativa a la concentración gravimétrica) se aprovecha esta característica, en el caso de la concentración gravimétrica produce pérdidas. Por eso hay que evitar la contaminación de la carga con aceites o lubricantes. Unas gotas de detergente o jugos de ciertas plantas, como la savia del sisal (fique o pita), pueden ayudar a prevenir la flotación.

El rendimiento de las operaciones de separación de oro sólo con bateas es generalmente bastante bajo. Si la carga se separa fácilmente, un minero puede manejar cerca de 100 bateas llenas pesando aprox. 10 Kg cada una en un día de trabajo, dando así un rendimiento aproximado de 1 t/ d. Las partículas gruesas de grava en la carga son retiradas antes con una malla o a mano mientras se mueve el material en la batea. Cuanto más fino el oro, más altas las pérdidas debido a la descarga inadvertida de partículas finas de oro.

Las bateas son de fácil manufactura. Un poco de trabajo simple de laminación es suficiente para convertir la tapa de un tambor de diesel o cianuro vacío en una batea para oro. En talleres pequeños también se producen bateas de madera o de PVC.

El grado de recuperación con batea depende en gran parte de la habilidad del operador. Con una operación cuidadosa la recuperación puede ser muy buena, hasta partículas de cerca de 20 mm. Por esta razón las bateas también son artefactos importantes para el control durante el proceso de concentración gravimétrica, tanto en minas aluviales como en minas primarias



### I.4.3-2 Canaletas

Las canaletas son muy usadas en la minería aurífera, principalmente en las operaciones pequeñas de minería aurífera aluvial y en la concentración de mineral primario molido (Fig. 11). Existen miles de minas en todo el mundo que exclusivamente trabajan con canaletas (y bateas). Calculando la capacidad instalada, la canaleta es uno de los artefactos más utilizados para el procesamiento de minerales pesados.

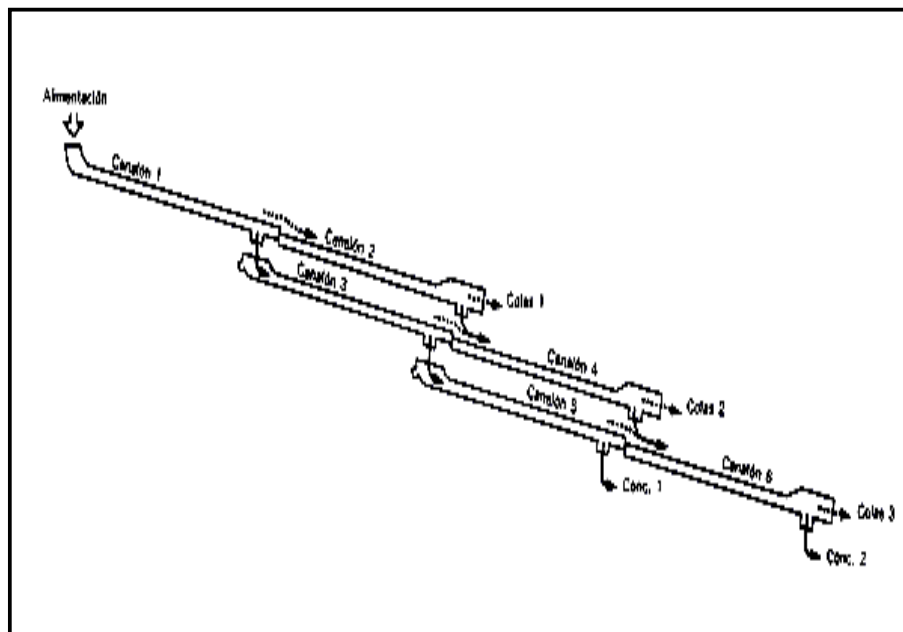


Fig. 11 Canaletas

Figura tomada de: Kelly Spottiswood, 1990, *Introducción al Procesamiento de Minerales*, Ed, Limusa. P

Generalmente consisten de un canal, a través del cual fluye la pulpa, y de varios materiales (trampas) para la captura de minerales pesados, los cuales se hunden hasta el fondo, mientras el agua saca hacia afuera a los sólidos livianos. Existen muchas formas y tipos de canaletas, tanto para trabajar oro primario (de vetas) como oro aluvial (de veneros).



El funcionamiento de la canaleta está determinado por los siguientes factores:

Existen dos formas básicas de pisos, que influyen en el mecanismo de separación:

- A. Piso con rejillas (trampas gruesas, a veces encima de alfombras)  
En esta forma, la pulpa tiene mucha turbulencia (que es necesario para el efecto "remolino"). Las rejillas se prestan para recuperar eficientemente el oro grueso, pero generalmente pierden la mayor parte del oro fino. Además, se recupera mucho preconcentrado, que dificulta y aumenta el trabajo para obtener el producto final.
- B. Piso con alfombras (bayetas, frazadas, alfombras, etc.)  
En esta forma, la pulpa fluye con poca turbulencia. La ventaja es una buena recuperación de oro fino y la obtención de una cantidad reducida de preconcentrado. Según el tipo de carga, se requiere un lavado frecuente. Este tipo de canaleta también se denomina "mesa estacionaria" (en inglés "blanket table" o "strake"). Estas canaletas no sólo se utilizan en la minería primaria, sino funcionan también en la minería aluvial con oro fino. Una forma "intermedia" es el uso de metal expandido (metal desplegado) encima de alfombras, que ha dado buenos resultados en la minería aluvial. En el caso de tener una carga con oro grueso y fino, se recomienda tamizar la carga y tratar cada tamaño en canaletas separadas.

A continuación se presentan dos tablas, en una se indica el tipo concentrador que es conveniente utilizar según el tamaño de partícula (Fig. 12) y en la otra la clasificación de los Concentradores Gravimétricos (Fig. 13):

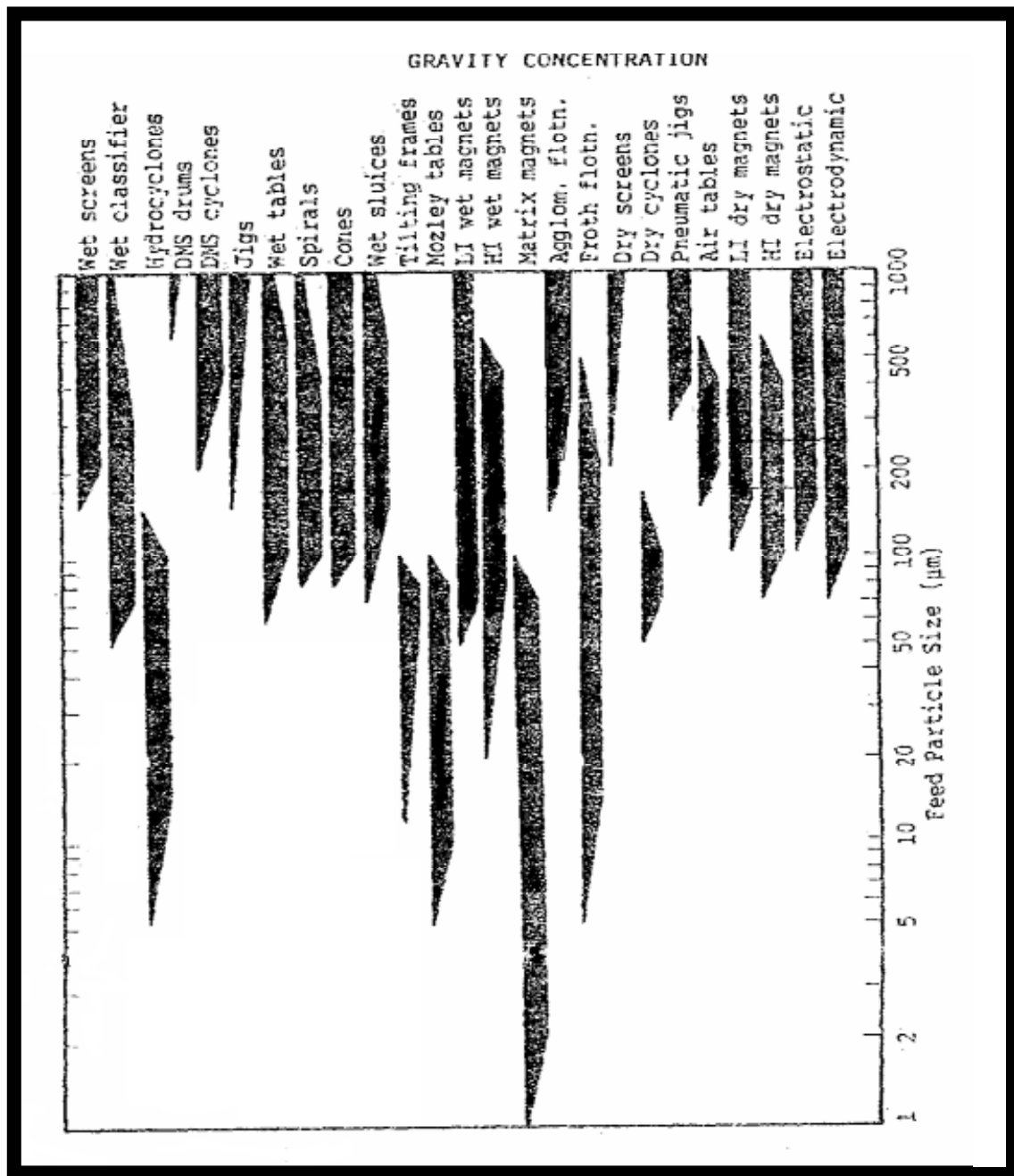


Fig. 12 Tipo de Equipo de acuerdo al tamaño de partícula



	Máquina	Tamaño (m) (ancho X longitud)	Capacidad* (promedio)	Velocidades*	Concentración Alimentación (% vol.)	Costo de inversión** Dls. /hr	Aplicaciones
CONCENTRACIÓN POR IMPULSO	Impulsora de diafragma o de émbolo para minerales	hasta 1.2 X 1.1	4.0 t/hr/m <sup>2</sup> (casiterita, 200 µm)	300 r.p.m. (carrera de 5 mm)	10 incluyendo agua de lavado	5	Separación primaria, limpieza, separación secundaria de casiterita, oro o schellita relativamente gruesos.
	Baum (figura 13.3)	hasta 17.6 m (celdas de 2 X 6 en paralelo)	20 t/hr/m <sup>2</sup> (carbón 150 mm)	20 - 30 r.p.m.			Principalmente para lavado de carbón.
	Batac (figura 13.4)	30 m <sup>2</sup> (seis celdas de 5 X 1)	24 t/hr/m <sup>2</sup> (carbón de - 150 mm) 12 t/hr/m <sup>2</sup> (carbón de - 12 mm)	55 r.p.m.			Principalmente para lavado de carbón. La impulsora de Batac es más apta para tratar carbones más finos que la de Baum.
	Wemco-Remer	1.5 X 4.9	7 t/hr/m <sup>2</sup> (agregado de - 25 mm)	160 r.p.m. (secundaria 400 r.p.m.) (carrera de 12 mm)	~10 incluyendo agua de lavado		Principalmente para producción de agregados.
	Circular (también conocida como Impulsora Cleveland I.H.G.) (figura 13.5)	7.5 (diámetro) (41.7 m <sup>2</sup> )	10 t/hr/m <sup>2</sup> (casiterita de 200 µm)				Muy usada en el rastreado de estaño.
	Impulsora neumática (figura 13.6)	1.8 X 3.8	2 - 3 t/hr/m <sup>2</sup> ancho	600 r.p.m. (6 mm)	N.A.		Se emplea para lavar carbones adecuados, cuando es ventajoso obtener producto seco.
CONCENTRACIÓN POR SACUDIMIENTO	Mesa concentradora (figura 13.9)	2.0 X 4.6	0.05 - 0.25 t/hr/m <sup>2</sup> (minerales pesados)	265 r.p.m. (carrera de 20 mm)	15	14	Tratamiento de carbón, casiterita, schellita y otros minerales pesados.
	Mesa de lodos (conocida también como mesa de lodos de Holman)	2.0 X 4.6	0.01 - 0.06 t/hr/m <sup>2</sup>	300 r.p.m. (carrera de 10 mm)	15	55	Se emplea para partículas demasiado finas para la mesa convencional. Adecuada para limpiar concentrado del concentrador Bartles-Mozley.
	Concentrador Bartles-Mozley (figura 13.10)	1.2 X 1.5	2.5 t/hr	200 - 300 r.p.m.	1 - 4	10	Concentrador primario para minerales pesados muy finos.
	Separador vibratorio de banda transversal de Bartles	2.75 X 2.4	0.5 t/hr		10	40	Aplicaciones similares a la mesa de lodos.
CONCENTRACIÓN POR SUCIÓN	Espiral (conocida inicialmente como espiral de Humphreys) (figura 13.14)	0.6 (diámetro) 2.9 (altura)	1.5 t/hr por arranque	N.A.	6 - 20 (más 30 - 60 1/min de agua de lavado)	0.5 a 1.4	Se emplea para arenas de playa, minerales de hierro y diversos minerales pesados. Hay tendencia creciente a usarla para limpiar concentrados de cono. Las unidades de alta capacidad son adecuadas para la concentración primaria durante la molienda.
	Canalón de punta (figura 13.12)	0.9 X 0.25 a 1.8 X 0.4	2 - 4 t/hr	N. A.	30 - 45		Concentración de arenas de playas y mineral de fosfatos. Es utilizable cuando la capacidad de procesamiento es insuficiente para el cono, o cuando es necesario tener un arreglo de circuito más flexible.
	Cono (también conocido como cono Reichert) (figura 13.13)	2 (diámetro)	65 - 90 t/hr	N.A.	35 - 40	1.0	Se desarrolló originalmente para arenas de playa; se emplea ahora para carbón, concentración primaria y limpieza de minerales de hierro y concentración primaria de colas para recuperar trazas de minerales pesados.

\* Depende en gran medida del tamaño de partícula del material que se esté tratando.  
 \*\* Costos relativos al cono.

Fig. 13 Concentradores Gravimétricos

Figura tomada de: Kelly Spottiswood, 1990, Introducción al Procesamiento de Minerales, Ed, Limusa. P



#### I.4.4 Concentradores centrífugos

Los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravimétrica en minas grandes; frecuentemente en los circuitos de molienda para separar y evitar sobre molienda y antes de plantas de cianuración o flotación para recuperar. También existen muchas aplicaciones en plantas industriales en la minería. Otra aplicación especial para los concentradores centrífugos es la recuperación del oro como un producto secundario, por ejemplo en canteras de grava. Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio: básicamente, un recipiente, que rota, efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrífugo.

Los concentradores centrífugos "originales", como el **Knelson** o **Falcon** fabricados en Canadá, se encuentran muy poco en la pequeña minería latinoamericana, por diferentes razones. Sin embargo, existen copias realizadas por talleres locales. Estas copias de centrífugas, generalmente no tienen la misma eficiencia que las originales. Por esta razón, estos equipos "caseros", frecuentemente son convertidos en amalgamadores de circuito abierto. La operación en este equipo, consiste en colocar mercurio en el fondo del recipiente cónico y en los espacios anulares del mismo, luego por efecto de la fuerza centrífuga se logra el contacto oro - mercurio, produciéndose la amalgamación. Debido a las altas velocidades de flujo circular que ocurren dentro de la centrifugadora, se produce una alta pérdida de mercurio finamente dispersado.

Los tipos de concentradores centrífugos más utilizados están basados en el mismo principio, pero difieren en su diseño técnico. Se encuentran los concentradores Knelson, Knudsen y Falcon y algunos de fabricación local (especialmente en Brasil).





Existen dos tipos principales de centrífugas:

- a) Centrífugas sin inyección de agua en contracorriente (Knelson, algunos modelos de Falcon)
- b) Centrífugas con inyección de agua en contracorriente (Knelson, algunos modelos de Falcon).

Como promedio, el tamaño de las partículas aptas para este proceso varía entre 30mm y 1-4mm ( 1 ¼" malla 18-5), dependiendo del tipo y modelo de centrifugadora utilizada.

La recuperación puede ser buena bajo las siguientes condiciones:

Cuando la alimentación está clasificada en rangos de tamaño bien delimitados.

Presencia de pocos minerales pesados acompañantes gruesos.

Las centrífugas ahorran fuerza de trabajo significativamente. Con las centrífugas se pueden lograr altas relaciones de enriquecimiento, para la posibilidad de fundición directa, pero a menudo se necesita otro equipo más (por ejemplo una mesa concentradora). En los circuitos de molienda, los concentradores centrífugos son utilizados efectivamente para recuperar el oro liberado.

Una desventaja de las centrífugas actuales es que son equipos que por lo general no trabajan de manera continua, es decir, la operación debe ser periódicamente interrumpida para descargar el concentrado retenido en el lecho del cono del concentrador. Esto implica una paralización en las actividades de aproximadamente 5 minutos y es posible solamente cuando la planta dispone de otra máquina de apoyo. De otra manera, esto causaría



pérdidas significativas, debido a que el material tendría que ser desviado durante la descarga del concentrado o se tendría que utilizar otra centrifugadora como "stand-by".

Los intervalos de tiempo para la descarga deben ser determinados experimentalmente. Incrementar el tiempo de operación implica una elevación del factor de enriquecimiento en el concentrado, pero disminuye la recuperación total, porque las partículas de oro fino también se pierden progresivamente durante el lavado.

Recientemente han sido desarrollados los concentradores centrífugos de efusión semi-continua o continua (los nuevos equipos de Falcon y Knelson)

#### **1.4.4-1 Ventajas:**

- Buena recuperación
- Alta capacidad
- Equipo muy compacto
- Alto factor de enriquecimiento.

Una desventaja de las centrifugas con agua a inyección es su alta demanda de agua limpia (el agua de inyección en contracorriente). En las instalaciones de diferentes plantas de beneficio de pequeña minería se demostró que muchas veces resulta muy difícil proveer agua en la cantidad y con la presión necesaria. Especialmente para alcanzar la presión de agua requerida, muchas veces se tiene que utilizar una bomba, lo cual implica una inversión adicional.

Es posible reciclar agua, pero esto requiere de instalaciones adicionales para su purificación.



Otros problemas con las centrífugas son los siguientes:

Posibilidad mínima de recuperar minerales pesados acompañantes. Si el concentrador centrífugo es utilizado para la preconcentración (como equipo único), todos o casi todos los minerales acompañantes valiosos se perderían. Por ejemplo en las minas primarias, donde se encuentran presentes sulfuros valiosos. Aquí disminuye la recuperación total de oro utilizando centrífugas en la preconcentración, ya que cierta cantidad de oro se presenta diseminada en los sulfuros.

Operación sin posibilidades de supervisión. La mayoría de las centrífugas en operación están completamente cerradas, y los disturbios en su interior son difíciles de detectar (en contraste con la mesa concentradora y las espirales). Un ajuste incorrecto del concentrador centrífugo (presión de agua inyectada irregular o modificada debido a una falla en el bombeo) puede llevar a una recuperación nula (igual a cero), sin que el operador lo note.

En la mayoría de los casos, sólo en el momento en que el recipiente de concentrado es vaciado se puede observar qué tan exitosa ha sido la operación con la centrífuga.

Propensión a alteraciones en la operación. A causa de alteraciones en la operación, como un corte de luz, el concentrado reunido durante horas de operación podría perderse en segundos. Esto no ocurre en artefactos donde el concentrado se obtiene continuamente (mesas, espirales), ya que el concentrado producido es seguro, es decir, se lo encuentra en un recipiente externo de recolección. Este riesgo podría ser reducido, condicionalmente, con la operación de sistemas de emergencia (generador, válvulas automáticas que cortan el agua y la alimentación, etc.). En cuanto a otros factores, a través de una interrupción en la inyección de agua debido a fuertes fluctuaciones de la



misma, pueden llevarse a cabo grandes pérdidas en la recuperación del mineral por la anulación del efecto de separación.

En la minería aluvial, la alimentación a la centrífuga tiene que ser muy fina (por ejemplo  $< 1\text{mm}$ ) para recuperar de la mejor manera el oro fino. Una alimentación por ejemplo con material  $< 6\text{mm}$  con la presencia de minerales pesados gruesos requiere una alta presión del agua de inyección en contracorriente, para que no se compacten los minerales pesados acompañantes en el cono.

Esto causa altas pérdidas de oro fino. La alta exigencia de clasificación requerida es difícil de realizar en la pequeña minería aluvial. Problemas similares se presentan en la minería primaria con la presencia de muchos sulfuros o sulfuros pesados (por ejemplo galena).

Los concentradores centrífugos, debido a razones tecnológicas y a derechos de patentes, no pueden ser fabricados en los países en desarrollo en versiones de buena calidad. Esto genera, entre otras cosas, su alto precio y causa dificultades en su reparación y adquisición de repuestos.

Estos puntos de vista deberían ser tomados en cuenta antes de comprar e introducir el concentrador centrífugo. En Sudamérica, debido a las desventajas arriba señaladas, las centrífugas han encontrado poca aplicación en la pequeña minería aurífera de la región como equipo para la concentración gravimétrica.

Lamentablemente, se encuentran frecuentemente concentradores centrífugos de fabricación local usados como amalgamador es en flujo abierto.

Los concentradores de gravedad centrífuga para recuperación de partículas finas usados en el beneficio de minerales de oro son:

#### 1.4.4-2 Concentrador Falcon

Los Concentradores Falcon (Fig. 14) tienen alta capacidad para separar materiales basados en diferente gravedad específica de las partículas. El uso de un área centrífuga de alta capacidad permite a las unidades recuperar las partículas ultra finas liberadas y hacer separaciones eficientes aún cuando no sean adecuados otros procesos de recuperación de gravedad. El proceso de separación física es efectivo, probado y sencillo. Las máquinas emplean únicamente una parte básica de movimiento, y no necesitan añadir aditivos químicos ni otros materiales consumibles.

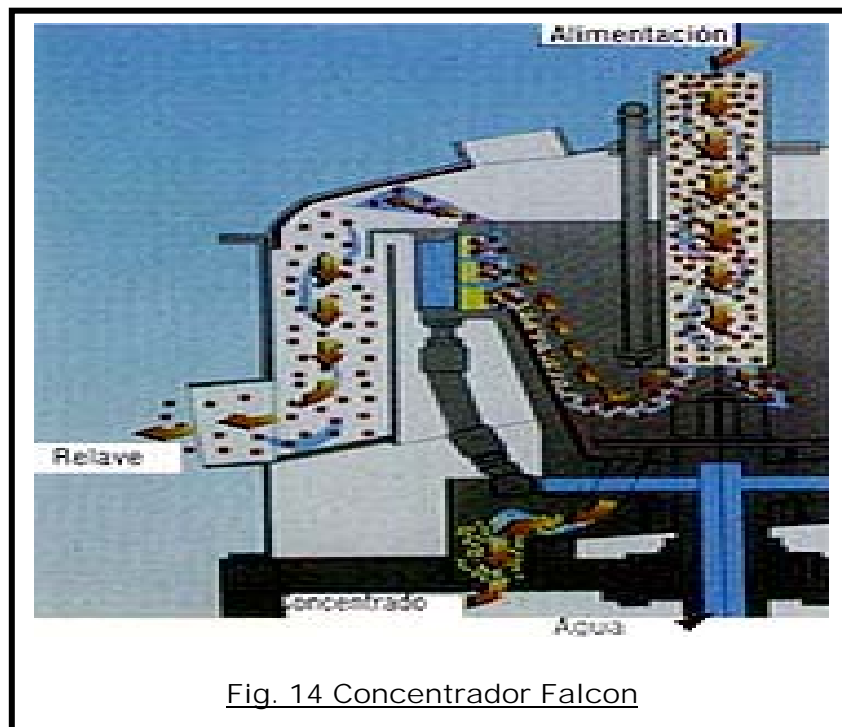


Fig. 14 Concentrador Falcon

El material para la alimentación ingresa al mecanismo rotor de alta velocidad en forma de pulpa donde las partículas de gravedad específica más alta se sitúan mucho más cerca de la pared del rotor y el producto liviano así como también el agua se desplaza fuera de la superficie como relaves. Los



diferentes modelos retienen y descargan concentrados en varias formas dependiendo de las características de alimentación, tipo de minerales y recuperación de peso requerido.

#### 1.4.4-3 Concentrador Knelson

Los concentradores Knelson han llegado a ser un elemento característico en las concentraciones de oro nuevas o antiguas de todas las compañías.

Uno de los mayores aportes en procesos metalúrgicos se ha venido dando en la concentración gravimétrica con el manejo del Concentrador Knelson (Fig. 15).

Knelson Gravity Solutions es la empresa más importante en concentración gravitacional y representantes exclusivos de los concentradores Knelson. Han vendido alrededor de 2800 concentradores en todo el mundo y en la actualidad se producen más de 150 ton de oro por concentradores Knelson.

Se sabe que **Knelson Concentrators** es el líder en la industria de investigación y desarrollo de la tecnología de separación centrífuga. El equipo Knelson ha sido usado con éxito en la recuperación de metales preciosos, tales como oro, platino y plata y metales básicos tal como el cobre. Metales nocivos para el medio ambiente tales como plomo y mercurio pueden también ser recuperados de tierras contaminadas limpiando el medio ambiente.

Estas ventajas se han concretado eliminando ciertos paradigmas y logrando entender la base del concepto de concentración.



La solución gravimétrica en la mayoría de los casos es posible, ya sea considerándola como única opción o combinada con otros métodos de extracción, algunas veces complementando procesos existentes o en tratamiento de efluentes.

En todos los casos la inversión de capital y los costos operativos son bastante bajos. Cabe aclarar que el método gravimétrico no reemplaza, en todos los casos, la cianuración o la flotación de menas de oro, pero inclusive en forma combinada a esta se logran reducciones importantes de consumo y mejoras importantes en la seguridad global del proceso.



Fig. 15 Concentrador Knelson

[www.knelsonconcentrators.com](http://www.knelsonconcentrators.com)

El **Concentrador Knelson** se fabrica en diversos tamaños y modelos, desde el concentrador de laboratorio KC-MD3 hasta el equipo de alta producción KC-XD48 con capacidad de procesar 150 tph. Las aplicaciones del equipo Knelson varían desde trabajos de laboratorio o exploración en campo hasta plantas piloto y producción a gran escala.



Todos los modelos tienen incorporado el proceso de fluidificación patentado. Este proceso combinado con la fuerza centrífuga, ha hecho al Concentrador Knelson el más avanzado equipo de concentración por gravedad disponible. Con más de 2,000 máquinas vendidas en más de 70 países, el Concentrador Knelson ha demostrado ser la norma de trabajo seleccionada por las compañías mineras y de exploración más reconocidas del mundo entero.

**Todos los concentradores Knelson ofrecen:**

- recuperación rápida y eficiente a bajo costo
- operación confiable y sin problemas
- bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- operación no contaminante y sin peligro para el medio ambiente
- total seguridad del concentrado
- total automatización disponible en todos los modelos

Con la idea de surtir únicamente productos de la más alta calidad, los Concentradores Knelson son producidos con:

- piezas que van en contacto con la humedad construidas en acero inoxidable resistente a la corrosión (también disponibles en acero dulce)
- recubrimientos y partes de desgaste muy resistentes en materiales especiales
- cono concentrador de poliuretano de larga duración
- Standards de soldadura CWB (Canadian Welding Bureau)
- Standards CSA de los sistemas eléctricos (Canadian Standards Association)

Como ya se dijo, utilizando fuerzas gravitacionales reforzadas centrífugamente y un proceso de fluidización patentado, el concentrador Knelson se considera como uno de los descubrimientos más trascendentes en





la concentración por gravedad. Entre las instalaciones más recientes en Canadá figura la Mina Dome en South Porcupine, Ontario. Los resultados del concentrador Knelson se observaban diariamente y antes de terminar el primer mes de pruebas fue dejado fuera de servicio todo el circuito de cribas. Un solo concentrador Knelson totalmente automatizado estaba extrayendo más oro que lo que nunca había producido el circuito de cribas en toda su historia. Lo que hizo esta realización más notable fue el hecho de que el concentrador Knelson realizase este trabajo tratando una pequeña fracción de la alimentación de las cribas: solamente de 10 a 12%.

Otro ejemplo del buen funcionamiento del concentrador Knelson esta en la mina Golden Giant con una capacidad de producción de 446,000 oz/año, la empresa explotadora Hemlo Gold Mine Inc. Informa acerca de sus impresionantes resultados. Un concentrador Knelson automatizado, seguido por una sola fase de concentración en mesa genera hasta el 30% del total del oro producido. Este es oro nativo que se recupera directamente del circuito de molido antes de la cianuración. El Knelson proporciona una producción suplementaria sin costo y reduce los circuitos del lavado con una inversión de capital mínima.

En Australia la mina de metales comunes EZ Rosebery, de Pasminco Mining Group, en Tasmania, viene empleando tecnología Knelson desde 1993. Los metalurgistas informan de que el Knelson “no solamente ha mejorado el comportamiento metalúrgico, sino también el comportamiento operacional. Frecuentemente el éxito de las pruebas piloto y de laboratorio deciden la factibilidad de un proceso dado o de todo un proyecto. Estudios de concentración por gravedad no son una excepción, y por esta razón Knelson ofrece varios tamaños de equipo de escala piloto y de laboratorio.

El **KC-MD3** (Fig. 16) se ha convertido en el equipo estándar en los laboratorios más avanzados. Muchas universidades, institutos técnicos,

laboratorios metalúrgicos, institutos de protección al medio ambiente así como compañías de exploración han descubierto los numerosos beneficios ofrecidos por el Concentrador Knelson **KC-MD3** y han aprovechado estas ventajas



Fig. 16 Knelson modelo KC-MD3

[www.knelsonconcertrators.com](http://www.knelsonconcertrators.com)

### **Funcionamiento del Concentrador Knelson:**

Dentro del Concentrador Knelson las partículas son sometidas a 60 veces la fuerza de la gravedad para asegurar la recuperación de partículas microscópicas que antes se pensaba eran no recuperables por medios gravimétricos. Esta fuerza centrífuga junto con el patentado proceso de fluidización, permite que el Concentrador Knelson logre resultados excepcionales.

A continuación se explica paso a paso como funciona el Concentrador Knelson:

El agua ingresa a través de una serie de agujeros de fluidización al cono de concentración que está girando (Fig. 17).

Luego se alimentan los lodos al cono de concentración a través del tubo estacionario de alimentación. ( Fig. 18)



Fig. 17

[www.knelsongravitiesolutions.com](http://www.knelsongravitiesolutions.com)



Fig. 18

[www.knelsongravitiesolutions.com](http://www.knelsongravitiesolutions.com)

Cuando los lodos llegan al fondo del cono, éstos son forzados hacia fuera y hacia arriba de la pared del cono por efecto de la fuerza centrífuga.

Los lodos llenan totalmente cada anillo, creando una cama de concentración (Fig. 19)

La compactación de la cama de concentración se evita por medio del proceso patentado de fluidificación. A medida que el agua es inyectada a los anillos, se controla el flujo para alcanzar fluidificación óptima. Las partículas de alta gravedad específica se capturan y retienen en el cono de concentración (Fig. 20, Fig 21).

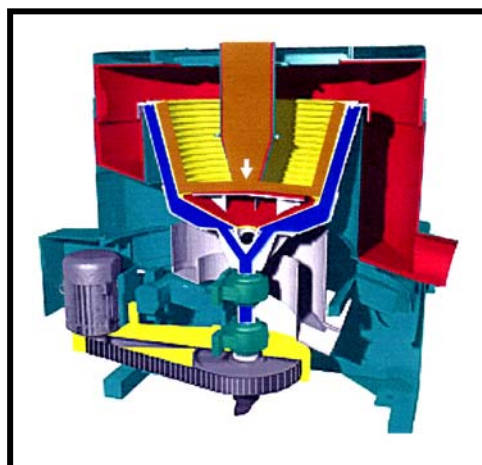


Fig. 19

[www.knelsongravitiesolutions.com](http://www.knelsongravitiesolutions.com)

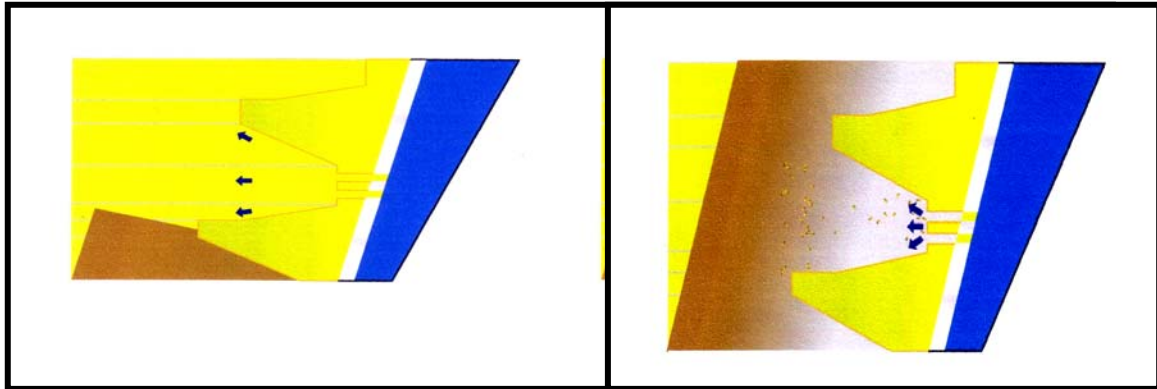


Fig. 20

Fig. 21

[www.knelsongravitysolutions.com](http://www.knelsongravitysolutions.com)

A la finalización del ciclo de concentración, se lavan los concentrados del cono y se descargan hacia la artesa de concentrado a través de un cubo patentado de puertas múltiples ( Fig. 22)

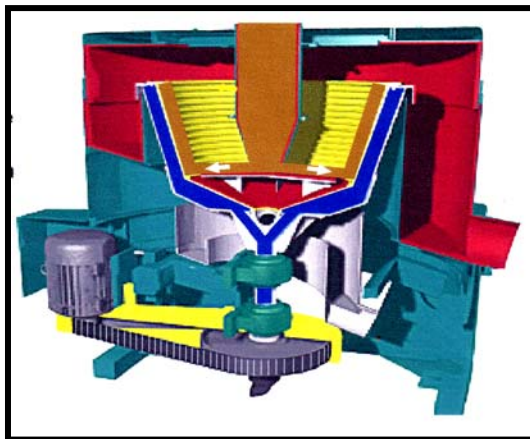


Fig.22  
Descarga de  
concentrados

[www.knelsongravitysolutions.com](http://www.knelsongravitysolutions.com)

El *Concentrador Knelson KC - MD3* fue desarrollado en respuesta a las demandas de la industria para una versión del laboratorio del Concentrador Knelson el cual puede ser usado para procesar varias clases de muestras de mineral y recuperar partículas de granulometría fina de mineral pesado

Este concentrador, junto con el estudio del *Oro Recuperable por Gravedad (ORG)* se ha convertido en la industria estándar para todos los laboratorios metalúrgicos alrededor del mundo. Ha sido aplicado en el campo como un método seguro y exacto de reducir el volumen de muestras de



mineral pesado en pequeñas cantidades de concentrados altamente enriquecidos. Estos concentrados pueden ser transportados del campo al laboratorio económicamente para el análisis adicional.

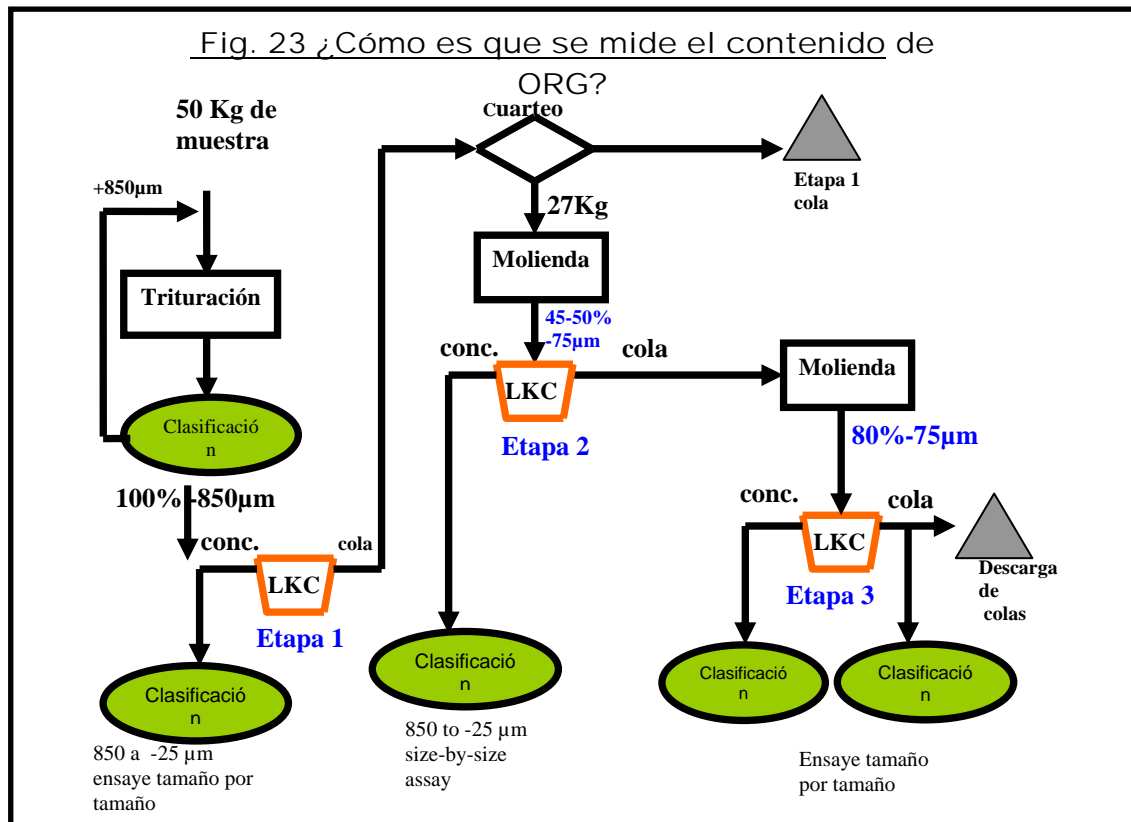
Similar a la línea completa de concentradores de Knelson, el concentrador KC-MD3 brinda recuperaciones de oro insuperables, facilidad de uso, confiabilidad y costos de operación eficiente; y además se obtiene:

- 100 % de saneamiento entre muestras
- Poco desgaste del cono concentrador de polímero de alta duración
- Cubierta de acero inoxidable
- Acepta un rango ancho en los tamaños de la alimentación
- Tolera las amplias diferencias en las densidad de la pulpa
- La operación es poco afectada por lamas y arcillas
- Bajo consumo de agua y de energía
- El concentrado se retira de manera fácil y rápida
- Mantenimiento y costos de operación bajos

El Oro Recuperable por Gravedad es un estudio que se realiza para conocer cuanto oro puede ser recuperado de una muestra; es muy usado dentro de la industria de concentración gravimétrica y ayuda a conocer las capacidades del concentrador Knelson. Este estudio se realiza en un laboratorio ubicado en Canadá. Dicho estudio se lleva a cabo en diferentes etapas y la metodología usada para ello es la siguiente:

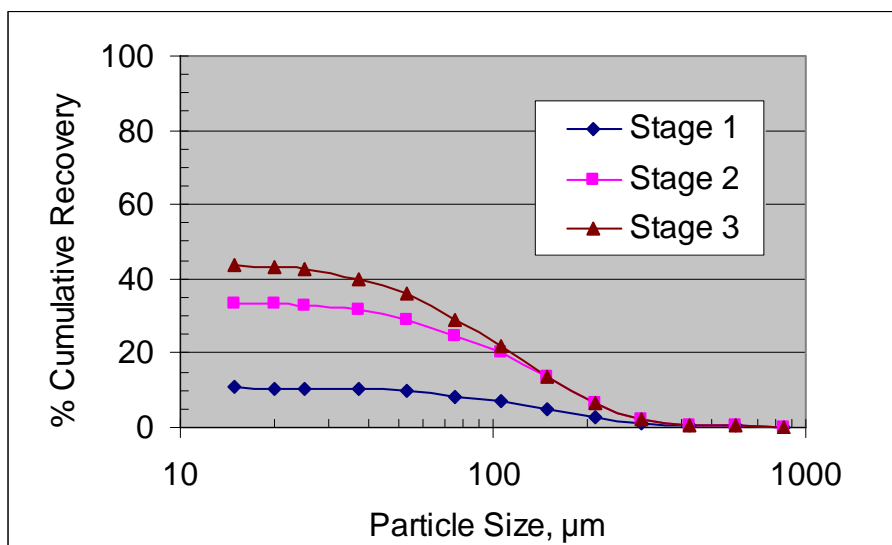
El ORG se libera y se recupera de manera progresiva en tres pasos o etapas, la cola de la primera se convierte en la alimentación de la segunda, y la cola de la segunda en la alimentación de la tercera.

Las pruebas se desarrollan para caracterizar el ORG son: distribución de tamaño y tamaño de molienda al cual se libera; en al Fig. 23 se muestra la metodología seguida para medir el contenido de ORG.



Después de hacer el estudio de ORG se pueden obtener graficas en donde se ve claramente que cantidad de oro recuperable es la que se tiene, estas gráficas son como las que se muestran a continuación (Figs. 24 y 25 tomadas de: *Classification and Potential Recovery From the Grinding Circuit at Tizapa*)

Fig. 24 Cumulative GRG Content (100%: total gold in the ore)



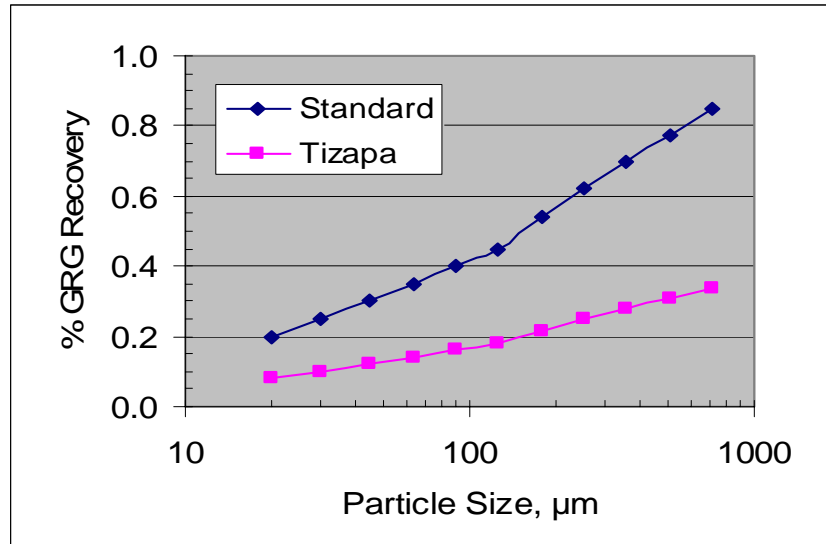


Fig. 25 Standard and Down Rated Performance for a Knelson Concentrator 30 CD at 60 t/h

Estas gráficas pertenecen a un estudio que se realizó en abril de 2004 para el mineral de Minera Tizapa; ubicada en Zacazonapan, Edo. de México de Industrias Peñoles. El nombre del estudio es: **Classification and Potential Recovery From the Grinding Circuit at Tizapa** (Clasificación y Recuperación potencial del circuito de molienda de Tizapa) de André R. Laplante

En México solamente hay una empresa que utiliza el concentrador Knelson a nivel industrial en Jalisco y existe un Concentrador Knelson modelo KC-MD3, de 3 pulgadas de diámetro del cono (en las tablas aparece solo como MD3 o como VS3) en el laboratorio del Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico (CIDT), en Monterrey. Se sabe que en el Proceso de Concentración de Minera Tizapa se han hecho pruebas en dicho concentrador a nivel laboratorio para recuperación de Oro y se pretende agregar dentro del proceso de concentración un concentrador Knelson.



## II GENERALIDADES

### II.1 Localización y acceso

Las minas motivo del presente estudio, se localizan en las inmediaciones del poblado de Puerto del Oro, en le Municipio de Coyuca de Catalán, Estado de Guerrero (Fig. 20), con coordenadas geográficas

Latitud Norte	18°	15´	44”
Longitud Oeste	100°	56´	08”

Su acceso es a partir de Ciudad Altamirano, Coyuca de Catalán y Placeres del Oro, por la carretera federal 51 y 134, pavimentadas ambas y a partir de este último punto, se desvía hacia el Noroeste por un camino de terracería en buenas condiciones casi todo el año, que conduce al poblado de Puerto del Oro, con un recorrido aproximado de 6 kilómetros, donde se localiza el área de estudio en un radio de aproximadamente 4 km. Esta localidad se ubica entre los 400 y los 700 m.s.n.m.

### II.2 Infraestructura

*El área de estudio cuenta con excelentes vías de comunicación, con un único tramo de terracería de 6 kilómetros entre Puerto del Oro y Placeres del Oro. Se cuenta con líneas de energía eléctrica y suficiente suministro de agua a través de la red de arroyos que corren en el área de estudio, que permitirá disponer de este recurso para el proceso de concentración gravimétrica que se planea realizar.*

Se ha instalado una Terminal de telefonía celular para mantener contacto con Puerto del Oro, por parte de Ore Body de México, S.A. de C.V., debido a que no se cuenta con servicio de telefonía en esta área.





Se pueden acceder a los servicios que no se tienen en esta comunidad en los poblados de Coyuca de Catalán y Ciudad Altamirano a una distancia máxima de 27 kilómetros.

### ESTADO DE GUERRERO



#### EXPLICACIÓN

Capital del estado		Autopista del Sol	
Cabecera municipal		Carretera pavimentada (federal y estatal)	
Poblado		Camino pavimentado y terracería	
Aeropuerto Internacional		Ferrocarril	
Aeropuerto de corto alcance		Límite estatal	
Puerto marítimo			

Área de estudio

Fig. 26 Localización del área de estudio



## II.3 Fondos mineros

A efecto de iniciar las operaciones de explotación y beneficio de minerales, se estableció un acuerdo con el propietario de una de las minas en estudio, Sr. Juan Vera Hernández, quien es titular del fondo “San Pedro”, Exp. 7854, Tit. 198470, de la Agencia de Chilpancingo, Gro. con una superficie de 16 Has. Ubicado en el Distrito de Puerto del Oro, Mpio. de Coyuca de Catalán.

Por otra parte se tiene un acuerdo con el resto de los propietarios de las propiedades mineras aledañas, quienes desean participar de la explotación de sus minas contando con la asesoría de Ore Body de México, S.A. de C.V., situación que será contemplada en un contrato posterior de servicio, entre la empresa y los mineros interesados.

## II.4 Geología regional y local

Se encuentran presentes en el área de estudio y región circundante, Rocas Metamórficas (Met), Rocas Ígneas Intrusivas (Ig) y Rocas Ígneas Volcánicas (Tv) y Material Aluvial (Qal), que a continuación se describen, y que han sido datadas del Jurásico al Reciente.

### Rocas Metamórficas (Met)

Esta Unidad es considerada como el basamento de la región, constituida por pizarras, filitas y esquistos de clorita-muscovita. Aflora en las inmediaciones del poblado de Puerto del Oro, en toda la zona de estudio y es la Unidad de mayor interés ya que es la roca encajonante de los cuerpos de mineral. Presenta abundantes bandas de cuarzo de segregación y la foliación se presenta con dos direcciones preferenciales:



NW 55° SE, con buzamientos de 18° a 30°, tanto al SW como al NE

NE 10° SW, con buzamientos de 54° a 77° al NW

De acuerdo a lo que se aprecia en el Plano Geológico del área (tomado de la Monografía Geológico Minera del Estado de Guerrero del CRM), esta Unidad se muestra como una ventana estructural y se encuentra en contacto (hacia el oriente) con un cuerpo intrusivo de composición ácida (de granito a granodiorita), y hacia el borde poniente del afloramiento de la Unidad metamórfica, se encuentra cubierta por un grueso paquete de material volcánico.

#### Rocas Ígneas Intrusivas (Ig)

Representadas por el denominado Batolito de Placeres del Oro, constituido por una roca de tipo ácido (granito a granodiorita) de forma burdamente elíptica orientado Norte-Sur, presentando color de alteración café claro a crema, sumamente alterado e intemperizado. Presenta abundantes vetillas de cuarzo con óxidos de hierro y eventualmente carbonatos de cobre en algunas vetillas.

Fue determinada su edad por el método radioactivo de Plomo Alfa, por Larsen en 1958, asignándole una edad de Cretácico Superior.

En el área de estudio es frecuente la presencia de diques y sills de tipo aplítico y eventualmente félsicos, de composición intermedia (dacíticos o riódacíticos) de espesores que van de decenas de centímetros hasta 6 o 7 metros de espesor.

Uno de este último tipo de cuerpos intrusivos, se localiza en la bocamina de la Mina San Pedro con una potencia de 5 a 6 metros y orientación general de NE62°SW, 75°SE, presentando una intensa alteración por



intemperismo y cortando la mineralización de las vetas en esta área. Este hecho y el que no presente evidencias de mineralización, hace suponer un emplazamiento posterior a la mineralización en esta área.

Otra estructura de este tipo, muy similar en su composición y características, se encuentra en las obras de la Mina Gachupines con cuerpos de tipo sill delgados (0.5 a 2 metros de espesor), con orientación NE25°SW, y buzamiento de 30° a 66° al SE, y en partes se comporta sensiblemente horizontal, y al parecer limitan hacia la parte superior a la mineralización en esta mina, sin mostrar evidencias de presentar valores económicos, ni alteraciones que los hagan suponer cercanos al evento mineralizante.

#### Rocas Ígneas Volcánicas (Tv)

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas en la región y caracterizan las partes altas de los lomeríos y sierras cercanas que circundan el área de estudio. Esta Unidad consiste de andesitas, tobas, aglomerados y brechas andesíticas, que presentan un característico color rojizo-morado de tono oscuro, conformando el terreno con la formación de cantiles y escarpes en los altos topográficos del área. A estas rocas se les asigna una edad del Terciario (Oligoceno-Mioceno), sin definir el método de datación o su correlación estratigráfica.

#### Aluvión (Qal)

Depósitos no consolidados de sedimentos que varían de tamaño desde limos y arcillas, hasta gravas, cantos rodados y eventualmente bloques. Generalmente se localizan en las márgenes de los ríos y en los lechos de los arroyos intermitentes.



## II.5 Plano Geológico Local (Fig.27)

### ESTADO DE GUERRERO

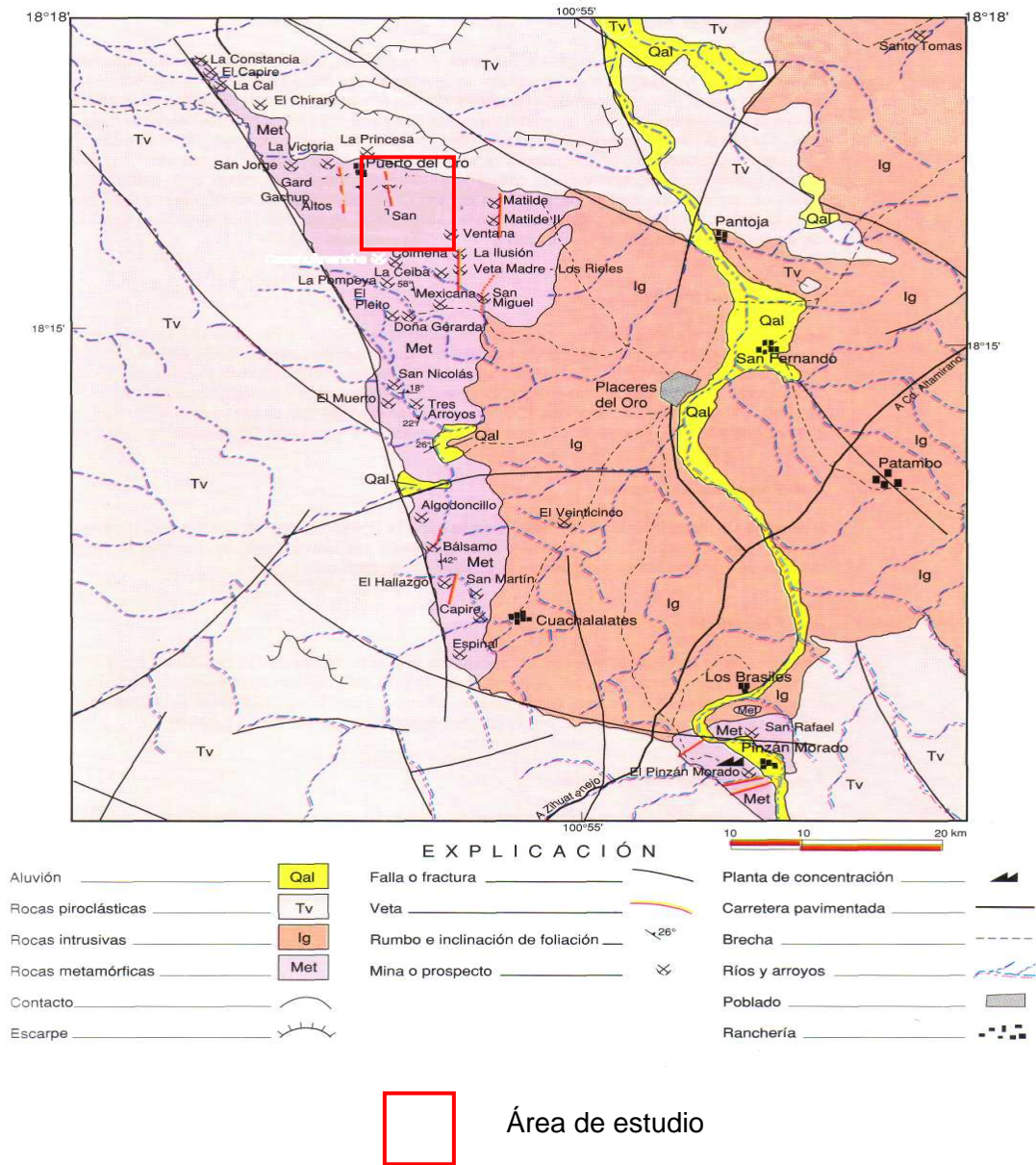


Fig. 27 Plano Geológico Local



## II.6 Yacimientos minerales

Las principales estructuras que presentan enriquecimiento mineral, son del tipo vetas y vetillas, y la mineralogía presente es de óxidos de hierro, cuarzos blanco, gris y lechoso, en los cuales se aprecian abundantes drusas rellenas de minerales oxidados (limonita-goethita, hematita) y pirita primaria.

Estas estructuras en forma de vetas y vetillas en la Mina San Pedro presentan una orientación general al NW80° SE, 35° al SW, con espesores de 5 a 20 centímetros de espesor, con abundantes drusas rellenas de óxidos y arcillas.

En la Mina Gachupines las estructuras mineralizadas presentan una actitud general al NE69° SW, 27° al SE, con abundantes drusas rellenas de óxidos y arcillas, con espesores de 20 a 50 centímetros.

En la Mina San Juan, el rumbo general de la veta principal es NE17° SW, 23° SE, presentando múltiples ramaleos al bajo, con un espesor de aproximadamente 40 centímetros, igualmente se observan múltiples drusas rellenas de minerales oxidados y arcillosos. Se muestra en un corte del camino, en la zona de la bocamina de San Juan, que la veta es cortada por una falla al parecer de desplazamiento inverso, que limita la estructura mineralizada hacia su echado, por lo que es importante definir la magnitud del desplazamiento y localizar la continuidad de la veta en el bloque del alto de la falla, que plantea importantes perspectivas para esta estructura.

Se realizó un muestreo de orientación, semi-sistemático, con el propósito de determinar el comportamiento de los valores de oro en las estructuras expuestas en las Minas San Pedro, Gachupines y San Juan, evitando el ser



selectivos con el material muestreado y tomar muestras tanto de los ramaleos, como de la roca encajonante para poder determinar la dispersión de los valores en los respaldos de la vetas y vetillas y estar en posibilidad de determinar un cálculo aproximado de reservas, lo más real posible incluyendo las áreas impregnadas de valores en los respaldos de las vetas.



### III ESTUDIO MINERAGRÁFICO-PETROGRÁFICO

#### III.1 Descripción Megascópica:

La descripción megascópica corresponde a muestras de zona de oxidación y silificación, contiene color blanco lechoso con ocre rojizo a oscuro, predominando los colores ocres, la muestra está constituida esencialmente por cuarzo de masivo a vetiforme, muestra oquedades (espacios amigdalares, aparentemente sin relleno), y por óxidos e hidróxidos de Fe (hematita y goethita-limonita), en estas muestras no se evidencia la presencia de oro nativo ni de ninguna otra fase mineral, solamente algún material y mineral arcilloso factible dentro de la zona de oxidación.

Se trabajó con una muestra que correspondía a una tentadura, la cual es una preconcentración de minerales por densidad, con la finalidad de concentrar oro, en esta muestra fue posible realizar un separado de partículas de oro con tamaños de entre 80 y 350  $\mu\text{m}$  (micras, las observaciones y separación de partículas se realizaron con un microscopio estereoscópico), logrando separar diez partículas, señalando que es posible encontrar más en el concentrado proporcionado, estas partículas se encontraron como cristales amiboides e irregulares, con tendencia a estar subredondeados, la mayoría completamente limpios (como monomineral) y otros asociados con óxidos e hidróxidos de Fe (hematita, goethita-limonita), como partículas mixtas, de lo cual se puede deducir que los cristales de oro se encuentran asociados a la zona de oxidación supergénica y también es posible que se encuentren cristales diseminados de oro en cuarzo, posiblemente en oquedades o como parte de las vetillas.





### III.2 Descripción Microscópica:

Para esta descripción se llevó a cabo una selección de la zona de oxidación preferentemente para realizar la caracterización de las fases metálicas, hecha esta selección se elaboró una sección espesa (briqueta), para la identificación de las fases minerales opacas, identificándose las siguientes fases minerales: óxidos e hidróxidos de Fe (hematina y goethita-limonita), como minerales supergénicos, pirita diseminada esencialmente en mineral transparente y mineral transparente que sin duda corresponde a cuarzo. Se aprecian texturas de reemplazamiento parcial a total por óxidos e hidróxidos de Fe preferentemente a óxidos primarios y a sulfuros (pirita), siendo estable solo la que se encuentra incluida en cuarzo.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> **Nota:** ver detalles de cada fase mineral en la siguiente tabla, así como las texturas que presentan y porcentaje de estas en la muestra, también se evidencian en las fotomicrografías, es importante mencionar que no se encontraron cristales de oro en la muestra, esto debido a que se tendrían que realizar un mayor número de preparaciones para lograr localizarlos.



### III.3 Mineralogía :TABLA 1

Mineral	Porcentaje de la fase mineral	Características
Hematita	20 %	Mineral secundario presente como reemplazamiento parcial de óxidos de Fe y sulfuros de Fe (magnetita, pirita), presente en textura mixta con mineral transparente y asociado a goethita-limonita, esta fase mineral se encuentra como reemplazamiento parcial de hematita. La hematita presenta textura lamelar.
Goethi Limonita	30 %	Se encuentra en los bordes de cristales de hematita, y diseminados en mineral transparente, se considera como producto de alteración parcial a total de hematita y pirita, presenta textura típica coloforme y en bandas, con abundantes reflexiones internas, presente como diseminados y agregados en mineral transparente.
Pirita	< 01 %	Escasos cristales diseminados en mineral transparente, son euhedrales y anhedrales, se encuentran sin bordes de alteración por óxidos.
Minerales Transparentes	50 %	Asociado a todas las fases minerales presentes, este mineral corresponde a cuarzo.

**CLASIFICACIÓN:** Muestras que corresponden a zonas de oxidación supergénica.

FOTOMICROGRAFÍA :

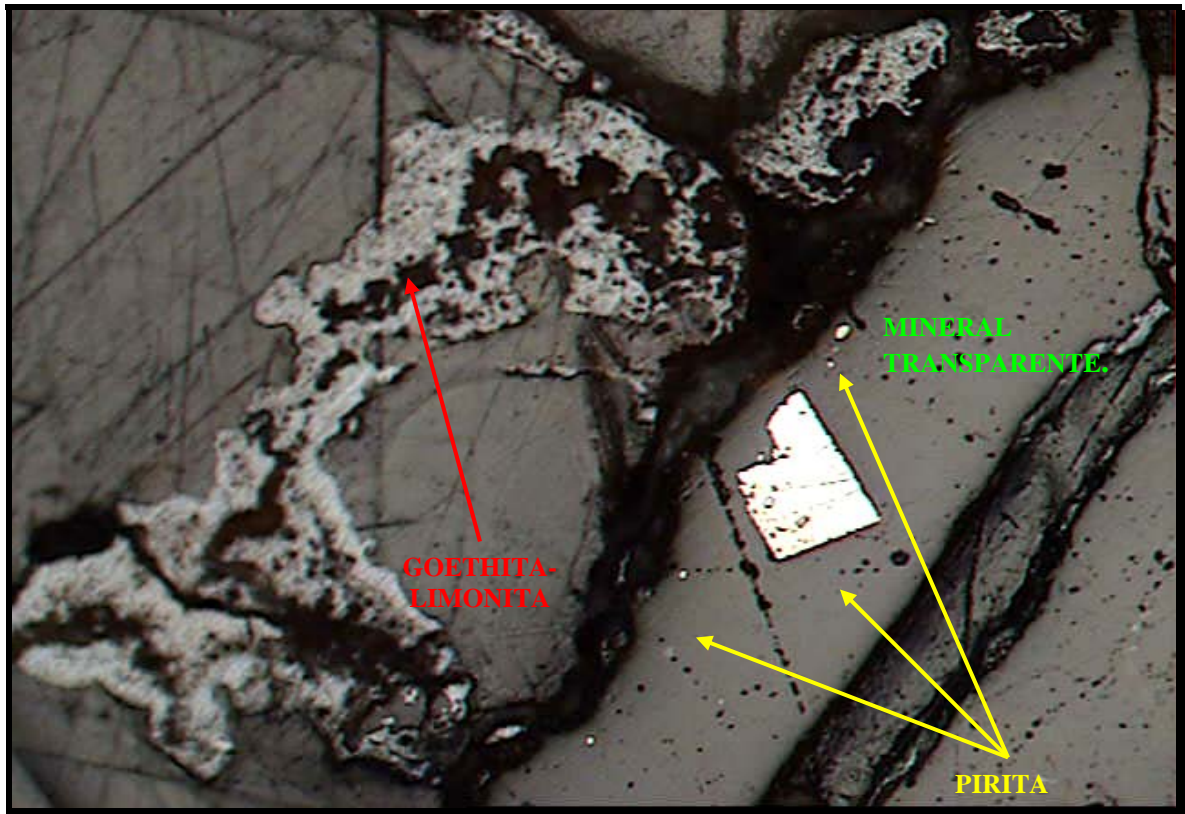


Fig. 28 Fotomicrografía 01

Escala Gráfica: 190  $\mu\text{m}$ .

Fotomicrografía número 01 (Fig. 28): Campo de la muestra sin número. Se observan cristales de pirita diseminados en mineral transparente sin alteración por óxidos, y a la izquierda una zona con goethita-limonita asociado a mineral transparente.

FOTOMICROGRAFÍA:

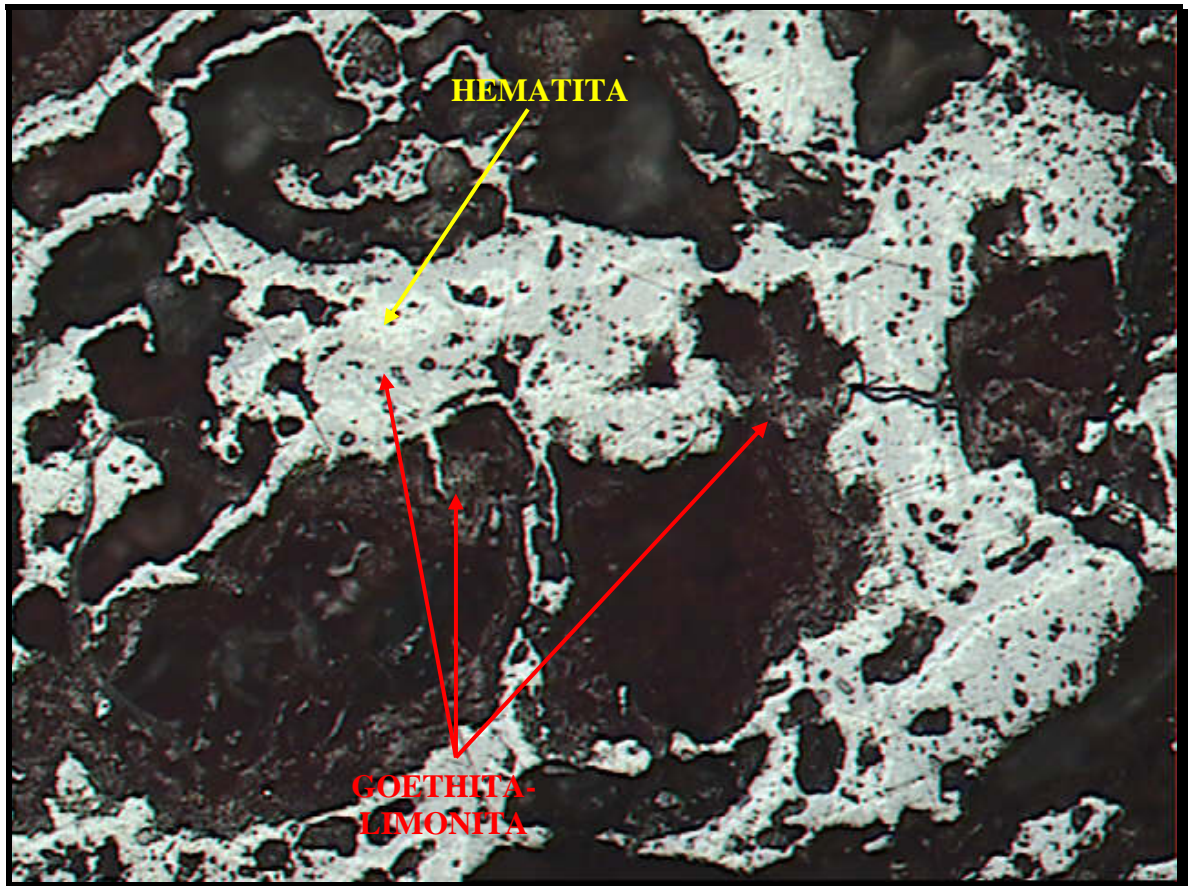


Fig. 29 Fotomicrografía 02

Escala Gráfica: 190  $\mu$ m.

Fotomicrografía número 02: Campo de la muestra sin número. Se observa un mosaico mineral de hematita con reemplazamiento parcial de goethita-limonita, asociados a mineral transparente.

FOTOMICROGRAFÍA:

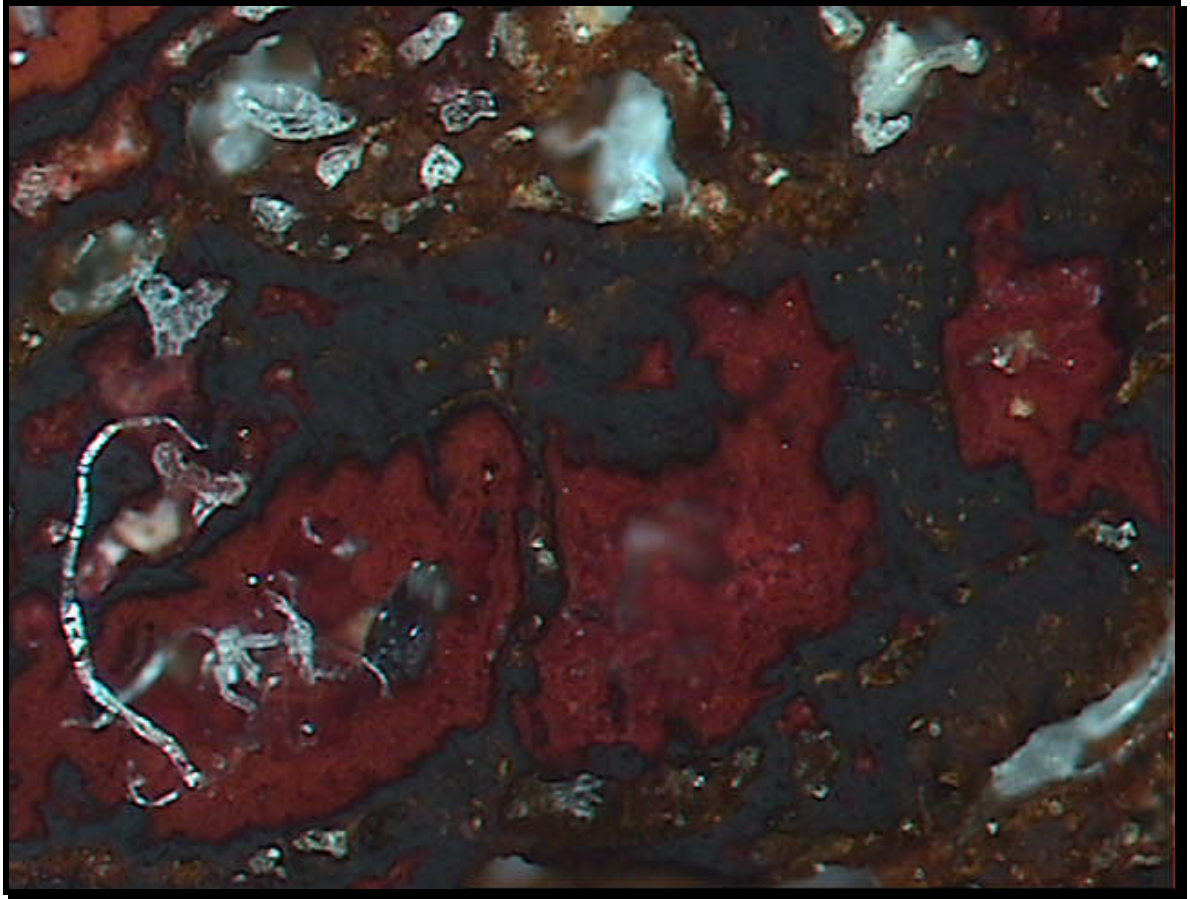


Fig. 30 Fotomicrografía 03

Escala Gráfica: 190  $\mu\text{m}$ .

Fotomicrografía número 03: Campo de la muestra sin número. Misma zona anterior (misma fotomicrografía, tomada con nícoles cruzados), donde se aprecian las reflexiones internas de la goethita-limonita y la relación textural que guarda con la hematita y mineral transparente.

FOTOMICROGRAFÍA:

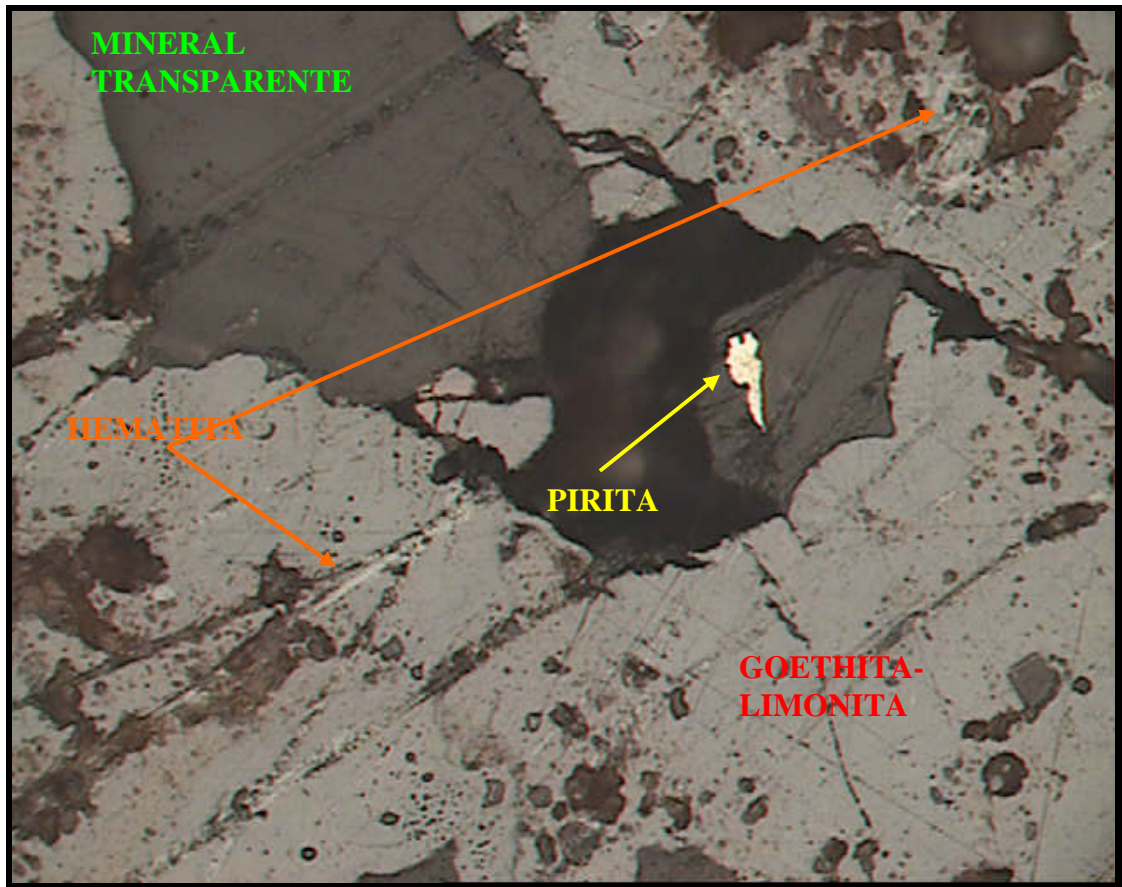


Fig. 31 Fotomicrografía 04

Escala Gráfica: 190  $\mu\text{m}$ .

Fotomicrografía número 04: Campo de la muestra sin número. Se observa un cristal anhedral de pirita diseminado en minerales transparentes, bordeados por un mar de goethita-limonita (evidentes y marcadas reflexiones internas) y escasa hematita, restringida por el reemplazamiento parcial de goethita-limonita.

FOTOMICROGRAFÍA:

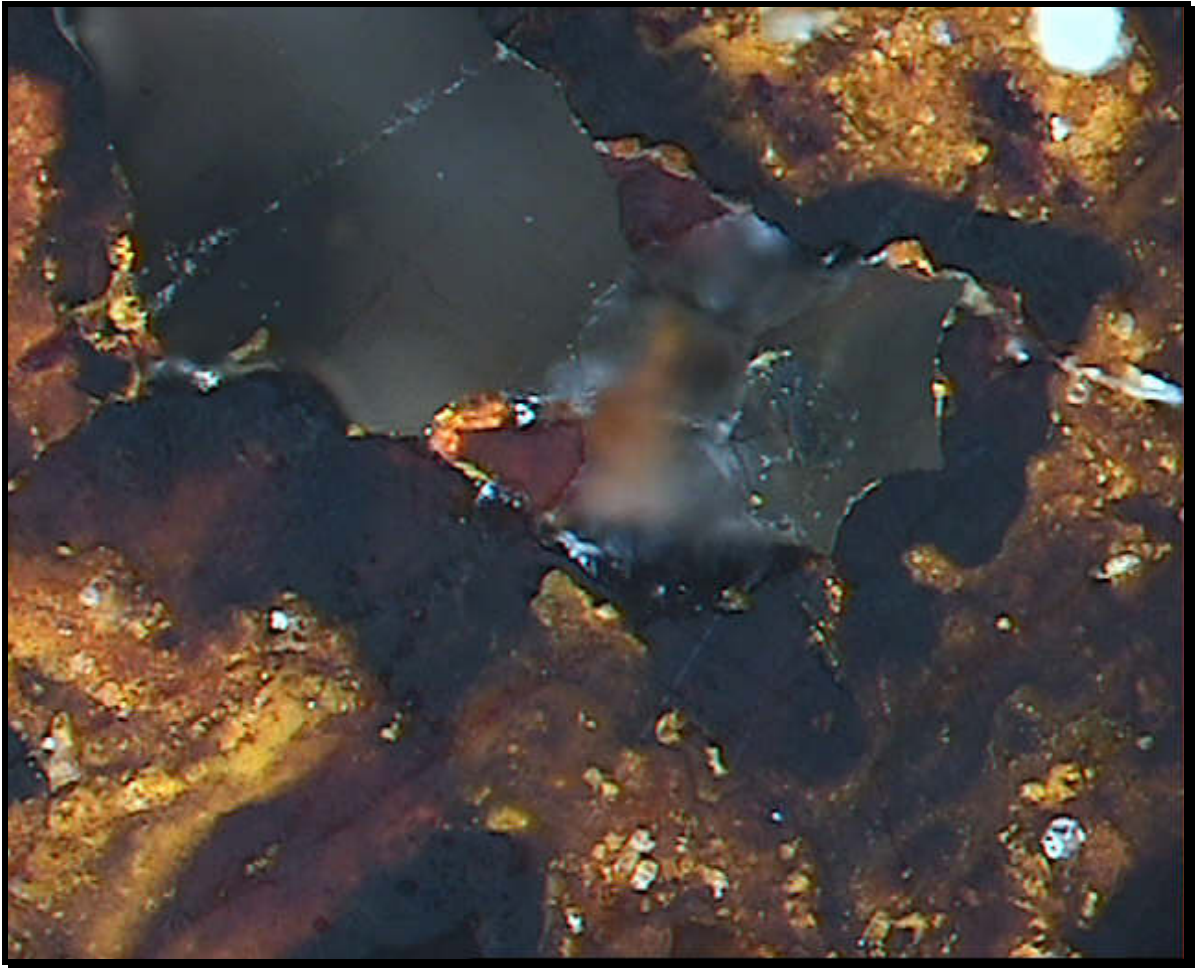


Fig. 32 Fotomicrografía 05

Escala Gráfica: 190  $\mu\text{m}$ .

Fotomicrografía número 05: Campo de la muestra sin número. Es una fotomicrografía de la misma zona, tomada con nícoles cruzados para apreciar detalle de distribución de las fases.



### **III.4 Resultados de muestreo**

Se realizó un muestreo de esquirla de roca, en las estructuras expuestas en las obras mineras disponibles en las Minas, Gachupines, San Pedro y San Juan, definiendo líneas de muestreo verticales en las tablas derecha e izquierda de las obras, debido a que la mayoría de las estructuras mineralizadas son de buzamiento de bajo ángulo. Se buscó separar en zonas bien definidas, la correspondiente a las vetas, a los ramaleos, y una muestra adicional en cada línea en roca encajonante no mineralizada ya sea al bajo o al alto de las vetas, según quedó expuesta la estructura en cada obra.

Los resultados del muestreo realizado se muestran en las tablas siguientes donde se resaltan los valores considerados de interés, y a pesar de que no muestran regularidad en su comportamiento, representan contenidos de interés que pueden servir para ubicar áreas susceptibles de extraer de manera selectiva que permita incrementar los contenidos de oro.

Cabe resaltar que también se considera adecuado realizar un chequeo de ensayos, a fin de corroborar los aquí presentados y evitar variaciones de valores por cuestión de laboratorio o disminuir el efecto pepita, por tratarse de oro libre supergénico, de acuerdo al estudio microscópico de caracterización mineralógica realizado.

A continuación se presentan las tablas 2, 3, 4 y 5 que contienen los resultados del muestreo.





TABLA 2 Muestreo mina Gachupines

<b>LINEA</b>	<b>No. MUESTRA</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>Au (g/ton)</b>	<b>Ag (g/ton)</b>
1	M1	0.40	0.0	
	M2	0.40	10.9	5.4
	M3	0.70	0.0	0.1
2	M1	0.50	0.0	
	M2	0.50	0.0	6.8
	M3	0.50	1.0	0.10
3	M1	0.60	1.0	0.10
	M2	0.40	0.0	
	M3	0.60	0.0	6.64

TABLA 3 Muestreo mina San Pedro

<b>LINEA</b>	<b>No. MUESTRA</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>Au (g/ton)</b>	<b>Ag (g/ton)</b>
1	M1	0.80	0.00	0.00
	M2	0.20	0.2	10.2
	M3	1.20	14.0	0.00
2	M1	0.70	0.0	
	M2	0.50	0.8	17.2
	M3	0.80	0.00	2.4
3	M1	0.50	8.4	
	M2	0.25	8.2	
	M3	0.60	9.2	13.92



TABLA 4 Muestreo mina San Juan

<b>LINEA</b>	<b>No. MUESTRA</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>Au (g/ton)</b>	<b>Ag (g/ton)</b>
1	M1	0.40	16.1	
	M2	0.80	0.0	0.0
2	M1	0.30	30.6	7.8
	M2	1.20	0.8	1
3	M1	0.40	5.4	7.4
	M2	0.50	28.6	29.6
	M3	0.60	0.0	0.0

Tabla 5 Muestras Especiales

<b>LINEA</b>	<b>No. MUESTRA</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>Au (g/ton)</b>	<b>Ag (g/ton)</b>
ESPECIAL 1 GACHUPINES	M1	----	7.0	11.96
ESPECIAL 2 GACHUPINES	M1	----	7.8	0.10

Nota: Los valores resultantes del ensaye del muestreo de la mina Gachupines, resultaron sumamente bajos, salvo en una muestra, a diferencia de dos muestras especiales tomadas en dos catas sobre el camino de acceso a la mina, pero considerando la cercanía de estas dos muestras especiales con la proyección de la estructura expuesta en las obras mineras, se considera adecuado, por una parte realizar un chequeo de los ensayes de las muestras de Gachupines con base en los testigos de las mismas y realizar un muestreo más detallado en las catas donde se tomaron las muestras especiales.



De lo anterior se puede concluir que:

El depósito mineral es del tipo de enriquecimiento supergénico, con valores de oro que se presenta en forma libre o asociado a minerales de oxidación (hematita, goethita-limonita), en estructuras tipo veta emplazadas en fracturas y fallas de bajo ángulo sensiblemente paralelas a la foliación del paquete de rocas metamórficas que afloran en al área de estudio.

- Para determinar la geometría del los cuerpos minerales y poder realizar una estimación de reservas, así como una adecuada correlación y proyección de las estructuras, es prioritario realizar un levantamiento topográfico del área de estudio tanto superficial como de las obras mineras disponibles con el propósito de conformar una cartografía geológica detallada y una interpretación estructural de las vetas y ramaleos, que permita generar un modelo del yacimiento y dimensionarlo adecuadamente. Adicionalmente se sugiere iniciar la extracción en las zonas con valores indicados por el muestreo y fortalecer este muestreo con toma de muestras adicionales que permitan determinar un patrón de comportamiento de los valores y capitalizar las operaciones para desarrollos a corto y mediano plazo para cubicación de reservas.
- El comportamiento del oro en este tipo de yacimientos a pesar de ser errático, genera un zoneamiento bien definido por el alcance de la zona de oxidación, por lo que el potencial estimado para este proyecto es alto, y considerando una operación de bajo volumen pero selectiva, permitirá disponer de mineral con valores importantes de oro que garantice la rentabilidad del proyecto de explotación. Por otra parte los valores de oro que arrojó el muestreo de orientación realizado, a pesar de su irregularidad se consideran como buenos indicadores y se sugiere realizar una chequeo de ensaye para evitar posibles errores de laboratorio.



- Como resultado del estudio de caracterización mineralógica se determina que las partículas de oro se presentan en tamaños de 80 a 350  $\mu\text{m}$ , como mineral libre o combinado con óxido de hierro.
- El disponer de diversos lugares de extracción garantiza la disponibilidad de mineral para la concentración gravimétrica que redunde en una recuperación adecuada de valores de oro.
- Sin embargo, para confirmar lo anterior, se requiere efectuar un estudio de factibilidad basado en la cubicación de reservas que antes se menciona, y en los precios actuales del oro, y sus proyecciones a futuro lo cual permitirá manejar márgenes adecuados de recuperación de la inversión, además de promover este proyecto como detonante de la actividad minera en la región.



## IV ESTUDIO METALÚRGICO

### IV.1 Criterio de Concentración Gravimétrica

Conociendo las características del mineral en estudio, los resultados de la caracterización mineralógica y de acuerdo con los principios que sigue la concentración gravimétrica se decidió hacer pruebas con el mineral en Mesa Wilfley y en Concentrador Knelson, con el fin de conocer la recuperación de oro en ambos métodos y hacer una comparación entre ellos.

Haciendo referencia a los principios de Concentración Gravimétrica que se mencionan en el marco teórico, se usó la fórmula del criterio de concentración gravimétrica.

Teniendo el valor del criterio de concentración, se conoció que tipo de concentración es posible con el mineral en estudio.

Como ya sabemos la fórmula es:

$$X = \frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

$X$  = criterio de concentración.

$D_h$  = Densidad relativa del mineral pesado.

$D_f$  = Densidad relativa del medio fluido.

$D_l$  = Densidad relativa del mineral ligero.

En términos generales cuando el cociente es mayor a 2.5, ya sea positivo o negativo, entonces la separación gravimétrica es relativamente fácil. A medida que el valor del cociente disminuye la eficiencia de la separación



disminuye; a menos de 1.25 la concentración de gravedad por lo general no es comercialmente posible.

Para el caso del mineral en estudio se tiene que:

$$X = .?$$

$$Dh = 5.3$$

$$Df = 1$$

$$DI = 2.6$$

$$X = \frac{5.3 - 1}{2.6 - 1} = 2.68$$

El criterio de concentración **X** que se tiene es de **2.68** por lo que la concentración por gravedad es relativamente fácil ya que el coeficiente es mayor a 2.5

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la preparación de las muestras, parámetros de operación óptimos en la Mesa Wilfley para cada muestra, los parámetros utilizados para las pruebas en el concentrador Knelson y el balance metalúrgico para cada una de las pruebas realizadas.

- ✚ **Mina San Juan**
- ✚ **Mina San Pedro**
- ✚ **Mina Gachupines**



## IV.2 Procedimiento para la toma de Muestras Representativas de Cabezas.

En un principio se procedió a homogeneizar cada muestra empleando el método de Cono-Cuarteo, considerando la reducción en el tamaño de la muestra conforme se realizó cada cuarteo.

Posteriormente, ya con el material a – 40 mallas se procedió a tomar de cada una de las minas una muestra representativa de 100 gramos, para enviar a análisis y con ello obtener la ley de cabezas.

En la tabla 6 se muestran los resultados de las leyes de cabezas

TABLA 6 Leyes de cabezas

Identificación	Leyes de Cabezas (g/t)	
	Ag	Au
<b>Mina San Juan</b>	44.60	7.80
<b>Mina San Pedro</b>	4.72	6.30
<b>Mina Gachupines</b>	43.18	20.00

## IV.3 Clasificación Granulométrica

De acuerdo a la caracterización mineralógica el tamaño de liberación de partículas de oro se encuentra en el rango de tamaño de 80 a 350 $\mu$ m; por lo que antes de pasar a las pruebas de concentración en Mesa Wilfley y en Concentrador Knelson se realizaron clasificaciones granulométricas a las muestras de Mina San Juan, Mina San Pedro y Mina Gachupines. Las muestras se pasaron por siete tamices con tamaños de mallas de 20, 50, 80, 100, 150, 200 y 325. Ya que se tenía la muestra en los tamices, éstos se colocaron en un Ro Tap por un tiempo de 15 minutos. Los tamices se



colocaron en el orden mencionado anteriormente, después de realizarse la clasificación se pesó la cantidad de mineral retenido en cada una de las mallas, los resultados se muestran en las tablas 7, 8 y 9:

TABLA 7 Clasificación granulométrica mina San Juan

SAN JUAN							
malla	$\mu\text{m}$	pesos (g)	% peso	(%)acum	(%)acum (-)	log acum. (-)	log $\mu\text{m}$
+20#	850	0	0.000	0.000	100	2.000	2.929
-20# +50#	300	260.60	21.371	21.371	100	2.000	2.477
-50# +80#	180	303.60	24.897	46.269	78.629	1.896	2.255
-80# +100#	150	151.10	12.391	58.660	53.731	1.730	2.176
-100# +150#	106	56.00	4.592	63.252	41.340	1.616	2.025
-150# +200#	75	128.00	10.497	73.749	36.748	1.565	1.875
-200# +325#	45	295.30	24.217	97.966	26.251	1.419	1.653
-325#	45	24.80	2.034	100	2.034	0.308	1.653
SUMA		1219.40	100		0,000		

TABLA 8 Clasificación granulométrica mina San Pedro

SAN PEDRO							
malla	$\mu\text{m}$	pesos (g)	% peso	peso acum	(%)acum (-)	log acum (-)	log $\mu\text{m}$
+20#	850	0.200	0.020	0.020	100	2.000	2.929
-20# +50#	300	581.500	58.150	58.170	99.980	2.000	2.477
-50# +80#	180	133.300	13.330	71.500	41.830	1.621	2.255
-80# +100#	150	85.500	8.550	80.050	28.500	1.455	2.176
-100# +150#	106	37.600	3.760	83.810	19.950	1.300	2.025
-150# +200#	75	48.600	4.860	88.670	16.190	1.209	1.875
-200# +325#	45	94.100	9.410	98.080	11.330	1.054	1.653
-325#	45	19.200	1.920	100.000	1.920	0.283	1.653
SUMA		1000.00	100		0.000		

TABLA 9 Clasificación granulométrica mina Gachupines

GACHUPINES							
Malla	$\mu\text{m}$	pesos (g)	% peso	Peso acum	(%)acum (-)	log acum (-)	log $\mu\text{m}$
+20#	850	0	0.000	0.000	100	2.000	2.929
-20# +50#	300	485.40	48.540	48.540	100.000	2.000	2.477
-50# +80#	180	185.90	18.590	67.130	51.460	1.711	2.255
-80# +100#	150	92.90	9.290	76.420	32.870	1.517	2.176
-100# +150#	106	44.70	4.470	80.890	23.580	1.373	2.025
-150# +200#	75	61.80	6.180	87.070	19.110	1.281	1.875
-200# +325#	45	107.80	10.780	97.850	12.930	1.112	1.653
-325#	45	21.50	2.150	100.000	2.150	0.332	1.653
SUMA		1000.00	100		0,000		





Con los Resultados obtenidos en las tablas se graficó en hojas logarítmicas el peso acumulado negativo y el tamaño de partículas. Con esto se obtuvo el  $F_{80}$  de cada mineral. El  $F_{80}$  es el tamaño de alimentación de partícula al 80% del acumulado, es decir, indica a que tamaño está el 80% del mineral en la alimentación.

Las gráficas con las que se conoció este dato se muestran en las Figs 33, 34 y 35.

Este dato es útil para saber si se tiene el tamaño de liberación de partícula necesario para las muestras que se van a concentrar.

El  $F_{80}$  obtenido para cada muestra es el siguiente:

- Mina San Juan:  
 $F_{80}= 190.5 \mu\text{m}$   
Aprox 75#
- Mina San Pedro:  
 $F_{80}=239.8 \mu\text{m}$   
Aprox 60#
- Mina Gapuchines  
 $F_{80}=251.1 \mu\text{m}$   
Aprox 60#



Fig. 33 GRÁFICA LOGARÍTMICA DE 2 CICLOS POR 1 CICLO PARA  
OBTENCIÓN DEL 80% DEL ACUMULADO DE LA ALIMENTACIÓN DE MINA  
SAN JUAN

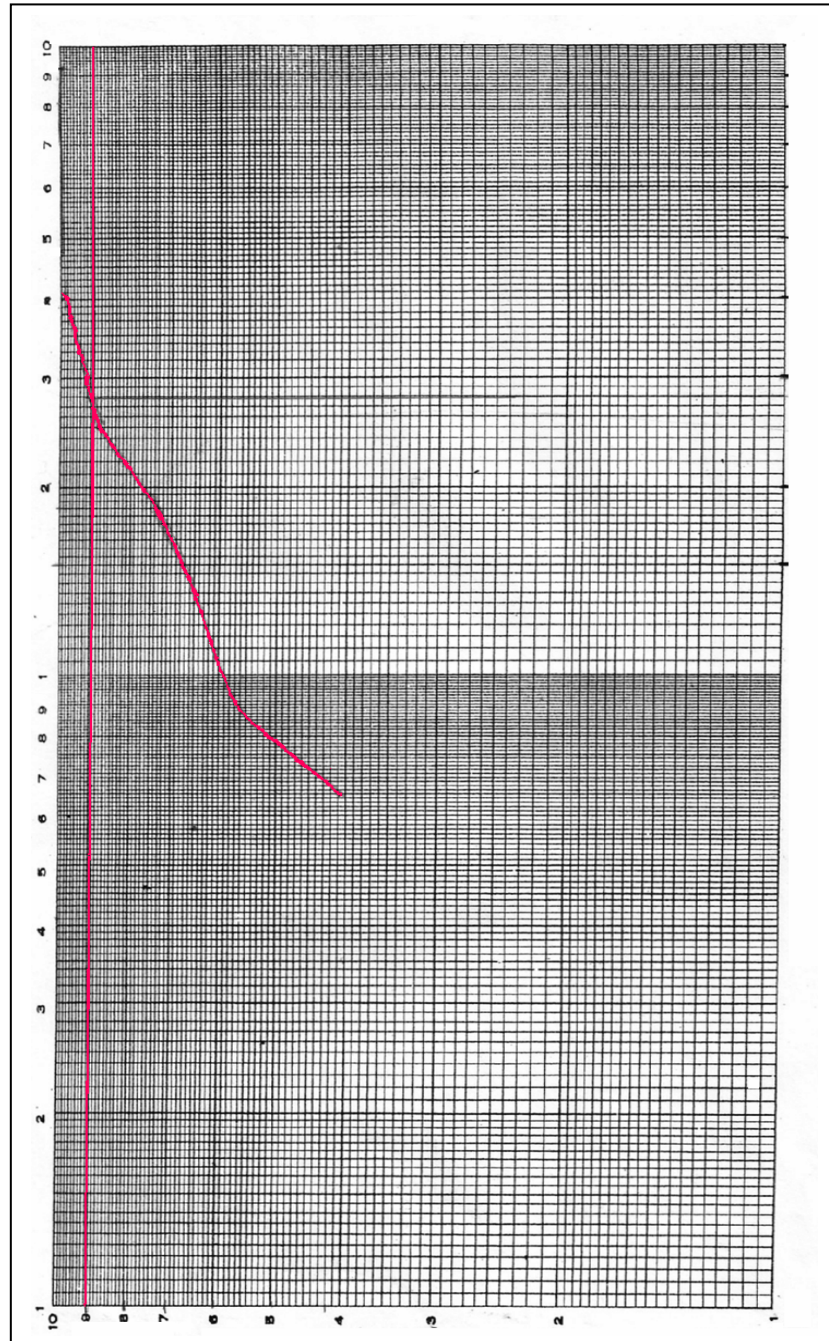




Fig. 34 GRÁFICA LOGARÍTMICA DE 2 CICLOS POR 1 CICLO PARA  
OBTENCIÓN DEL 80% DEL ACUMULADO DE LA ALIMENTACIÓN DE MINA  
SAN PEDRO

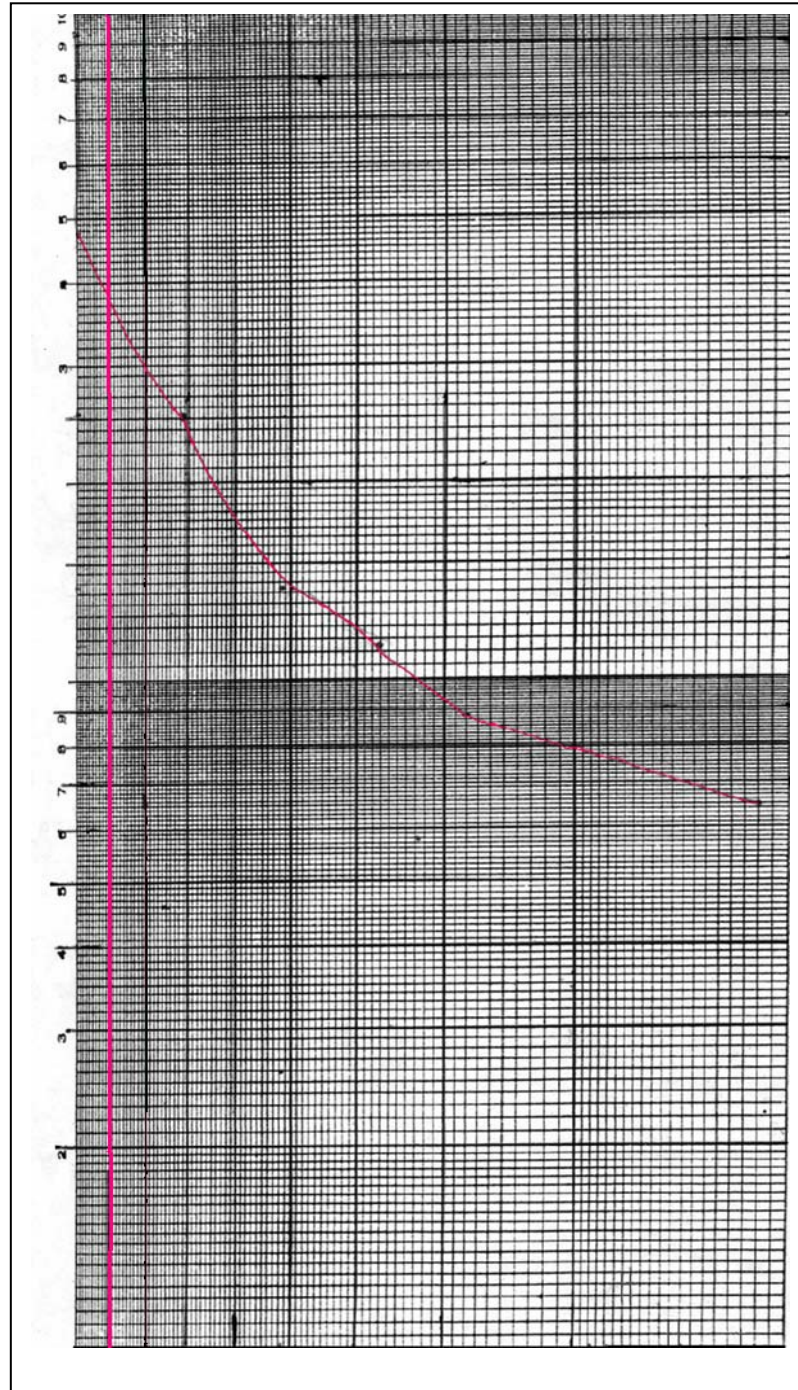
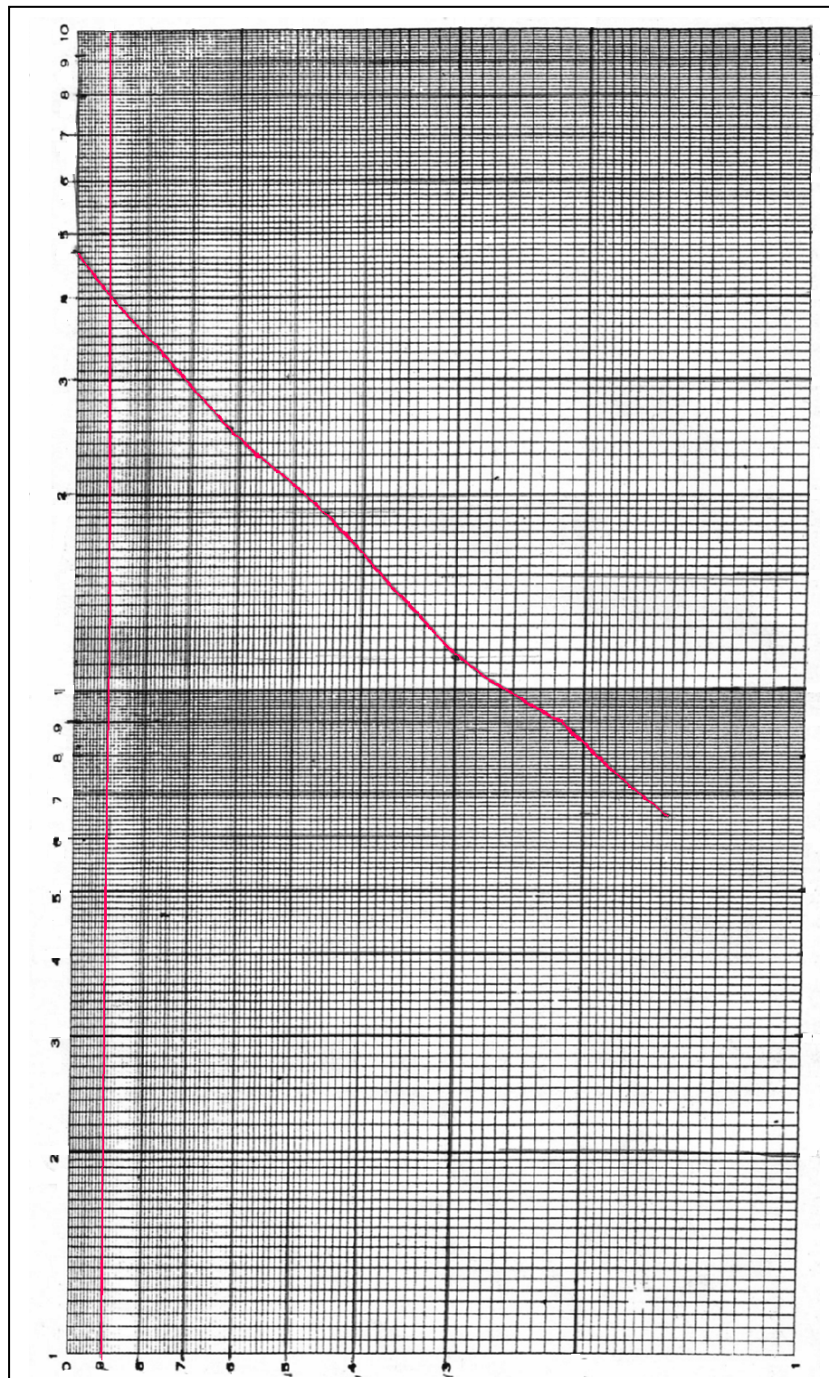




Fig. 35 GRÁFICA LOGARÍTMICA DE 2 CICLOS POR 1 CICLO PARA  
OBTENCIÓN DEL 80% DEL ACUMULADO DE LA ALIMENTACIÓN DE MINA  
GACHUPINES





#### IV.4 Pruebas en Mesa Wilfley.

En este proceso de concentración el movimiento de las partículas tiene lugar en una capa delgada de flujo de agua, utilizando una agitación constante, así como una pequeña inclinación de la mesa para obtener una separación adecuada.

Las pruebas se realizaron en una mesa hidráulica sacudidora tipo Wilfley estándar (Fig. 36), con las siguientes características de diseño:

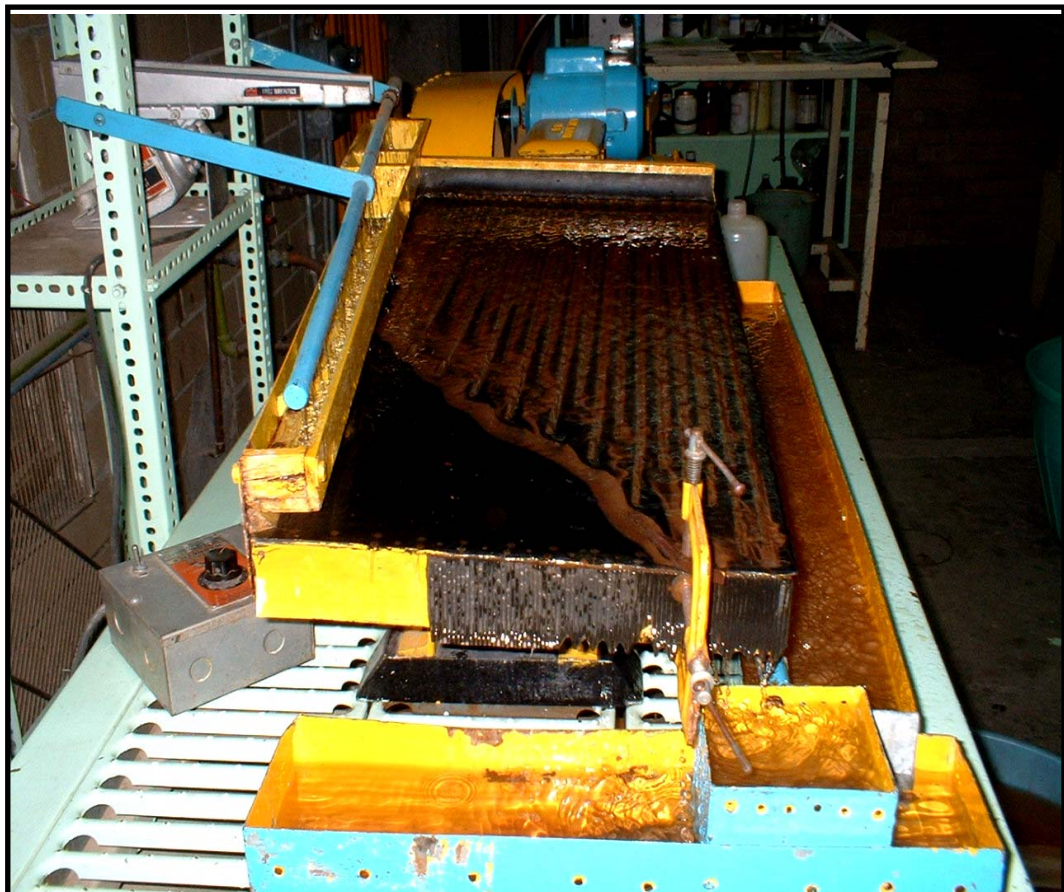


Fig. 36 Mesa Wilfley empleada



- Distancia entre rifle y rifle = 1.3 cm
- Altura máxima de cada rifle = 3 mm (que disminuye gradualmente conforme se acerca a la zona de descarga)
- Dimensiones de la mesa: Largo = 1.02 m y Ancho = 0.485 m en la sección de alimentación y de 0.365 m en la sección de descarga

#### **IV.4.1 Parámetros para la experimentación**

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la experimentación son:

- Velocidad de agitación
- Inclinación de la mesa
- Tiempo de alimentación
- Tiempo de proceso
- Velocidad de Alimentación
- Flujo de Agua empleado para la mesa
- Posición del cortador

Para poder establecer los parámetros óptimos de operación del equipo, para cada lote se realizaron pruebas de orientación con 100 gramos de mineral.

Ya establecidos los parámetros se efectuaron las pruebas empleando 1 kilogramo de mineral.



## 1.- Mina San Juan.

Los parámetros óptimos empleados para esta prueba fueron:

*Velocidad de Agitación.* Se mantuvo constante a 250 rpm, tomando la lectura en la polea que conecta con la banda que ejerce el movimiento de la mesa, empleando un tacómetro digital.

*Inclinación de la Mesa.* El ángulo empleado fue de 3 grados y se midió empleando un clinómetro.

*Tiempo de Alimentación.* Es el lapso en el cual se empieza a alimentar el material y hasta que se termina. El tiempo fue de 130 minutos y la cantidad alimentada de mineral fue de 1 kilogramo.

*Tiempo de Proceso.* Se toma como la duración de la prueba, que en este caso fue de 139 minutos y 30 segundos.

*Velocidad de Alimentación.* Se llevó a cabo por medio de un alimentador vibratorio magnético de velocidad variable.

*Flujo de agua empleado para la Mesa.* Se registro con ayuda de un flujómetro y se mantuvo constante a 3.5294 l/min (0.9325 gpm).

*Posición del cortador.* El cortador empleado para dividir el concentrado y los medios se colocó entre el 3° y 5° rifle a 45° de inclinación, como se observa en la Fig. 37



Fig. 37. Posición del cortador en la prueba para la Mina San Juan.

En la Fig. 37 se puede observar que el horizonte de separación bien determinado no se presenta como en las pruebas de Mina San Pedro y Gachupines.

## **2.- Mina San Pedro.**

Los parámetros óptimos empleados para esta prueba fueron:

*Velocidad de Agitación.* Se mantuvo constante a 250 rpm, tomando la lectura en la polea que conecta con la banda que ejerce el movimiento de la mesa, empleando un tacómetro digital.

*Inclinación de la Mesa.* El ángulo empleado fue de 3 grados y se midió empleando un clinómetro.

*Tiempo de Alimentación.* Es el lapso en el cual se empieza a alimentar el material y hasta que se termina. El tiempo fue de 111 minutos y la cantidad alimentada de mineral fue de 1 kilogramo.





*Tiempo de Proceso.* Se toma como la duración de la prueba, que en este caso fue de 122 minutos.

*Velocidad de Alimentación.* Se llevó a cabo por medio de un alimentador vibratorio magnético de velocidad variable.

*Flujo de agua empleado para la Mesa.* Se registró con ayuda de un flujómetro y se mantuvo constante a 3.5294 l/min (0.9325 gpm).

*Posición del cortador.* El cortador empleado para dividir el concentrado y los medios se colocó entre el 3° y 5° rifle a 45° de inclinación, como se observa en la Fig. 38, por otro lado también en esta Figura se observan tres horizontes: el de la extrema izquierda (concentrado, que presenta un color ocre oscuro), los intermedios (medios) que presentan un color claro y el de la extrema derecha (colas de color beige claro).



Fig. 38 Posición del cortador en la prueba para la Mina San Pedro.

### **3.- Mina Gachupines.**

Los parámetros óptimos empleados para esta prueba fueron:

*Velocidad de Agitación.* Se mantuvo constante a 250 rpm, tomando la lectura en la polea que conecta con la banda que ejerce el movimiento de la mesa, empleando un tacómetro digital.



*Inclinación de la Mesa.* El ángulo empleado fue de 3 grados y se midió empleando un clinómetro.

*Tiempo de Alimentación.* Es el lapso en el cual se empieza a alimentar el material y hasta que se termina. El tiempo fue de 126 minutos y la cantidad alimentada de mineral fue de 1 kilogramo.

*Tiempo de Proceso.* Se toma como la duración de la prueba, que en este caso fue de 137 minutos.

*Velocidad de Alimentación.* Se llevó a cabo por medio de un alimentador vibratorio magnético de velocidad variable.

*Flujo de agua empleado para la Mesa.* Se registró con ayuda de un flujómetro y se mantuvo constante a 3.5294 l/min (0.9325 gpm).

*Posición del cortador.* El cortador empleado para dividir el concentrado y los medios se colocó entre el 3° y 5° rifle a 45° de inclinación, como se observa en la Fig. 39

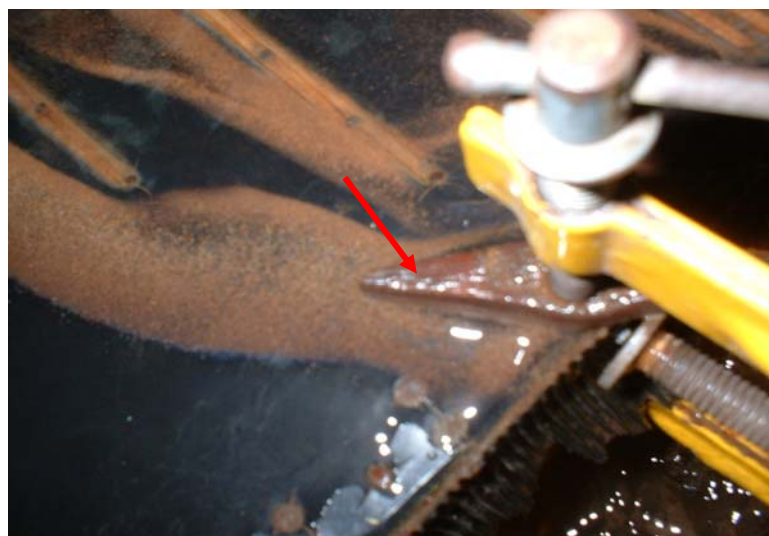


Fig. 39 Posición del cortador en la prueba para la Mina Gachupines.



En la Fig. 40, se pueden observar tres horizontes, el de la extrema izquierda es el que contiene al concentrado (rojo ocre oscuro y una pequeña línea marcada del lado izquierdo de color amarillo metálico), en el centro se observa una zona de color beige (medios) y en el extremo derecho se observa un horizonte de color rojo ocre más intenso (colas).



Fig. 40 Posición del cortador en la prueba para la Mina Gachupines en donde se observan los tres horizontes mencionados.

Después de realizar las pruebas se mandaron a ensayar las muestras obtenidas de concentrados, medios y colas. Este análisis fue realizado en el Laboratorio de Metalurgia del Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

TABLA 10 Resultados de las muestras de concentrados medios y colas, mina San Juan

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)	
		Ag	Au
<b>MINA SAN JUAN</b>			
CABEZAS		44,60	7,80
MEDIOS 1	437,70	32,50	1,40
MEDIOS 2	92,20	61,20	17,50
COLAS	118,30	51,30	6,00
CONCENTRADO	211,80	68,50	<b>19,30</b>
Σ	<b>860,00</b>		



TABLA 11 Resultados de las muestras de concentrados medios y colas, mina San Juan

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)	
		Ag	Au
<b>MINA SAN PEDRO</b>			
CABEZAS		4,72	6,30
MEDIOS 1	405,50	7,50	1,80
MEDIOS 2	53,00	22,10	6,90
COLAS	69,20	19,50	1,60
CONCENTRADO	384,60	0,00	<b>11,80</b>
$\Sigma$	<b>912,30</b>		

TABLA 12 Resultados de las muestras de concentrados medios y colas, mina San Juan

TABLA 12			
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)	
		Ag	Au
<b>MINA GACHUPINES</b>			
CABEZAS		43,18	20,00
MEDIOS 1	313,20	38,10	11,20
MEDIOS 2	69,00	53,40	12,00
COLAS	111,00	44,40	7,80
CONCENTRADO	376,40	43,18	<b>38,80</b>
$\Sigma$	<b>869,60</b>		

Una vez que se tuvieron los resultados de los análisis se realizaron los balances metalúrgicos con el fin de obtener las recuperaciones obtenidas para cada prueba: Mina San Juan Mina San Pedro y Mina Gachupines.

Teniendo los balances metalúrgicos realizados éstos se analizan, y se llega a conclusiones y recomendaciones.

Los balances metalúrgicos obtenidos para cada prueba se presentan en las tablas 13, 14 y 15, (Págs, 84 y 85)



## IV. 5 Pruebas en Concentrador Knelson

Este proceso de concentración está basado en dos principios básicos:

- Aumento de la fuerza gravitacional
- Proceso patentado de fluidización.

El concentrador se aplica comúnmente como principio primario de recuperación de metales preciosos en circuitos de molienda y plantas de tratamiento de material aluvial.

Las pruebas se realizaron en un concentrador Knelson modelo KC-MD3 de 3 pulgadas de diámetro del cono que pertenece al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V. (Fig. 41)



Fig. 41 Concentrador Knelson Modelo KC MD-3 del CIDT

En condiciones normales de operación este procedimiento se logra en 2 minutos en un ambiente completamente seguro.



De acuerdo con el manual del concentrador Knelson se sabe que para tener una fluidificación óptima es necesario manejar una presión entre de 2-6 psi con una velocidad del rotor de 1460 rpm.

Los parámetros utilizados para la experimentación fueron los siguientes:

- Muestra de 1 kg
- Tiempo de prueba 2 min
- Velocidad del rotor 1460 rpm

#### **IV.4.2 Variables**

La única variable utilizada fue la presión, para cada caso (mineral de San Juan, San Pedro y Gachupines) se manejaron 3 diferentes presiones las cuales fueron: 2psi, 3psi y 4psi

El procedimiento seguido para la realización de las pruebas fue el siguiente:

Preparación del mineral: Se tomaron 3 muestras de 1 kg cada una, para el mineral de Mina San Juan, el mineral de Mina San Pedro y el de Mina Gachupines; cada muestra fue homogeneizada por el método de cono cuarteo.

Realización de las Pruebas: Una vez que se tuvieron preparadas las muestras se corrieron las pruebas, primero se hizo para el mineral de Mina San Juan, tomando una de las muestras se corrió la primera prueba a una presión de 2psi (Fig 42).

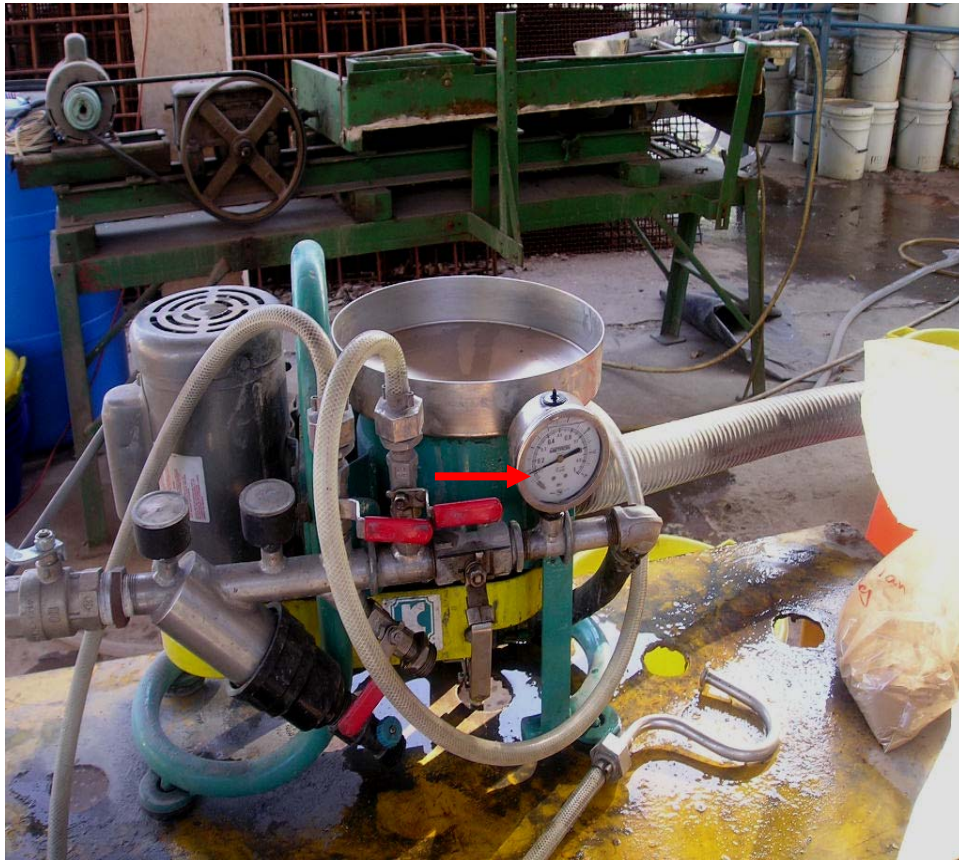


Fig. 42 Knelson a 2psi de presión para prueba Mina San Juan

El concentrado se queda en el cono (Fig. 43), mientras que las colas se descargan por una manguera hacia una cubeta (Fig. 44)



Fig. 43 Conc. en el cono



Fig. 44 descarga de las colas

El concentrado que está en el cono se vacía en una charola, para evitar que se quede concentrado dentro del cono éste se lava con una manguera que



tiene un doblé en forma de U (Fig. 45), quedando finalmente todo el concentrado dentro de la charola (Fig. 46).



La charola con el concentrado y la cubeta con las colas fueron etiquetadas cada una para después poder ser identificadas.



La misma metodología se siguió para correr las pruebas del mineral de Mina San Juan a 3psi y 4psi de presión.





Este procedimiento fue seguido también para el mineral de mina San Pedro y de Mina Gachupines habiéndose corrido en el concentrador Knelson un total de nueve pruebas

Todas las colas y los concentrados se dejaron sedimentar (Fig. 47), para después quitarles el resto de agua y secarlos en un horno, una vez secos los concentrados y las colas se tomaron los pesos de cada uno y se mandaron todas las muestras a análisis de laboratorio.



Fig. 49 sedimentación de concentrados y colas

Esto se hizo con el fin de tener las leyes de los concentrados y así poder realizar el balance metalúrgico y conocer las recuperaciones; pudiendo comparar los resultados y conocer a qué valor de presión se tiene una mejor recuperación de Au.

Los análisis de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Metalurgia del Depto. de Explotación de Minas y Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

Los Balances Metalúrgicos de las pruebas en concentrador Knelson se muestran en las Tablas 16 – 24 (Págs 86, 87 y 88)



## V ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los balances metalúrgicos para cada muestra y el análisis de los resultados obtenidos:

### V.1 Análisis de la Experimentación en Mesa Wilfley

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>MINA SAN JUAN</b>							
CABEZAS		7.80	44.60	0.00	0.00	0.00	0.00
MEDIOS 1	437.70	1.40	32.50	612.78	14225.25	8.72	35.17
MEDIOS 2	92.20	17.50	61.20	1613.50	5642.64	22.97	13.95
COLAS	118.30	6.00	51.30	709.80	6068.79	10.11	15.01
CONCENTRADO	211.80	<b>19.30</b>	68.50	4087.74	14508.30	<b>58.20</b>	35.87
Σ	<b>860.00</b>			<b>7023.82</b>	<b>40.444,98</b>	<b>100</b>	<b>100.00</b>
Ley Cabezas Calc.		<b>8.17</b>	<b>40.47</b>				

En la tabla 13 se puede ver el balance para la muestra de mina San Juan, aquí se observa que se tiene una mayor ley de plata en relación con las otras dos minas, y que la ley de oro del concentrado (19.30 g/t) es alta pero comparada con la ley de la Mina Gachupines (38.80 g/t) sería casi la mitad

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>MINA SAN PEDRO</b>							
CABEZAS		6.30	4.72	0,00	0.00	0,00	0.00
MEDIOS 1	405.50	1.80	7.50	729.90	3041.25	12.71	54.68
MEDIOS 2	53.00	6.90	22.10	365.70	1171.30	6.37	21.06
COLAS	69.20	1.60	19.50	110.72	1349.40	1.93	24.26
CONCENTRADO	384.60	<b>11.80</b>	0.00	4538.28	0.00	<b>79.00</b>	0.00
Σ	<b>912.30</b>			<b>5744.60</b>	<b>5561.95</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
Ley Cabezas Calc.		<b>6.30</b>	<b>4.81</b>				

En la tabla 14 se muestra el balance para la muestra Mina San Pedro y se ve claramente que es la que presentó una menor ley de oro tanto en cabezas



(6.3 g/t) como en el concentrado obtenido (11.80 g/t). y que además las leyes de Ag en el concentrado son nulas.

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>MINA GACHUPINES</b>							
CABEZAS		20.00	43.18	0.00	0,00	0,00	0.00
MEDIOS 1	313.20	11.20	38.10	3507.84	11932.92	17.71	32.43
MEDIOS 2	69.00	12.00	53.40	828	3684.60	4.18	10.01
COLAS	111.00	7.80	44.40	865.8	4928.40	4.37	13.39
CONCENTRADO	376.40	<b>38.80</b>	43.18	14604.32	16252.95	<b>73.74</b>	44.17
Σ	<b>869.60</b>			<b>19805.96</b>	<b>36798.87</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
Ley Cabezas Calc.		<b>22,78</b>	<b>42.32</b>				

En la tabla 15 se puede observar de acuerdo a las pruebas experimentales y el balance metalúrgico que de las tres muestras, la que tiene un mayor contenido de oro es la de Mina Gachupines, en la cual se obtuvo un concentrado con ley de 38.80 g/t con una recuperación en oro del 73.74%. Aquí si hay valores de plata en el concentrado con una ley de 43.18 g/t pero es menor comparada con la ley de plata obtenida en el concentrado de mina San Juan

Es necesario considerar los factores de escalamiento, primero a nivel Planta Piloto y posteriormente a Nivel Industrial, si se desea procesar este mineral empleando la Concentración Gravimétrica en Mesa Wilfley.

Se recomienda considerar la realización de pruebas del mineral de Mina Gachupines empleando como equipo alternativo los Concentradores Knelson.



## V.2 Análisis de la Experimentación en Concentrador Knelson

TABLA 16 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson mina San Juan

PRESIÓN 2 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Mina San Juan		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>Cabezas</b>		7.80	44.60				
<b>Concentrado</b>	37.00	<b>60.33</b>	37.68	2232.21	1394.16	<b>42.22</b>	3.50
<b>Colas</b>	877.70	3.48	43.81	3054.40	38452.04	57.78	96.50
$\Sigma$	914.0			5286.61	39846.20	100.00	100.00

TABLA 17 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson mina San Juan

PRESION 3 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Mina San Juan		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>Cabezas</b>							
<b>Concentrado</b>	37.70	<b>79.69</b>	31.43	3004.31	1184.91	<b>56.93</b>	2.74
<b>Colas</b>	931.60	2.44	45.10	2273.10	42015.16	43.07	97.26
$\Sigma$	969.30			5277.42	43200.07	100.00	100.00

TABLA 18 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson mina San Juan

PRESIÓN 4 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Mina San Juan		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
<b>Cabezas</b>							
<b>Concentrado</b>	31.70	<b>105.60</b>	33.37	3347.52	1057.83	<b>77.85</b>	2.53
<b>Colas</b>	890.30	1.07	45.71	952.62	40695.61	22.15	97.47
$\Sigma$	922.00			4300.4	41753.44	100.00	100.00



TABLA 19 Balance Metalúrgico concentrador Knelson mina San Pedro

PRESIÓN 2psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Mina San Pedro							
Cabezas		6.30	4.72				
<b>Concentrado</b>	37.30	<b>138.33</b>	24.16	5159.71	901.17	<b>47.14</b>	3.41
Colas	852.00	6.79	29.99	5785.08	25551.48	52.86	96.59
$\Sigma$	889.30			10944.79	26452.65	100.00	100.00

TABLA 20 Balance Metalúrgico concentrador Knelson mina San Pedro

PRESIÓN 3 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Mina San Pedro							
Cabezas							
<b>Concentrado</b>	34.60	<b>176.64</b>	22.44	6111.74	776.42	<b>66.12</b>	2.86
Colas	872.40	3.59	30.19	3131.92	26337.76	33.88	97.14
$\Sigma$	907.00			9243.66	27114.18	100.00	100.00

TABLA 21 Balance Metalúrgico concentrador Knelson mina San Pedro

PRESIÓN 4 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Mina San Pedro							
Cabezas							
<b>Concentrado</b>	31.00	<b>197.45</b>	20.73	6120.95	642.63	<b>70.08</b>	2.40
Colas	877.00	2.98	29.79	2613.46	26125.83	29.92	97.60
$\Sigma$	908.00			8734.41	26768.46	100.00	100.00



TABLA 22 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson Mina

Gachupines

PRESIÓN 2psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Gachupines		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Cabezas		20.00	43.18				
<b>Concentrado</b>	46.00	<b>99.85</b>	160.33	4593.1	7375.18	<b>35.24</b>	20.57
Colas	819.40	10.30	34.76	8439.82	28482.34	64.76	79.43
$\Sigma$	865.40			13.032.92	35.857.52	100.00	100.00
TABLA 23 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson Mina Gachupines PRESIÓN 3 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Gachupines		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Cabezas							
<b>Concentrado</b>	48.20	<b>105.66</b>	67.12	5.092.81	3235.18	<b>27.67</b>	8.09
Colas	834.80	15.95	44.05	13.315.06	36772.94	72.33	91.91
$\Sigma$	883.00			18.407.87	40.008.12	100.00	100.00
TABLA 24 Balance Metalúrgico Concentrador Knelson Mina Gachupines PRESIÓN 4 psi							
IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	LEYES (g/t)		CONTENIDOS		DISTRIBUCIÓN (%)	
Gachupines		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Cabezas							
<b>Concentrado</b>	44.70	<b>146.28</b>	11.67	6538.72	521.65	<b>39.42</b>	1.26
Colas	869.30	11.56	47.14	10049.11	40.978.80	60.58	98.74
$\Sigma$	914.00			16587.82	41.500.45	100.00	100.00



Después de observar el balance metalúrgico (tablas 16-24) para cada una de las pruebas que se corrieron (Mina San Juan, Mina San Pedro y Mina Gachupines) se puede ver que:

A medida que se aumenta la presión se incrementa la ley de concentrado de Au, es decir a mayor presión se tienen una mayor ley y así mismo una mayor recuperación (tabla 25)

TABLA 25 Resultados de los concentrados de oro de las pruebas en concentrador Knelson para el mineral de mina San Juan, mina San Pedro y Mina Gachupines

	Presión (psi)	Leyes g/t Au	Recuperación
<b>Mina San Juan</b>	2	60,33	42,22
	3	79,69	56,93
	4	105,6	77,85
<b>Mina San Pedro</b>	2	138,33	47,14
	3	176,64	66,12
	4	197,45	70,08
<b>Mina Gachupines</b>	2	99,85	35,24
	3	105,66	27,67
	4	146,28	39,42

De las tablas 19 20 y 21 se puede ver que en el mineral de Mina San Pedro es en donde se tiene un mayor contenido de Au con una ley de 197.45 g/t y una recuperación del 70.8%, esto es en la prueba que se corrió a una presión de 4 psi.

Al igual que en la concentración en mesa Wilfley el mineral de Mina San Juan (tablas 16 17 y 18) sigue presentando los valores de oro más bajos 105.6 g/t comparado con el mineral de San Pedro 197.45 g/ton y el de Gachupines 146.28 g/ton estos valores son los que ese presentan cuando se usan 4 psi de



presión. Pero si se hace la comparación en las pruebas realizadas en a 2 y 3 psi de presión se observan los mismos resultados.

### V.3 Comparación entre las pruebas realizadas en Mesa Wilfley y concentrador Knelson

La comparación de los resultados entre la mesa Wilfley y el Concentrador Knelson se muestran en la tabla 26

TABLA 26

KNELSON	Presión	SAN JUAN		SAN PEDRO		GACHUPINES	
		PRUEBAS EN CONCENTRADOR KNELSON					
		Ley Conc.Au (g/ton)	Recuperación	Ley Conc.Au (g/ton)	Recuperación	Ley Conc.Au (g/ton)	Recuperación
	2 lb/pulg <sup>2</sup>	60,33	42,22	138,33	47,14	99,85	35,24
	3 lb/pulg <sup>2</sup>	79,69	56,93	176,64	66,12	105,66	27,67
	4 lb/pulg <sup>2</sup>	105,60	77,85	197,45	70,08	146,28	39,42
PRUEBAS EN MESA WILFLEY							
MESA WILFLEY		Ley Conc. Au (g/ton)	Recuperación	Ley Conc. Au (g/ton)	Recuperación	Ley Conc. Au (g/ton)	Recuperación
		19,30	58,20	11,80	79,00	38,80	73,74

Al hacer una comparación entre las pruebas realizadas en Mesa Wilfley y el Concentrador Knelson se puede observar que se obtienen mejores resultados en el concentrador Knelson, observando para los tres casos (San Juan, San Pedro y Gachupines) un mayor contenido con leyes mas altas y que conforme se aumenta la presión en el concentrador se aumenta también el porcentaje de recuperación





## **VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **VI.I CONCLUSIONES**

Al realizar experimentación en mesa Wilfley y en Concentrador Knelson se observó que se obtienen mayores valores de ley de Au en el concentrador Knelson. La diferencia es bastante grande, para el caso de mina San Juan, la ley del concentrado de oro obtenido en el Concentrador Knelson, es 7.8 veces más grande que la ley del concentrado en Mesa Wilfley, para la mina San Pedro, la ley del concentrado de oro obtenido en el Concentrador Knelson, es 16.73 veces mayor que la ley del concentrado en Mesa Wilfley, y para el caso de mina Gachupines, la ley del concentrado de oro obtenido en el Concentrador Knelson, es 3.7 veces más grande que la ley del concentrado en Mesa Wilfley; por lo que se puede concluir que para el caso de todas las muestras en estudio es mejor utilizar el concentrador Knelson.

Se observa que para las pruebas realizadas en la Mesa Wilfley el mineral en el que se tiene una mayor ley de Au es en el de Mina Gachupines, se esperaba el mismo resultado al realizar las pruebas en el concentrador Knelson; pero esto no sucedió, ya que el mineral que presentó mayor ley de Au al correr las pruebas en el concentrador Knelson fue el de mina San Pedro, por lo que se recomienda realizar más pruebas en mesa Wilfley y en el concentrador Knelson para hacer una segunda comparación de los resultados obtenidos y conocer a que se debe que se presenten resultados diferentes.

### **VI.II RECOMENDACIONES**

En lo que respecta a la mesa Wilfley se recomienda combinar la experimentación con el Jig; es decir hacer primero una concentración en el Jig y con el concentrado obtenido en esta prueba hacer una concentración en mesa Wilfley, con esto se buscará aumentar la ley del concentrado final



Si es posible, se recomienda hacer un estudio de la cantidad de Oro Recuperable por Gravedad ORG para cada uno de los casos (Mina San Juan, Mina San Pedro y Mina gachupines), con esto se puede conocer con que tamaño de granulometría se tienen las mejores recuperaciones en el Concentrador Knelson y así establecer el parámetro óptimo de tamaño para las pruebas

Se recomienda realizar pruebas en el Concentrador Knelson con mayor cantidad de mineral en la alimentación (mínimo 3 Kg en lugar de 1), para poder realizar limpias y con ello aumentar la ley del concentrado.



## BIBLIOGRAFIA POR ORDEN ALFABÈTICO:

### LIBROS

- B.A. Wills; *Tecnología del Procesamiento de Minerales*; Edit Limusa; p 279 - 297
- Fuerstenau Maurice, 2003, *Principles of Mineral Processing*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc, p. 185-188, 211-212.
- Kelly Spottiswood, 1990, *Introducción al Procesamiento de Minerales*, Ed, Limusa. P. 279-302
- Mular Andrew, Halbe Doug, Barrat Derek, 2002 ; *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc (SME), v 1, p. 975-1008
- Taggart F Artur, *Hanbook of Mineral Dressing, Ores and Industrial Mineral*, College Edition, Wiley Handbook Series, 1950, Fourth printing

### ARTÍCULOS

- Laplante André R., 2004 *Classification and Potential Recovery From the Grinding Circuit at Tizapa*, Artículo abril 2004, p.14
- Tony Brewis, *Separación por gravedad* ; REVISTA MINING Octubre 1995

### SITIOS EN INTERNET

- [www.freivokhtech.com/knelson](http://www.freivokhtech.com/knelson)
- [www.knelson.com](http://www.knelson.com)
- [www.knelsongravitysolutions.com](http://www.knelsongravitysolutions.com)