



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Optimización de concentración gravimétrica de oro en la
mesa vibratoria de la mina “Vicentina”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN MINAS

Nombre del Autor:

SANDRA CAROLINA RIVERA PARRA

Nombre del Director:

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Por el apoyo siempre brindado a mis padres, hermanos y abuelitos y por ser siempre mis acompañantes mi hijo y esposo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la dicha de prepararme y conseguir un Título profesional; a mis Padres, por ayudarme a ser alguien en la vida apoyándome con los estudios y estar siempre conmigo dándome ánimos.

A la Empresa Minera “Vicentina” por las facilidades brindadas y que gracias a ello pude continuar con mi Trabajo de Titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana por realizar las pruebas analíticas para culminar con el proyecto del Trabajo de Titulación.

A la Universidad del Azuay y a los ingenieros que apoyaron mi proyecto y en especial a mi Director de Tesis al Ingeniero Fernando Valencia que siempre estuvo pendiente y ayudándome en todo lo que necesitaba.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE ECUACIONES	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificaciones	3
1.3. Objetivos:.....	4
1.3.1. Objetivo general:.....	4
1.3.2. Objetivos específicos:	4
1.4. Marco teórico y estado de arte	4
1.4.1. Marco teórico	4
1.4.2. Estado de arte.....	11
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	16
2.1. Obtención de muestra	16
2.2. Preparación de la muestra	16
2.3. Caracterización del material	17
2.3.1. Peso específico de la muestra	17
2.3.2. Densidad del material (ρ).....	18

2.3.3.	Densidad de la pulpa (δ_p)	19
2.3.4.	Caudal (Q).....	19
CAPITULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL.....		21
3.1.	Introducción del diseño experimental.....	21
1.3.1.	Diseño factorial completa	22
1.3.2.	Características de la mesa vibratoria	23
3.2.	Ensayos en laboratorio.....	24
3.2.1.	Ensayo en mesa vibratoria	24
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		25
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		30
BIBLIOGRAFÍA		32
ANEXOS		34

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Tenor en colas	6
Ecuación 1.2 Criterio de concentración	7
Ecuación 1.3 Recuperación del mineral.....	7
Ecuación 1.4 Razón de concentración	8
Ecuación 1.5 Razón de enriquecimiento.....	8
Ecuación 2.1 Peso específico de la muestra.....	18
Ecuación 2.2 Densidad del material.....	19
Ecuación 2.3 Densidad de la pulpa	19
Ecuación 3.1 Diseño factorial completa.....	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general de separación en un concentrador	6
Figura 1.2. Mesa vibratoria del laboratorio de la Universidad del Azuay	9
Figura 1.3. Rendimiento en mesa vibratoria	13
Figura 1.4. Recuperación de Au en Knelson.....	14
Figura 1.5. Recuperación de Au combinado (Mesa Vibratoria – Knelson).....	14
Figura 2.1. Preparación de muestras en laboratorio	17
Figura 3.1. Modelo lineal y no lineal	21
Figura 3.2. Mesa Vibratoria con sus características.....	23
Figura 4.1. Modelo de recuperación	27

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Resultados de la concentración en mesa vibratoria.	12
Tabla 1.2. Resultados de concentración gravimétrica del mineral.....	12
Tabla 2.1. Peso específico de la muestra.....	18
Tabla 2.2. Densidad del material	19
Tabla 2.3. Densidad de la pulpa	19
Tabla 2.4. Caudal	20
Tabla 3.1. Diseño factorial completa	22
Tabla 4.1. Resultado de química analítica (ppm).....	25
Tabla 4.2 Promedio de resultados (ppm)	25
Tabla 4.3. Concentrados en la mesa vibratoria - 1°	26
Tabla 4.4. Concentrados en la mesa vibratoria - 2°	26
Tabla 4.5. Concentrados en la mesa vibratoria - 3°	27
Tabla 4.6. Criterio de Concentración	28
Tabla 4.7. Razón de concentración	28
Tabla 4.8. Razón de enriquecimiento.....	29

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Pruebas de química analítica inicial para concentrados.	35
Anexo 2: Pruebas de química analítica finales para concentrados	36
Anexo 3: Reporte fotográfico de ensayos en laboratorio.....	38

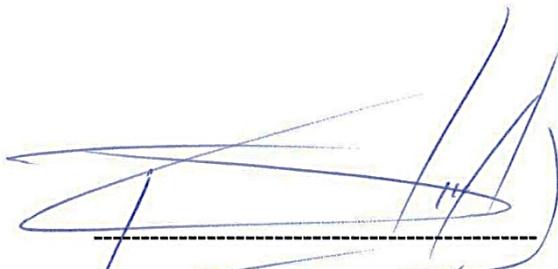
OPTIMIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA MESA VIBRATORIA DE ORO EN LA MINA VICENTINA

RESUMEN

La concentración gravimétrica aprovecha la diferencia entre densidades de especies minerales diferentes para su concentración, para este proceso experimental se utilizó el equipo de mesa vibratoria y una variable que fue el ángulo transversal; siendo este equipo uno de los más eficientes en concentración gravimétrica por sus características y parámetros de operación que pueden ajustarse fácilmente para obtener una mejor concentración del mineral útil.

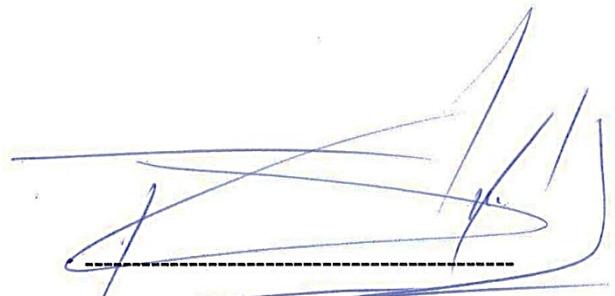
El experimento que se realizó en mesa vibratoria fue variando el ángulo transversal realizando tres repeticiones para encontrar el ángulo óptimo de operación de la mena aluvial de oro.

Para saber cuáles fueron los resultados de concentrados y colas se sometieron a análisis de química analítica, dando como resultado una recuperación del 82,82 % y el ángulo óptimo de operación de 1°.



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director del Trabajo de Titulación



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director de Escuela



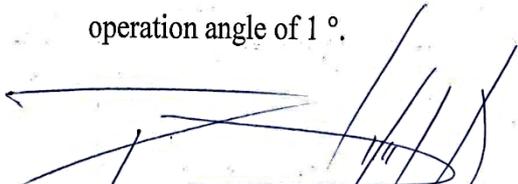
Sandra Carolina Rivera Parra

Autora

**OPTIMIZATION OF GOLD GRAVIMETRIC CONCENTRATION ON THE
SHAKER TABLE OF THE VICENTINA MINE**

ABSTRACT

The gravimetric concentration takes advantage of the difference between densities of different mineral species for its concentration. The shaker table equipment and a variable which was the transverse angle, were used for this experimental process. This equipment is one of the most efficient in gravimetric concentration due to its characteristics and operating parameters that can be easily adjusted to obtain a better concentration of the useful mineral. The transverse angle fluctuated throughout the experiment that was carried out on the shaker table. Three repetitions were done to find the optimum operation angle of the alluvial gold ore. An analytical chemistry analysis was performed to find out the concentrates and tails results; which showed a recovery of 82.82% and an optimum operation angle of 1 °.


Fernando Tulio Valencia Guaricela
Thesis Director


Fernando Tulio Valencia Guaricela
School Director


Sandra Carolina Rivera Parra
Author


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Sandra Carolina Rivera Parra

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela. Msc

Junio, 2017

OPTIMIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE ORO EN LA MESA VIBRATORIA DE LA MINA VICENTINA

INTRODUCCIÓN

En minería artesanal y en pequeña minería tienen inconvenientes para encontrar un método apropiado para la óptima recuperación de oro (Au) en depósitos aluviales donde hay una baja eficiencia en la recuperación en las minas.

La extracción del mineral de Au de la mina “Vicentina” se lo clasifica por medio de maquinarias y equipos como la criba tipo “Z” y por tamices; y su concentración por medio de canalones con rifles.

Entonces se va a utilizar para este experimento una mesa vibratoria tipo *Deister* 15-S, que es un método gravimétrico por lo que la mesa vibratoria genera buenos resultados en concentración de oro en material aluvial, para esto se va a variar el ángulo transversal de la mesa para encontrar el ángulo óptimo para una mayor recuperación de Au, en este proceso las otras variables permanecen constantes como son: ángulo perpendicular, caudal, amplitud de golpe y frecuencia de golpes.

Luego del ensayo elaborado se procede a realizar el modelo de la recuperación (Ver Figura 4.1.) que se obtuvo mediante la investigación que se realizó en la mesa vibratoria y de acuerdo con los resultados que se obtuvo en la química analítica. (Ver Tabla 4.2).

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La concentración gravimétrica es un proceso donde se basa en la diferencia de peso específico entre los minerales a separarse que están conjugados con la acción de fuerzas hidráulicas, fricción y gravedad, donde mantienen un comportamiento diferente en las partículas de mineral valioso y ganga manteniendo las partículas alejadas unas de otras para que puedan moverse con facilidad y separarse en capas de mineral valioso y ganga, mientras mayor es la diferencia del peso específico de los metales útiles mayor será la efectividad de separación. (Aguilar, 2014).

Lo que se quiere lograr en una concentración es separar el material útil con el material estéril con características diferentes, a la final de la concentración se obtendrán 3 resultados de diferentes leyes o porcentajes de mineral útil (un concentrado, colas y eventualmente un mixto); una perfecta concentración debe tener como resultado que el concentrado este constituido solo de mineral útil. (Maistri, 1993).

Los métodos de separación por gravedad (concentración gravitacional) 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 inferiores a 5 micrones.

Estos se agrupan en tres categorías principales: a) Separación por medios densos, en el cual las partículas se sumergen en un baño que contiene un fluido de densidad intermedia, de tal manera que algunas partículas floten y otras se hundan; b) Separación por corrientes verticales, en la cual se aprovechan las diferencias entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas, como es el caso del *jig*; y c) Separación en corrientes superficiales de agua o “clasificación en lámina

delgada”, como es el caso de las mesas concentradoras y los separadores de espiral. (Pavez, 2009).

1.2. Justificaciones

La diferencia entre canaleta y mesa vibratoria, para tener en claro entre los métodos antiguos con los actuales, cual es el método óptimo para una mayor recuperación de mineral útil.

Las canaletas son posiblemente los aparatos concentradores más primitivos que se conocen, son usados principalmente para el tratamiento de menas de aluviales en los cuales el mineral valioso se encuentra libre en granulometría fina y la diferencia de su peso específico en relación al de los minerales de la ganga es grande, su aplicación principal es en la concentración de oro, platino y casiterita, generalmente son construidas de tablas y contienen el piso irregular para atrapar los minerales pesados. El piso irregular se consigue desgastando el fondo, con tacos de madera, bloques, reglas, gradas, etc.; estos resaltos son llamados “*riffles*”, debido a su función de recoger de la corriente de agua los minerales pesados y transportarlos. (Pavez, 2009).

Son muy utilizados en la minería artesanal aurífera, ya sea en explotación de yacimientos primarios o en secundarios. Un canalón consiste en un canal inclinado en donde se deja fluir una pulpa diluida del material a tratar.

La evacuación del concentrado puede ser de forma continua o de forma intermitente, en el caso de forma continua o semi continua desde el fondo de los canales por medio de apósitos tuberías que envían la pulpa rica en minerales pesados a un sucesivo proceso de concentración (*jigs*).

La forma intermitente implica el uso de apósitos alfombras que cubren el piso de los canales, estas alfombras tienen facilidad en atrapar y retener las partículas sedimentadas; el concentrado es recogido a intervalos determinados parando el fluido de pulpa y recuperando las alfombras, que son vaciadas y lavadas en apósitos recipientes antes de ser puestas otra vez en los canalones para empezar el proceso de lavado.

Los canalones tienen la ventaja que cuesta muy poco, no consumen energía y no necesitan prácticamente de mantenimiento, por el contrario tienen bajas recuperaciones (máximo el 60 %), necesitan grandes diferencias de densidades entre el mineral útil y las gangas. (Maistri, 1993).

Por el contrario las mesas sacudidas llamadas también mesas concentradoras o mesas vibratorias son aparatos constituidos por una superficie plana ligeramente inclinada con relación a la horizontal, provistas de estrías “*riffles*”, y con un mecanismo que imprime unas sacudidas asimétricas y longitudinales, la mesa es alimentada en su parte superior, por una tolva o caja de alimentación. El agua de lavado se distribuye sobre toda su longitud, proporcionando una película que se desliza según la pendiente transversal; las estrías forman trampas para los granos pesados, y los granos ligeros tienden a saltar en cada obstáculo.

La recuperación con las mesas de concentración es muy altas en especial si se dispone de algún aparato para la sucesiva concentración de las colas para recuperar los útiles finos. (Maistri, 1993).

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general:

- Determinar las condiciones de operaciones óptimas para asegurar la mayor concentración de oro.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar el material
- Realizar el diseño experimental en la mesa vibratoria.
- Obtener un modelo de recuperación.

1.4. Marco teórico y estado de arte

1.4.1. Marco teórico

La separación por gravedad ha tenido avances muy significativos en los últimos años incrementándose su aplicación notoriamente, este tipo de separación permanece como el principal método de concentración para menas de oro, estaño y otros minerales de alto peso específico.

Los métodos de concentración gravitacional cuando pueden ser aplicados son preferidos en relación a los procesos de flotación debido a que los costos favorecen su uso y además son menos contaminantes del medio ambiente.

La concentración por gravedad es esencialmente un método para separar partículas de minerales de diferente peso específico debido a sus diferencias de movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas, simultáneamente, la gravedad u otras fuerzas. (Pavez, 2009).

Principio de la concentración gravimétrica

- Este tipo de separación se genera dos o tres productos: el concentrado, las colas y en algunos casos un producto medio (mixto).
- Para una separación efectiva en este tipo de concentración es fundamental que exista una marcada diferencia de densidad entre el mineral y la ganga, a partir del criterio de concentración, se tendrá una idea sobre el tipo de separación posible. (Bach. Vilcapoma Juño, Johnnathan Ruber, Bach. Chavez Poma, Zamudio., 2012).

Objetivo fundamental de la concentración

Se puede entender que el objetivo fundamental de la concentración es elevar el tenor de una especie mineralógica en una corriente denominada concentrado “C”, este tenor se denomina como t_c . (Ver Figura 1.1.)

Siguiendo con lo anterior, en la corriente denominada colas “T”, se disminuirá substancialmente el tenor de la especie mineral de interés (t_t), o lo que es evidente, se elevara el tenor de las especies minerales que acompañan el mineral de interés. (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008).

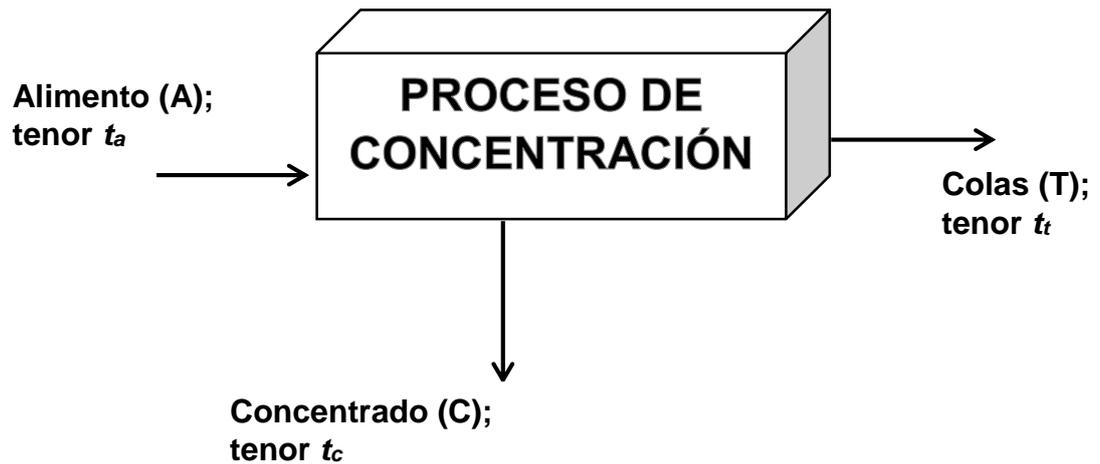


Figura 1.1. Esquema general de separación en un concentrador detallando la corriente de entrada (Alimento), y las corrientes de salidas (Concentrado y Colas).

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

En el caso ideal, el tenor de la especie mineral de interés en las colas (t_t) deberá ser nulo o cercano a cero ($t_t \longrightarrow 0$), y como es muy difícil alcanzar en los procesos situaciones ideales se posee un objetivo en las plantas de concentración, el cual es alcanzar un valor de (t_t) suficientemente mínimo, de acuerdo a las limitaciones tecnológicas y físicas de la separación. (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008).

De acuerdo a lo anterior:

$$t_c > t_a > t_t \quad \text{con} \quad t_t \longrightarrow 0$$

Ecuación 1.1 Tenor en colas debe ser nula o cercana a cero

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

Debe notarse que la desigualdad en la Ecuación 1.1 es estricta y no permite la igualdad, pues en el caso de que alguna de las desigualdades se transforme en una igualdad, el separador se está comportando metalúrgicamente como un partidor de muestra simplemente.

Criterio de concentración

El criterio de concentración utilizado en la separación gravimétrica es el siguiente:

$$C - C = \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_1 - \rho_f}$$

Ecuación 1.2 Criterio de concentración

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

Dónde:

ρ_p = Densidad de las partículas pesadas.

ρ_1 = Densidad de las partículas livianas.

ρ_f = Densidad del fluido

Ver resultados en la Tabla 4.6.

En la práctica, para que haya una separación eficiente el valor de (CC) debe ser mayor o igual a 2,50 para valores de $CC < 2,50$ se presentan generalmente problemas. (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008).

Recuperación: es la relación entre la cantidad de mineral útil en peso del concentrado y la cantidad en peso de la alimentación.

$$R = \frac{c \cdot C}{a \cdot A}$$

Ecuación 1.3 Recuperación del mineral

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

Dónde:

R= Recuperación

c= porcentaje o ley de útil en concentrado

C= cantidad en peso del concentrado

a= ley de útil en la alimentación (ley de cabeza)

A=cantidad en peso de la alimentación

La recuperación se expresa en porcentaje %, es decir se multiplica por 100 el valor de R arriba acumulado.

Razón de concentración (RC): se define como la razón entre el peso de material que entra en la alimentación A con respecto al peso de concentrado C, es decir:

$$RC = \frac{A}{C}$$

Ecuación 1.4 Razón de concentración

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

Nótese que este índice no da información de calidad sino de capacidad, esto es de los flujos que entraron y salieron del separador y permite calcular por ejemplo cuantas toneladas se deben alimentar para producir una tonelada de concentrado. Ver resultados en la Tabla 4.7.

Razón de enriquecimiento (RE): Se define este índice como la relación entre el tenor del concentrado c (ley del concentrado) respecto al tenor de la alimentación (ley de cabeza).

$$R_E = \frac{c}{a}$$

Ecuación 1.5 Razón de enriquecimiento

Fuente: (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008)

Ver resultados en la Tabla 4.8.

Si se considera la desigualdad planteada en la Ecuación 1.1, el valor de R_E en una operación de concentración, debe ser siempre mayor que la unidad; en el caso de que R_E se iguale a la unidad, no se produce concentración dado que el c sería igual al a e iría contra el objetivo de esta operación unitaria; por otro lado, mientras más lejano este de la unidad (y que sea mayor que ella) mejor será la concentración, lo que quiere decir que se está enriqueciendo aún más el concentrado respecto al tenor de alimento. (M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo, 2008).

(Israel, 2014). Las mesas vibradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclina (Ver Figura 1.2.)

La capacidad de la mesa depende de:

- La frecuencia y amplitud de golpe.
- Inclinación longitudinal y transversal.
- Cantidad de agua.
- Características de la mena.
- Densidades de las partículas útiles y de los estériles.
- Forma de las partículas.
- Granulometría de la alimentación.

A lo largo del borde superior del tablero existe un distribuidor de agua de lavado, con dispositivos que permiten regular el reparto de agua para graduar junto con: el caudal de entrada y la inclinación; la intensidad de la corriente transversal de agua.

La descarga de los productos son recogidos en canales paralelos a los bordes de la mesa.

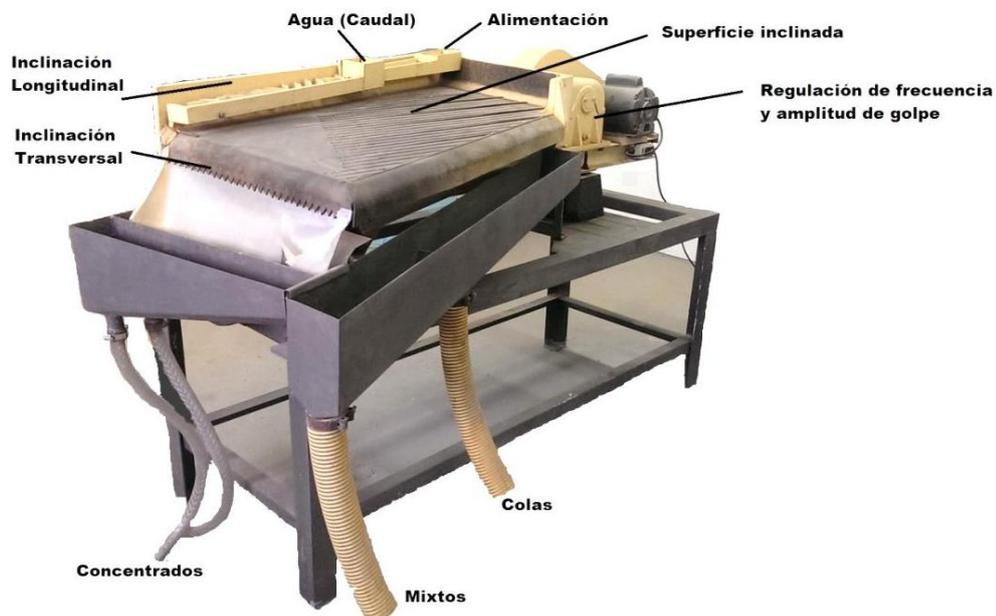


Figura 1.2. Mesa vibratoria del laboratorio de la Universidad del Azuay

La efectividad de todas las mesas depende de la homogeneidad del material de la alimentación y de la densidad de la pulpa y particularmente de la densidad, ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente. (Israel, 2014).

Parámetros de la mesa

- Amplitud y frecuencia de golpes: los golpes largos a velocidades relativamente bajas son mejores para alimentaciones gruesas, mientras que lo contrario, se utiliza en alimentación fina.
- Inclinación transversal y longitudinal: la inclinación transversal es el desnivel que existe entre el extremo de la alimentación hasta el extremo de descarga de colas, idealmente debe ajustarse al mínimo posible para tener una buena distribución de las arenas en el *deck*; la inclinación longitudinal es el desnivel existente entre el extremo de la alimentación y el extremo de descarga de concentrados, esta inclinación debe ser moderada para que las partículas de mayor densidad (sulfuros) escalen más rápidamente que las livianas (silicatos) de tal forma que haya una buena separación entre concentrados, mixtos y colas. Pero es indudable que las condiciones óptimas pueden únicamente ser determinadas en la práctica. (Ceferino, 1996)
- Las mesas *Deister* (Ver Figura 1.2.) utilizan una ligera inclinación longitudinal con pendiente bajante hacia el lado de la alimentación para hacer más selectiva la separación; en efecto, los materiales más pesados tienen mayor facilidad en “trepar” la pendiente y alcanzar el lado del concentrado respecto a los materiales livianos.
- Estas mesas están normalmente equipadas con mecanismos que permiten variar durante el funcionamiento sea la frecuencia y la amplitud de los golpes que la inclinación transversal de la bandeja; mientras que la inclinación longitudinal se debe variar antes de poner en funcionamiento la máquina.
- Inclinaciones transversales mayores pueden causar separaciones más selectivas (menores relaciones de concentración y por lo tanto mayores eficiencias) pero también mayores pérdidas en las colas; y para partículas útiles más finas se requiere menores inclinaciones transversales; y en inclinaciones longitudinales mayores pueden causar mejor selectividad de separación y también mayor dificultad en alcanzar el lado del concentrado en las partículas de útil densidad y tamaño no suficientemente grandes. (Maistri, 1993)

Ventajas:

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

Desventajas:

- Precio relativamente alto (en relación a su capacidad).
- Requiere alimentación constante (si no, la posición de las cejas varían demasiado sobre el tablero).
- Requiere supervisión continua.
- Requiere motor.

(Sánchez Quispe, 2015)

1.4.2. Estado de arte

1. Para las pruebas de laboratorio en la mesa vibradora, (Ceferino, 1996), realizó lo siguiente: utilizó una mesa diagonal de laboratorio DEISTER N° 15-S. Busca concentrar sulfuros variando ángulos de inclinación transversal en las tres primeras pruebas y finalmente una prueba que se efectúa alimentando una pulpa granulométricamente homogénea evitando el sobre tamaño de malla 100.

Tabla 1.1. Resultados de la concentración en mesa vibratoria.

Parámetros	Pruebas			
	P1	P2	P3	P4
% en peso concentrado	26,95	29,64	32,34	17,69
Ley del concentrado (gr/Tm)	8,51	8,36	8,07	12,82
% de oro recuperado	60,49	64,72	65,29	56,84

Fuente: (Ceferino, 1996).

Entre las tres primeras pruebas que se hizo con granulometría natural dando mejores resultados la P1, teniendo la ley de concentración la más alta y por este motivo la P4 se realizó con la misma inclinación pero esta vez evitando utilizar el sobre tamaño de malla 100, y se entiende que la mesa vibratoria da mejores resultados utilizando material fino y muy fino.

2. La inclinación de la canaleta según la forma de operación y tamaño de grano de la alimentación. (Torres, 2010).

Este ensayo se realizó con el objetivo de evaluar el proceso de concentración gravimétrica a escala de laboratorio. Después de realizados los ensayos se obtuvo los resultados que se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Resultados de concentración gravimétrica del mineral.

Descripción	Peso (%)	Recuperación (%)	
		Au	Ag
Concentrado	3,2	11,2	0,4
Arena	21,8	5,3	17,3
C+A	25	16,5	17,7
Mixto	49,8	76,8	58,8
C+A+M	74,8	93,3	76,5
Fino	25,2	6,7	23,5
C+A+M+F	100	100	100

Fuente: (Torres, 2010).

Este ensayo se realizó con canaletas y de acuerdo con el tamaño de grano, hay dos minerales de interés pero vamos analizar el Au, se obtiene una recuperación del 93,3%, siendo del concentrado, arena y el mixto los considerados para la recuperación de Au, aunque sigue dando mejores resultados los materiales finos.

3. (Maldonado, 2014) para el ensayo en mesa vibratoria utilizó la variable de tamaño de grano o número de malla: 126, 168 y 180, tomando en cuenta que hizo un duplicado con la finalidad de corroborar los resultados.

Consiguiendo como resultado para la recuperación de Au en el equipo de mesa Vibratoria lo siguiente:

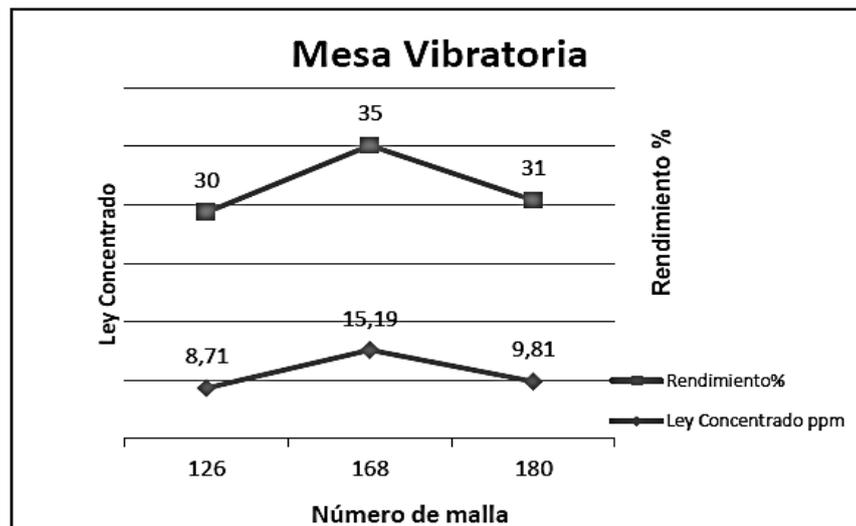


Figura1.3. Rendimiento en mesa vibratoria
Fuente: (Maldonado, 2014)

Se analiza también la recuperación de Au en el equipo de *Knelson*, siendo los resultados el siguiente:

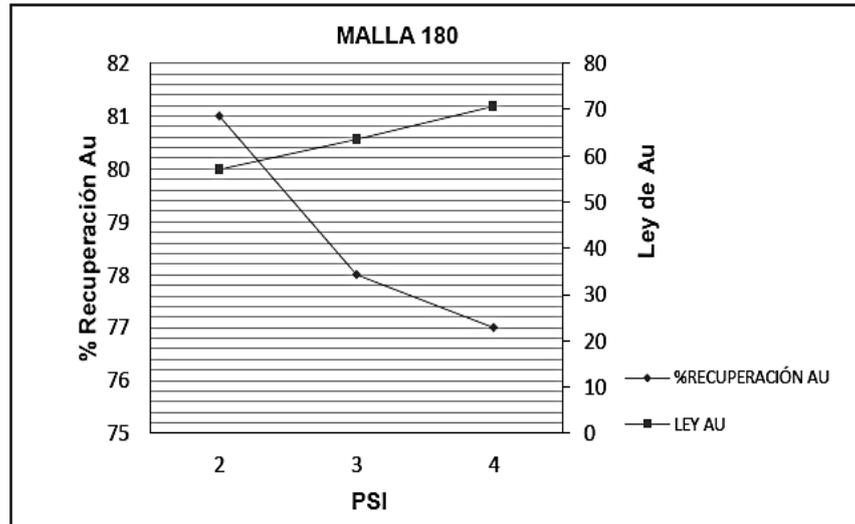


Figura 1.4. Recuperación de Au en *Knelson*
 Fuente: (Maldonado, 2014)

Hay una gran diferencia en la recuperación entre la mesa vibratoria y *Knelson*, teniendo la mesa vibratoria una recuperación en la malla 180 de 31 % y en el *Knelson* la recuperación es de 81 %, esto se debe a las características de cada equipo, su capacidad y las condiciones para concentrar de acuerdo a su granulometría.

Se realiza también un balance metalúrgico combinando los dos equipos: Mesa Vibratoria y *Knelson*, para saber si el rendimiento es mejor que uno de los dos equipos.

COMBINADO				
PROCESOS	PESO (g)	Ley ppm	mg	REND (%)
A	100,92	34,68	3,50	37,59
B	25,75	10,70	0,28	2,96
A+B	126,67	49,64	6,29	67,54
R	579,62	5,213	3,02	32,46
A+B+R	706,29	13,18	9,31	100

Figura 1.5. Recuperación de Au combinado (Mesa Vibratoria – *Knelson*)
 Fuente: (Maldonado, 2014)

La recuperación de Au con la combinación de los dos equipos (Mesa Vibratoria-*Knelson*) es de 67,54 % siendo mejor el rendimiento que en el equipo de *Knelson*.

La razón de que *Knelson* es mejor en resultados de rendimiento es porque *Knelson* es un equipo especializado para concentrar material muy fino.

La recuperación con las mesas de concentración es muy altas en especial si se dispone de algún aparato para la sucesiva concentración de las colas para recuperar los útiles finos. (Maistri, 1993).

La mesa Vibratoria es considerada de modo general el equipo más eficiente para tratamiento de mineral con granulometría fina; es un equipo muy utilizado en la limpieza de concentrado primario o secundario de menas de oro libre y en menas aluviales.

Al aplicar la mesa vibratoria lo que se obtiene es clasificar las partículas de minerales de acuerdo a su tamaño.

Y a comparación con otro concentrador (*Knelson*), recupera partículas de oro de tamaño que van desde $\frac{1}{4}$ " (0,64 cm) hasta aproximadamente 1 micrón; el concentrador *Knelson* consiste de un cono perforado con anillos internos, que gira a alta velocidad. (Maldonado, 2014)

Y por lo general, la mayoría de minas artesanales y de pequeña minería siguen utilizando hasta el momento las mesas vibratorias ya sea para concentrado primario o secundario, porque se le considera el equipo más eficiente para tratamiento de minerales en cuestión de material fino.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Obtención de muestra

El material se obtuvo de la mina “VICENTINA” es una mena aurífera aluvial que está situada a lo largo del río Paute; en la parroquia de Singuiantza, cantón Santiago de Méndez, provincia de Morona Santiago vía a Guarumales – Cuenca.

Se obtuvo de la terraza del río Paute y se extrajo con maquinaria (excavadora), una cantidad de 100 kg aproximadamente.

2.2. Preparación de la muestra

En la Figura 2.1., se muestra un ejemplo de las operaciones de preparación de las muestras que se genera en un laboratorio de minerales.

El esquema (Ver Figura 2.1.) se refiere a las operaciones efectuadas en el Laboratorio de Tratamiento de Minerales.

La “preparación de las muestras” es el conjunto de operaciones que se deben efectuar sobre las muestras de material que llega al laboratorio para luego realizar cualquier prueba mineralúrgica.

La preparación de las muestras esquematizada en la Figura 2.1. se desarrolla de la siguiente manera:

Una cantidad de material representativa llega al laboratorio de unos 100 kg, en donde sobre tamaño de 10 mm se extrajo para que sea tomado en cuenta como material natural de río para facilitar la homogenización.

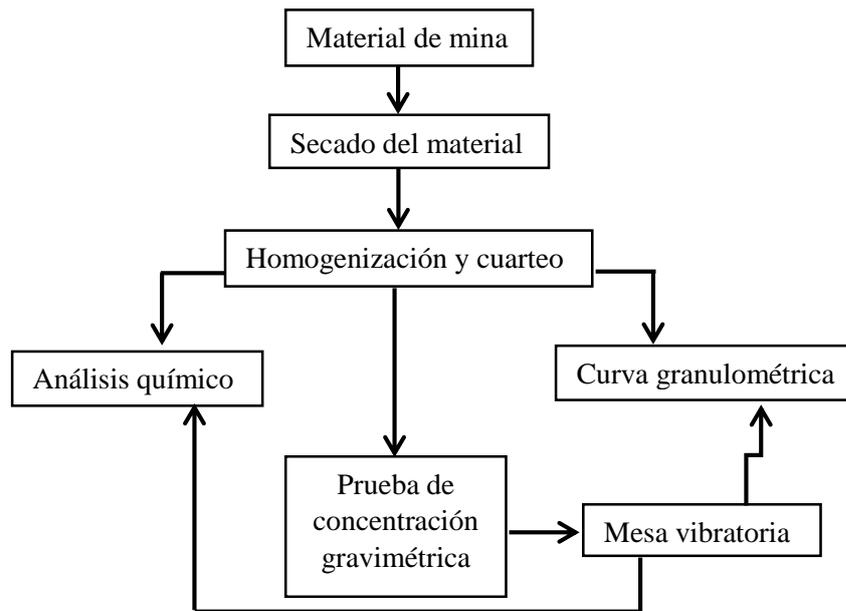


Figura 2.1. Preparación de muestras en laboratorio

La homogenización es realizada sobre un plástico en el piso y como fue una cantidad mínima de 40 kg de material aluvial, para una mejor homogenización se levanta los extremos de las esquinas y así se procede a cuartear el material homogenizado, y como se tuvo una mínima cantidad de material se cuarteo una sola vez en partes iguales, la una parte se utilizó para probar el equipo de la mesa vibratoria y dejar calibrada, y las tres partes restantes para las pruebas finales que es variando los ángulos trasversales en 1° , 2° y 3° .

Para los análisis químicos de cabeza (Ver Anexo 1) se cogió la cantidad de 1 kg de la una parte del cuarteo de la que se utilizó para probar el equipo (calibración), para continuar con el proceso en la mesa vibratoria.

2.3. Caracterización del material

Para estudiar las características del material se utilizó el material homogenizado y cuarteado con granulometría natural de material aluvial.

2.3.1. Peso específico de la muestra

El peso específico se calculó de la siguiente manera: tomamos la probeta pesamos (654 gr), colocamos el material seco y pesamos nuevamente (718 gr), pesamos la probeta vacía con agua (730 gr) y por último el peso de la probeta más el material y más agua (768 gr).

$$\gamma = \frac{P_2 - P_1}{(P_3 - P_1) - (P_4 - P_2)}$$

Ecuación 2.1 Peso específico de la muestra

Fuente: (Maldonado, 2014)

Resultado (Ver Tabla 2.1)

P_1 = Peso del picnómetro vacío

P_2 = P_1 más el peso de la muestra

P_3 = P_1 más agua

P_4 = P_2 más agua

Tabla 2.1. Peso específico de la muestra

P1 gr	P2 gr	P3 gr	P4 gr	γ gr/ cm ³
654	718	730	768	2,461

2.3.2. Densidad del material (ρ)

Con la balanza determinamos la masa del cuerpo y su volumen se mide por el aumento del agua de la probeta graduada al introducir el cuerpo en ella. (Ver Fotografía 2)

La densidad del material se determinó mediante el siguiente proceso:

- Tomamos una porción del material y pesamos 0,5 kg en seco (sólido) (m)
- Se utilizó una probeta graduada de 1000 ml
- Colocamos 500 ml de agua (V_i) en la probeta de 1000 ml junto con el material pesado de 0,5 kg.
- Se obtuvo un volumen de 700 ml (V_f).
- La diferencia es de 200 ml. (V)

La densidad será la relación entre el resultado del peso en seco (m), y la diferencia entre volumen final (Vf) y el volumen inicial (Vi). (Ver Tabla 2.2.)

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Ecuación 2.2 Densidad del material

Fuente: (Torrelavega, 2010)

Tabla 2.2. Densidad del material

m gr	V ml=cm ³	δ gr/cm ³
500	200	2,5

2.3.3. Densidad de la pulpa (δ_p)

La densidad de la pulpa (δ_p) se determina con el peso de la pulpa (P_p) sobre el volumen de la pulpa (V_p). (Ver Tabla 2.3.)

$$\delta_p = \frac{P_p}{V_p}$$

Ecuación 2.3 Densidad de la pulpa

Fuente: (Eral-Chile, 2011)

Tabla 2.3. Densidad de la pulpa

P_p gr	V_p cm ³	δ_p gr/cm ³
1034	700	1,48

2.3.4. Caudal (Q)

El flujo de agua debería ser ligeramente la cuarta parte del agua que entra en la pulpa de alimentación. Sin embargo un criterio válido utilizado para establecer la correcta cantidad de agua a utilizar en una operación es que el agua debe cubrir homogéneamente toda la bandeja con una película de espesor variable en función del tamaño de las partículas en alimentación. (Maistri, 1993).

Para hacer el cálculo del caudal primero se probó con la primera parte del cuarteo del material para que sea válido el criterio de (Maistri, 1993) que cubra homogéneamente toda la bandeja pero considerando de que el lavado del material no sea tan ligero para que no haya mucha pérdida del concentrado.

Se tomó una probeta de 1000 ml y con un cronómetro a lado para medir el caudal en que tiempo se llena cierta cantidad de agua (volumen) realizando tres repeticiones y tomamos el promedio para el caudal. (Ver resultados en la Tabla 2.4.)

Tabla 2.4. Caudal

Ensayos #	Q L/min
1	9,05
2	8,93
3	9,11
Promedio	9,03

CAPITULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1. Introducción del diseño experimental

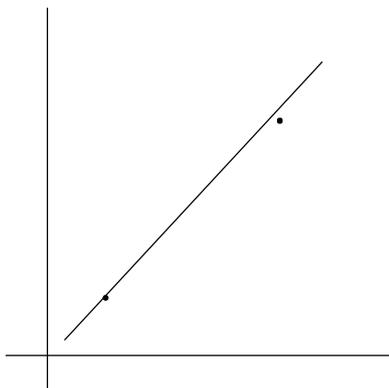
En el diseño experimental se debe obtener la máxima cantidad de información, así como la máxima calidad con el mínimo esfuerzo experimental.

Por lo tanto es necesario elegir:

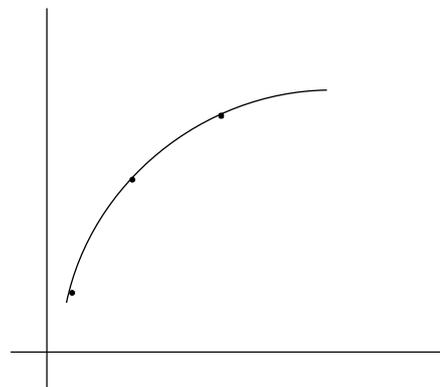
- El número de variables que intervienen en el proceso (n)
- El número de niveles para cada variable (K)

El número de niveles del modelo a usar:

- Para obtener un “modelo lineal” se necesita por lo menos dos niveles.
- Para obtener un “modelo no lineal” se necesita por lo menos tres niveles.



Modelo lineal



Modelo no lineal

Figura 3.1. Modelo lineal y no lineal
Fuente: (Maistri, 1993)

3.1.1. Diseño factorial completa

El número de experimentos a realizarse en un diseño factorial completo está determinado por la fórmula:

$$C = K^n$$

Ecuación 3.1 Diseño factorial completa
Fuente: (Maistri, 1993)

Ver resultados Tabla 3.1.

Dónde:

C= número de experimentos

K= número de niveles en las variables

n= número de variables operativas

(Maistri, 1993)

Para este experimento el número de variables (n) va a ser “1” por lo que interviene una sola variable en el experimento y el número de niveles en las variables (K) va a ser “3”, por lo que el modelo va a ser lineal y no lineal y va a tener tres cambios en la variable.

Entonces:

$$C = 3^1$$

Tabla 3.1. Diseño factorial completa

K	n	C
3	1	3

El número de experimentos que va a ser realizado son tres para cada nivel, ósea se realiza tres repeticiones en cada ángulo transversal.

3.1.2. Características de la mesa vibratoria

Para este experimento es utilizada una mesa vibratoria de laboratorio DEISTER N° 15-S (Ver Figura 3.2.), su capacidad máxima es de 100 kg/h, y sus principales características son:

- Fácil instalación, debido que la mesa es de fácil movilidad para transportar, cambiar sus parámetros y montar sus piezas.
- Operación sencilla; por su manera de clasificar el material, simplemente se coloca en la alimentación la pulpa preparada (sólido + agua), y la vibración de la mesa hace que separe los materiales pesados de los livianos.
- Ajuste de velocidad y de inclinación; con una perilla a lado del motor se va ajustando la velocidad de golpe de la mesa cuando está encendida y de igual manera la inclinación transversal, la inclinación longitudinal se ajusta antes de encender el equipo y se mide con un nivel.
- *Deck* diagonal; es para que haya mayor atrapamiento de los minerales pesados.
- Estructura de acero para soportar el *deck*.
- Facilidad de cambio del *deck*; por lo que son de caucho y son sujetos con grapas y si hay algún desgaste se le cambia con facilidad.



Figura 3.2. Mesa Vibratoria con sus características
Fuente: Elaboración propia

3.2. Ensayos en laboratorio

3.2.1. Ensayo en mesa vibratoria

Las pruebas se realizaron de la siguiente manera:

- Se realizó tres pruebas con tres repeticiones (se explica en el punto anterior “Introducción del diseño experimental” el porqué del número de repeticiones que se debe realizar) en cada ángulo (1°, 2° y 3°) en inclinación transversal; siendo la única variable de la práctica experimental.
- La inclinación longitudinal, amplitud de golpe, frecuencia de golpes y caudal permanecen constantes en (1°, 15 mm, 160 rpm y 9 L/min).

Generalmente se alimentan pulpas al 25 % de sólidos en peso; dichos porcentajes deberían ser ligeramente mayores para granulometrías más gruesas y viceversa. (Maistri, 1993)

En todas las pruebas se utilizó el 22 % de sólido en peso (3,33 kg) y el 78 % fue agua (12 L) para la respectiva pulpa. Con las variantes expuestas se pretende hallar la mayor recuperación de oro.

Antes de empezar a utilizar el equipo se realizó una prueba para ajustar el ángulo transversal, se probó con un cuarto del material para regular y una vez alcanzado el punto se verificó las inclinaciones para la corrida final.

Se colocó la pulpa en la entrada de la mesa vibratoria conjuntamente con el caudal constante (9 L/min) de lo cual se obtiene tres productos del material: concentrado, mixto y estéril. Eliminamos el agua de cada producto, secamos a una temperatura de 100 °C en el horno y se preparan las muestras para ensayos de química analítica.

Los resultados (Ver Anexo 2).

CAPITULO IV

RESULTADOS

En la Tabla 4.1., se muestra los resultados de química analítica de concentrados y colas de las tres pruebas que se realizó para cada inclinación transversal.

Tabla 4.1. Resultado de química analítica (ppm)

VARIANTE	1°	2°	3°
PRUEBA 1	MUESTRA 1	MUESTRA 1	MUESTRA 1
	3,866549897	5,057118611	24,47906663
	MUETRAS2	MUESTRA 2	MUESTRA 2
	15,90482552	13,86671315	11,78905975
PRUEBA 2	MUESTRA 1	MUESTRA 1	MUESTRA 1
	3,827327	4,208548909	13,48677429
	MUESTRA 2	MUESTRA 2	MUESTRA 2
	17,84460914	14,55791137	6,35578953
PRUEBA 3	MUESTRA 1	MUESTRA 1	MUESTRA 1
	3,818218	6,570170398	0,673551573
	MUESTRA 2	MUESTRA 2	MUESTRA 2
	15,51256421	13,08120814	5,020702347

Como se realizaron tres pruebas para cada inclinación transversal se tuvo que efectuar un promedio para cada concentrado y cola para los respectivos análisis correspondientes.

Tabla 4.2 Promedio de resultados de química analítica (ppm)

VARIANTE	1°	2°	3°
MUESTRA 1	3,84	5,28	12,88
MUESTRA 2	16,42	13,84	7,72

Siendo **Muestra 1** (Colas) y **Muestra 2** (Concentrado)

Sabiendo ya las leyes de concentrado se procede a calcular la recuperación Au para cada ángulo transversal.

Cálculo de recuperación de Au para 1° de inclinación transversal, tomando en cuenta la recuperación de concentrado más mixto.

Tabla 4.3. Concentrados en la mesa vibratoria - 1°

Fracción	Peso gr	Peso %	Ley ppm	Recuperación %
Concentrado	1302	39,06	16,42	70,49
Mixto	671	20,13	5,57	12,32
Conc+Mix	1973	59,20	13,47	82,82
Cola	1360	40,80	3,84	17,22
TOTAL	3333	100		100

Recuperación: 82,82 %
Razón de concentración: 2,56:1

Cálculo de recuperación de Au para 2° de inclinación transversal, tomando en cuenta la recuperación de concentrado más mixto.

Tabla 4.4. Concentrados en la mesa vibratoria - 2°

Fracción	Peso gr	Peso %	Ley ppm	Recuperación %
Concentrado	1198	35,94	13,84	54,67
Mixto	884	26,52	8,07	23,52
Conc+Mix	2082	62,47	11,14	78,20
Cola	1251	37,53	5,28	21,78
TOTAL	3333	100		100

Recuperación: 78,20 %
Razón de concentración: 2,78:1

Cálculo de recuperación de Au para 3° de inclinación transversal, tomando en cuenta la recuperación de concentrado más mixto.

Tabla 4.5. Concentrados en la mesa vibratoria - 3°

Fracción	Peso gr	Peso %	Ley ppm	Recuperación %
Concentrado	1002	30,06	7,72	25,51
Mixto	1168	35,04	6,57	25,30
Conc+Mix	2170	65,11	5,83	50,81
Cola	1163	34,89	12,88	49,39
TOTAL	3333	100		100

Recuperación: 50,81%
 Razón de concentración: 3,32:1

Con los datos de recuperación de cada ángulo transversal (1°, 2° y 3°) respectivamente, se procede a ejecutar el modelo de recuperación para observar que ángulo es el óptimo.

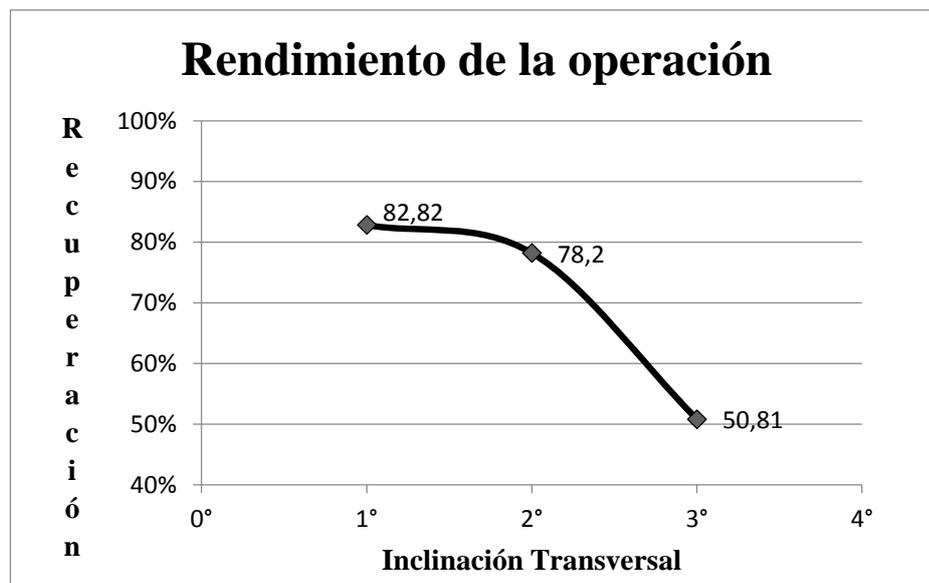


Figura 4.1. Modelo de recuperación

Criterio de concentración

Para este análisis, las densidades de los materiales pesados (hierro y oro) (Lenntech, 2017) se realizó un promedio siendo (13,6 gr/cm³), y de igual manera para los materiales livianos (carbonato de calcio) (Química, 2017) y la densidad del material que se tomó para estas pruebas) se realizó un promedio siendo (2,64 gr/cm³).

Entonces según la teoría el criterio de concentración resulta: (Ver Tabla 4.6.)

$$C - C = \frac{13,6 - 1}{2,64 - 1}$$

Tabla 4.6. Criterio de Concentración

ρ_p gr/cm ³	ρ_l gr/cm ³	ρ_f gr/cm ³	C - C gr/cm ³
13,6	2,64	1	7,68

Este valor 7,7 aproximado significa que es posible una separación gravimétrica para este material de mina aluvial.

Razón de concentración (RC):

Siendo la relación entre A (3333 gr) peso de la alimentación y C (1302 gr) el peso del concentrado, el resultado se presenta en la Tabla 4.7.

$$RC = \frac{3333 \text{ gr}}{1302 \text{ gr}}$$

Tabla 4.7. Razón de concentración

A gr	C Gr	RC
3333	1302	2,56

Para la relación de concentrado (RC) de esta prueba es tomando en cuenta los datos de inclinación transversal de 1°, siendo 2,56 como resultado, queriendo indicar con el cálculo que para obtener una tonelada de concentrado se requiere procesar 2,56 toneladas de mineral.

Razón de enriquecimiento (R_E)

Es la relación entre la ley de concentrado c (16,42 ppm) y la ley de cabeza a (9,099 ppm), el resultado se presenta en la Tabla 4.8.

$$R_E = \frac{16,42}{9,099}$$

Tabla 4.8. Razón de enriquecimiento

a ppm	C Ppm	R_E
9,099	16,42	1,80

Para la Razón de Enriquecimiento (R_E) de esta prueba es tomada en cuenta los datos de inclinación transversal de 1° , siendo 1,80 como resultado; esto quiere decir que “según teoría” hay una buena concentración porque mientras R_E este más lejano de la unidad mejor será la concentración, por lo que quiere indicar que se está enriqueciendo más el tenor del concentrado que el tenor del alimento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Considerando los resultados alcanzados, se concluye:

- La ley de cabeza (ley o tenor de alimentación) de Au de la Mina “Vicentina” es 9,099 ppm, considerando una ley alta para depósitos aluviales.
- De lo efectuado en el laboratorio de la Universidad del Azuay el peso específico del material de la mina “Vicentina” fue analizado con 2,46 gr/cm³, requiriendo este cálculo para obtener buenos resultados del equipo.
- El caudal para la operación del equipo de la mesa vibratoria fue tomando en cuenta con las inclinaciones transversales, en este caso con el ángulo más inclinado que fue de 3° para que el fluido no lave tan rápido el material y así escoger un caudal óptimo, el fluido tiene que ir lavando el material de acuerdo con las vibraciones del equipo continuamente y por ende cubrir toda la superficie inclinada.
- Se analizó en el laboratorio de la Universidad del Azuay, la densidad del material de la mina “Vicentina”, siendo 2,5 gr/cm³, realizado con la forma de balanza y probeta, este cálculo se debe tener en cuenta para la separación de materiales pesados, como es el caso del Au (mineral de interés), de los livianos en este caso carbonato de calcio y a su vez la densidad de la pulpa es 1,48 gr/cm³, haciendo una relación del peso de la pulpa con respecto el volumen de la pulpa, siendo importantes estos cálculos para el desarrollo del equipo (mesa vibratoria).
- De la inclinación transversal, se realizó tres pruebas dando como resultado en 1° una ley de concentrado de 16,42 gr/Ton con una recuperación del 82,82%, 2° una ley de concentrado de 13,84 gr/Ton con una recuperación del 78,20% y 3° una ley de concentrado de 7,72 gr/Ton con una recuperación del 50,81%, siendo el ángulo óptimo para la mesa vibratoria del Laboratorio de la Universidad del Azuay de la Escuela de Minas de 1° con una ley de concentración de 16,42 y la recuperación del 82,82 %, con una granulometría natural, material tomado de un depósito aluvial de la mina “Vicentina”.
- De acuerdo con los resultados tomados en este experimento (rendimiento del equipo) dio mejores resultados de los que se estudió en el estado de arte para este proyecto.

Recomendaciones:

- Tener el material suficiente para el cuarto para las respectivas muestras que se va a realizar en la mesa vibratoria como mínimo 100 kg de material útil.
- Es recomendable que para este proceso utilizar material sea fino, se puede utilizar tamices para elegir el material o también utilizar trituradoras o molinos.
- Se debe de verificar antes del proceso todas las condiciones de operación como es el caudal, cantidad de alimentación, la frecuencia y amplitud de golpe, la inclinación longitudinal y la longitud transversal.
- Si va a ser recirculado el fluido debe tomar en cuenta que va a necesitar más tiempo por la cuestión de la sedimentación de los finos.
- Se debe utilizar este equipo para concentrar minerales con material fino para dar mayores resultados óptimos.
- La mesa vibratoria generó unos resultados tales como la ley de concentración y su recuperación que fue alta, se considera un equipo óptimo para concentración de minerales por sus resultados, por su costo que no es elevado y sobre todo por lo que no genera daños ambientales.

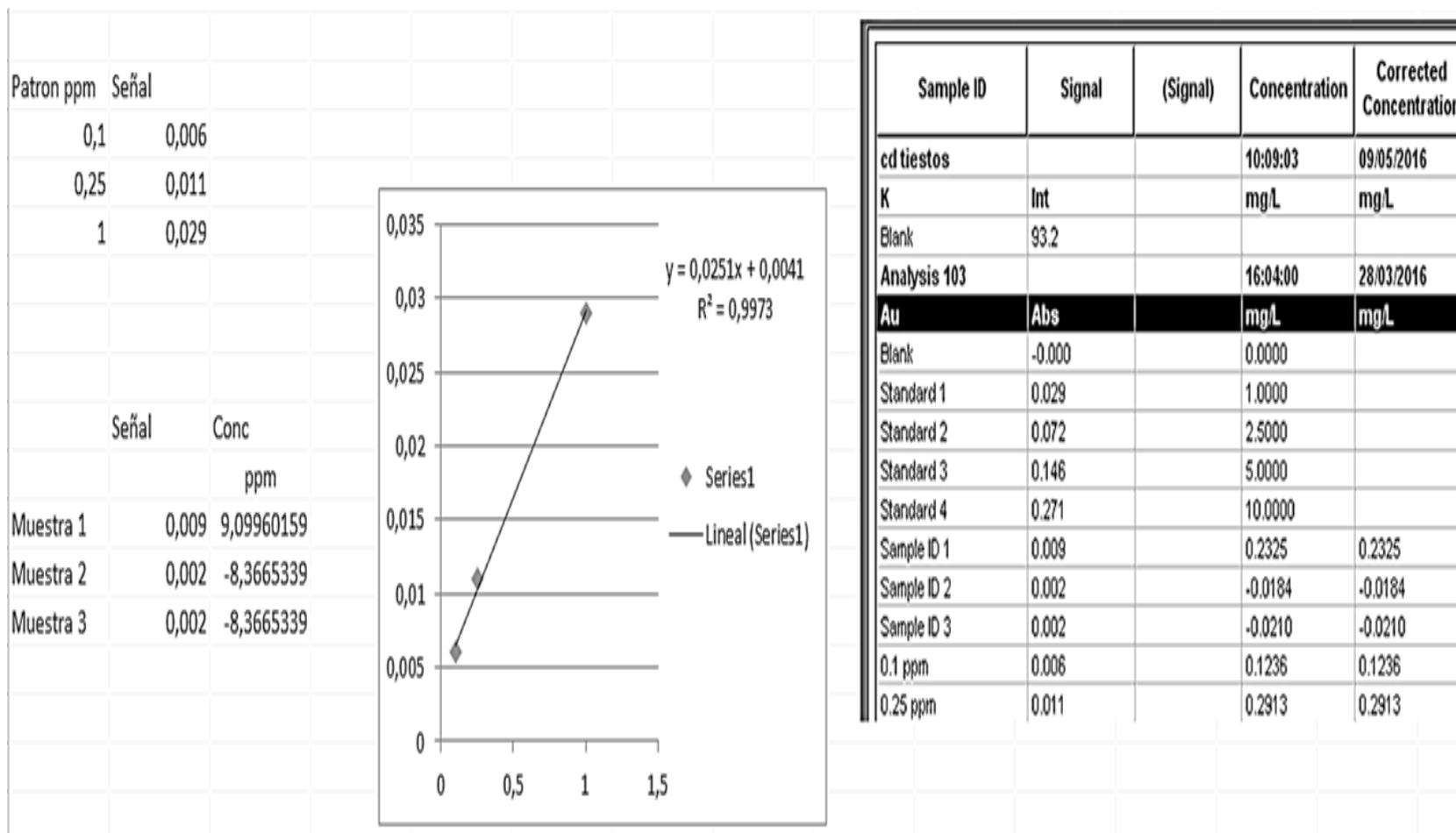
BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, K. d. (21 de mayo de 2014). Repositorio Digital EPN - Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 24 de octubre de 2015, de Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7394/1/CD-5550.pdf
- Bach. Vilcapoma Juño, Johnnathan Ruber, Bach. Chavez Poma, Zamudio. (24 de agosto de 2012). Pruebas experimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en la planta concentradora "Caselita" en Condoroma - Cuzco. . Recuperado el 14 de octubre de 2015, de Universidad Nacional del Centro del Perú: <http://cip.org.pe/imagenes/temp/tesis/41471874.pdf>
- Ceferino, B. W. (18 de septiembre de 1996). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado el 20 de octubre de 2015, de Estudio mineralúrgico de concentración gravimétrica y de flotación para la recuperación de oro a partir de arenas cianuradas de la compañía Orenas S.A.: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-16641.pdf
- Eral-Chile. (27 de 08 de 2011). Eralchile. Recuperado el 06 de 04 de 2017, de Eralchile: <http://eralchile.com/pdf/19.pdf>
- Israel, C. C. (2014). Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija " Condominio Sur" . Loja: Universidad Técnica Particular de Loja .
- Lenntech. (26 de 04 de 2017). Elementos químicos ordenados por su densidad. Recuperado el 28 de 04 de 2017, de Elementos químicos ordenados por su densidad: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-msQ27ok7lgJ:www.lenntech.es/tabla-periodica/densidad.htm+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
- M. O. Bustamante, A. C. Gaviria y O. J. Restrepo. (2008). Concentración de minerales. Medellín: Instituto de minerales CIMEX.

- Maistri, A. (1993). Guía al curso de tratamiento de minerales y a las prácticas de laboratorio. Cuenca: Ministero Affari Esteri- Direzione Generale per la Cooperazione allo Sviluppo.
- Maldonado, J. K. (2014). recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente de la Herradura - Chinapintza. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Pavez, D. I. (2009). Concentración de minerales II. Atacama: Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de metalurgia.
- Química, F. (20 de 04 de 2017). Carbonato de calcio. Recuperado el 28 de 04 de 2017, de Carbonato de calcio: <http://www.formulacionquimica.com/CaCO3/>
- Sánchez Quispe, L. A. (21 de mayo de 2015). Concentración en Mesa Gravimétrica. Laboratorio de Concentración y Flotación de minerales, 17.
- Torrelavega. (05 de 08 de 2010). Unican. Recuperado el 27 de 04 de 2017, de Unican: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/fisica-i/practicas-1/practica4.pdf>
- Torres, R. (19 de enero de 2010). u. Recuperado el 24 de octubre de 2015, de [cn=Rudyard Torres, o, ou: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3345/1/5867.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3345/1/5867.pdf)

ANEXOS

Anexo 1: Pruebas de química analítica inicial para concentrados.



Fuente: Universidad del Azuay

Anexo 2: Pruebas de química analítica finales para concentrados

Batch Run Report



File Name 09-02-17-CC3.brt
File Path Au

Printed 3/8/2017 2:41:40 PM
Run 2/9/2017 12:50:42 PM

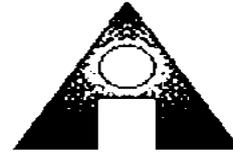
Data starts here

Units mg/L

Sample Name	Abs.	Cal.	Conc.	SampleConc
Blank	0,01	0		
Blank	0,01	0		
Standard -1	0,5	0,1		
Standard -1	0,5	0,1		
Standard -2	1,91	0,5		
Standard -2	1,95	0,5		
Standard -3	2,9	1		
Standard -3	2,91	1		
Standard -4	5,7	2		
Standard -4	5,7	2		
Sample -1	2,29			0,749097
Sample -1	2,93			0,979049
Sample -2	1,99			0,641307
Sample -2	2,02			0,652086
Sample -3	0,38			0,062834
Sample -3	0,41			0,073613
Sample -4	-0,2			0
Sample -4	-0,2			0
Sample -5	0,17			0
Sample -5	0,19			0
Sample -6	0,43			0,080799
Sample -6	0,43			0,080799
Sample -7	0,26			0,019718
Sample -7	0,28			0,026904
Sample -8	0,41			0,073613
Sample -8	0,42			0,077206
Sample -9	0,76			0,199368
Sample -9	0,77			0,202961
Sample -10	0,09			0
Sample -10	0,09			0

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana

Batch Run Report



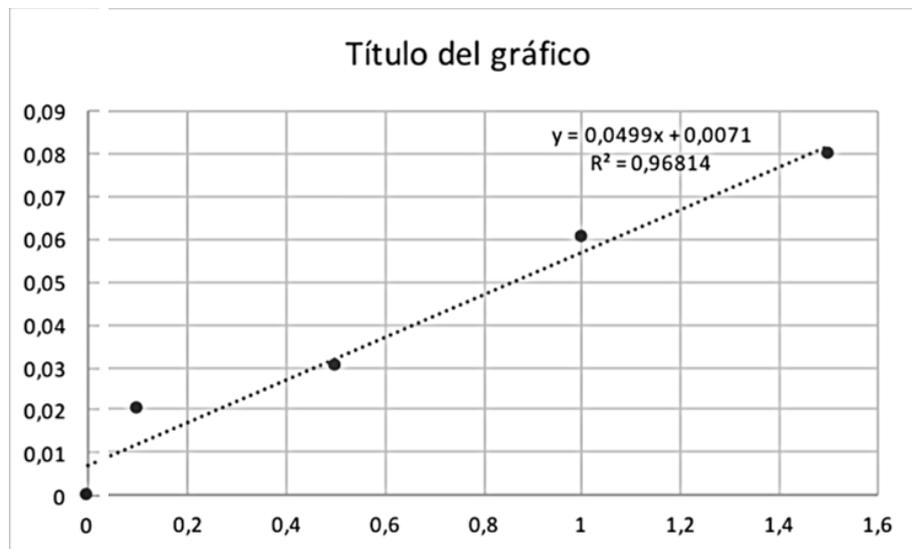
File Name 01-03-17-c2.brt
File Path Au

Printed 3/8/2017 2:45:57 PM
Run 3/1/2017 3:15:19 PM

Data starts here

Sample Name	Abs.	Cal. Conc.	SampleConc	Units
Blank	0	0		mg/L
Standard -1	0,02	0,1		
Standard -2	0,03	0,5		
Standard -3	0,06	1		
Standard -4	0,08	1,5		
Sample -11	0,07		1,4	
Sample -12	0,09		1,8	
Sample -13	0,08		1,6	
Sample -14	0,07		1,4	
Sample -15	0,08		1,6	
Sample -16	0,07		1,37	
Sample -17	0,04		0,79	
Sample -18	0,03		0,59	

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana



Fuente: Universidad Politécnica Salesiana

Anexo 3: Reporte fotográfico de ensayos en laboratorio



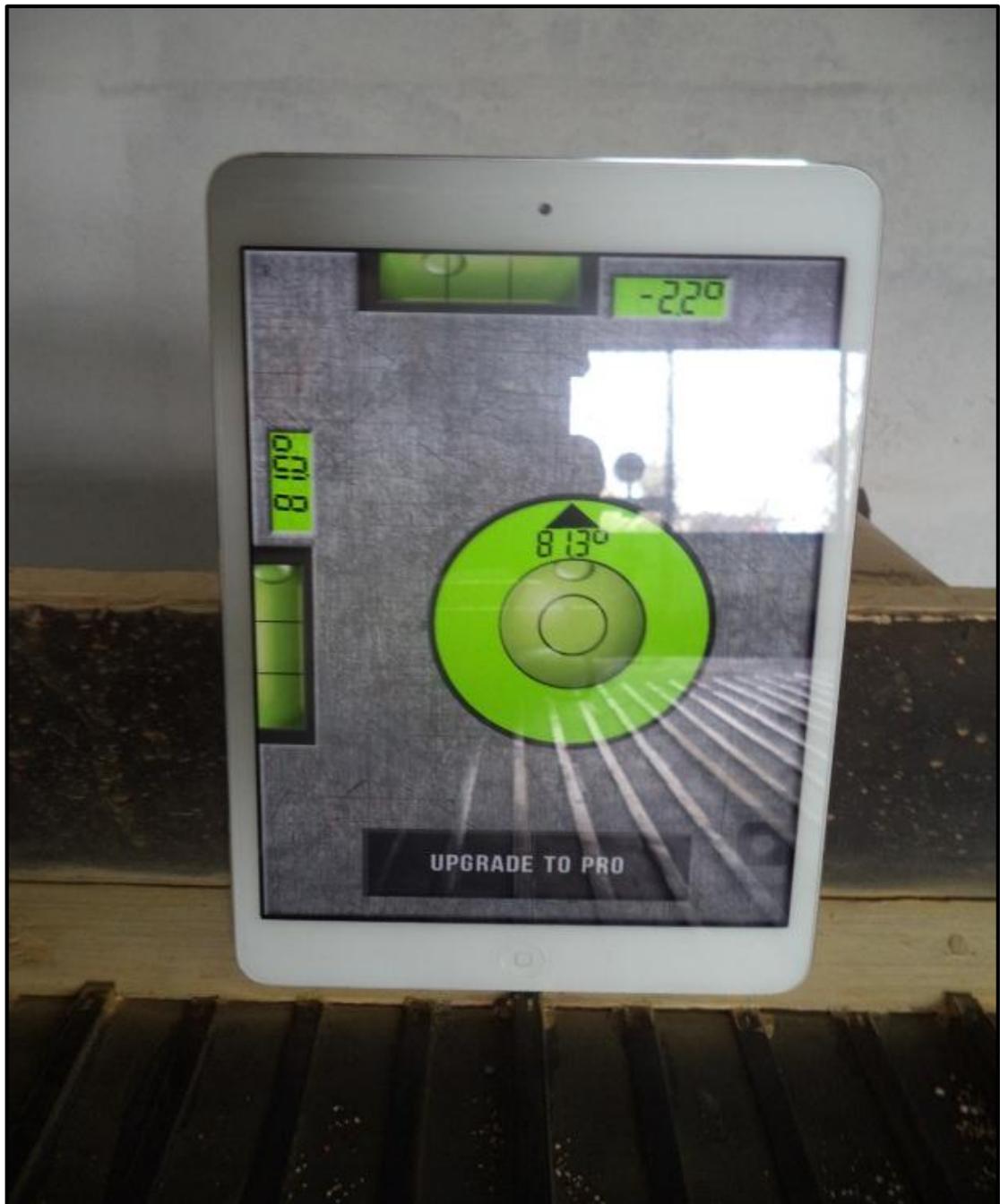
Fotografía 1: Cuarteo del material



Fotografía 2: Cálculo de la densidad del material



Fotografía 3: Calibración de la mesa vibratoria a 1° de la inclinación transversal



Fotografía 4: Calibración de la mesa vibratoria a 2° de la inclinación transversal



Fotografía 5: Calibración de la mesa vibratoria a 3° de la inclinación transversal



Fotografía 6: Preparación de la pulpa



Fotografía 7: Operación de equipo (Mesa Vibratoria)



Fotografía 8: Operación de equipo (Mesa Vibratoria)



Fotografía 9: Operación de equipo (Mesa Vibratoria)



Fotografía 10: Concentrados de Au



Fotografía 11: Secado del material en horno a 100 °C



Fotografía 12: Pesado del material seco después del proceso en el equipo



Fotografía 13: Pruebas para química analítica final