



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

**“Flujograma para concentración de oro aluvial, mediante
utilización del JIG, Espiral y Mesa Vibratoria”**

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

Autores:

FERNANDA MARIANELA MERCHÁN DOMÍNGUEZ
FABIÁN SANTIAGO MONSALVE ESPINOZA

Director:

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Este trabajo les dedico a mis padres Fabián Monsalve y María Augusta Espinoza quienes siempre me brindaron su apoyo y me motivaron a seguir adelante a pesar de los momentos difíciles y gracias a su esfuerzo y sacrificio me pudieron ayudar en la educación de toda mi vida.

Agradezco a Dios por la vida y por la oportunidad de conseguir un título universitario a mis hermanos que siempre me apoyaron y me brindaron su cariño.

A mi abuelito Claudio Monsalve y abuelita María del Pilar Molina quienes están conmigo para poder celebrar esta meta que he cumplido y a mis abuelitos que no se encuentran conmigo, pero estarán orgullosos de que haya alcanzado una meta más en mi vida Domingo Espinoza (+) y Lolita Malo (+).

Fabián Monsalve

Quiero dedicar este trabajo de titulación con mucha gratitud y amor a mis padres Miguel Merchán y Anita Domínguez por estar siempre para mí.

A mis hermanas Belén y Paola por su luz.

Daniel y Killa gracias por su existencia.

Fernanda Merchán

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad del Azuay y a los profesores que supieron guiarnos en este gran camino de esfuerzo y dedicación con la ayuda de sus conocimientos.

En especial a nuestro Director de Tesis Ing. Fernando Valencia quien nos supo brindar su tiempo, apoyo y conocimiento para alcanzar el desarrollo de este trabajo, también queremos agradecer al Ing. Patricio Feijoo y al Dr. Juan Calderón.

A nuestros compañeros y amigos que compartieron momentos dentro y fuera de las aulas.

Fabián Monsalve y Fernanda Merchán

Agradezco infinitamente al universo y todos los seres de luz que han iluminado mi vida con su amor.

Muchas gracias a mi compañero de Tesis Fabián Monsalve por su constante apoyo para la realización de este trabajo.

Fernanda Merchán

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1 Concentración Gravimétrica	3
1.1.1 Concentración por Sink and Float.	4
1.1.2 Propiedades físicas de pulpas pesadas.	4
1.1.3 Viscosidad y comportamiento de flujo.	4
1.1.4 Estabilidad.....	5
1.1.5 Principio de la concentración gravimétrica.....	5
1.1.6 Índices metalúrgicos	6
1.1.7 Definición de Tenor.....	6
1.1.8 Fundamentos de la concentración gravimétrica	7
1.1.9 Criterio de concentración	8
1.1.10 Recuperación.....	9
1.1.11 Razón de concentración (RC):	10
1.1.12 Razón de enriquecimiento (R ϵ):.....	10
1.1.13 Requerimientos para una eficiente concentración gravitacional	10
1.1.14 Tamaño de liberación.....	11
1.1.15 Centrifugación	11
1.1.16 Razones de Sedimentación.....	11
1.1.17 Equipos Concentradores a Utilizarse.....	11
1.2 Mesa Vibratoria	11
1.2.1 Funcionamiento:.....	11
1.2.2 Capacidad de la mesa vibratoria.....	15
1.3 Espiral	18

1.3.1	Funcionamiento	18
1.3.2	Parámetros de Operación:	20
1.3.3	Granulometría de alimentación	21
1.3.4	Pesos específicos de los minerales a separar.....	21
1.3.5	Principio de Funcionamiento	22
1.3.6	Clasificación:.....	24
1.3.7	Funcionamiento	24
1.3.8	Ventajas.....	26
1.3.9	Desventajas	26
1.3.10	Aplicaciones	26
1.4	JIG.....	27
1.4.1	Funcionamiento	27
1.4.2	Tipos de JIG	28
1.4.3	Elementos constitutivos de un Jig	30
1.4.4	Parámetros que intervienen en el cribado hidráulico (jigging):	30
1.4.5	Estratificación en JIG.....	31
1.4.6	Efectos principales para la estratificación de las especies minerales en el Jig.....	33
CÁPITULO II: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO		34
2.1	Obtención de muestra	34
2.1.1	Caracterización del material.....	34
2.1.2	Cuarteo y homogenización del Material	34
2.1.3	Densidad del material (ρ).....	35
2.1.4	Preparación de pulpas	36
2.1.5	Densidad de la pulpa ($\delta\rho$).....	38
2.1.6	Caudal (Q).....	39
2.1.7	Cálculo del Caudal del Equipo de Concentración Espiral	40
2.1.8	Cálculo del Caudal del Equipo de Concentración Mesa Vibratoria	41
2.1.9	Cantidad de agua de JIG	41
2.1.10	Ensayo en la Espiral.....	42
2.1.11	Recuperaciones del equipo gravimétrico espiral	44
2.1.12	Ensayo en la Mesa Vibratoria	44
2.1.13	Ensayo en el JIG.....	47
CAPITULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS		48
3.1	Mineralogía	48

3.1.1	Recuperación y Resultados	48
3.1.2	Resultados en la Espiral	49
3.1.3	Mesa vibratoria.....	51
3.1.4	Resultados gráficos de recuperación	51
3.1.5	Flujograma	52
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES		58
BIBLIOGRAFÍA		59
ANEXOS		61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ámbitos de tamaño de grano a elaborarse mediante una concentración por pesos específicos.....	4
Figura 1.2 Esquema general de separación en un concentrador detallando la corriente de entrada (Alimento), y las corrientes de salidas (Concentrados y Colas).....	6
Figura 1.3 Aplicabilidad de la concentración gravimétrica según su criterio de concentración.....	9
Figura 1.4 Influencia del tamaño de alimentación en la selección del método de separación gravimétrica.	10
Figura 1.5 Distribución de partículas dentro de la mesa vibratoria.	13
Figura 1.6 Efecto del flujo de partículas con desplazamiento lateral.	13
Figura 1.7 Movimiento de la mesa vibratoria.	14
Figura 1.8 Estratificación progresiva en el rifle	15
Figura 1.9 Mesa Vibratoria tipo Deister	17
Figura 1.10 Riffles Mesa Wilfley	18
Figura 1.11 Sección Transversal de un espiral	19
Figura 1.12 Efecto del Porcentaje de Sólidos en el Rendimiento de una Espiral	21
Figura 1.13 Recuperación vs Tamaño en concentración con espirales	22
Figura 1.14 Sección transversal de la artesa de una espiral y distribución de las partículas sobre ella.	22
Figura 1.15 Regiones de trabajo sobre una sección transversal.	23
Figura 1.16 Espiral de Concentración.....	25
Figura 1.17 JIG Harz.....	28
Figura 1.18 Esquema de funcionamiento del Jig Denver con la válvula cerrada.....	29
Figura 1.19 Esquema de funcionamiento del Jig Denver con la válvula abierta	29
Figura 1.20 JIG de Concentración de la Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay.....	30
Figura 1.21 Estratificación del jig	32
Figura 1.22 Estratificación optimizada en un jig.....	32
Figura 2.1 Cuarteo manual de la muestra.....	35
Figura 2.2 Tanque de recirculación. 1) Cañería de alimento a la bomba; 2) Descarga de finos; 3) Descarga de gruesos más finos; 4) Alimento.....	42
Figura 2.3 Pulpa de la espiral	43

Figura 2.4 Ensayo en la mesa vibratoria	46
Figura 3.1 Recuperación equipo gravimétrico espiral	51
Figura 3.2 Recuperación equipo gravimétrico Mesa Vibratoria.	52
Figura 3.3 Circuito RCS Espiral.....	52
Figura 3.4 Circuito RCS Mesa Vibratoria.....	53
Figura 3.5 Circuito RCS combinación de Mesa vibratoria, Espiral Y mesa vibratoria	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diferentes métodos de concentración de minerales y algunos equipos empleados.....	7
Tabla 1.2 Alternativas para la selección de diferentes productos en una concentradora espiral.....	25
Tabla 2.1 Caudales correspondientes a la espiral.....	40
Tabla 2.2 Caudal correspondiente a la mesa vibratoria.....	41
Tabla 2.3 Recuperaciones.....	44
Tabla 2.4 Muestra fm21.....	46
Tabla 2.5 Muestra fm20.....	46
Tabla 2.6 Muestra fm19.....	47
Tabla 3.1 Recuperación de la espiral y mesa vibratoria.....	49
Tabla 3.2 Muestra e 2-1.....	50
Tabla 3.3 Muestra e 2-2.....	50
Tabla 3.4 Muestra e 3-3.....	50
Tabla 3.5 Muestra n 1-3.....	50
Tabla 3.6 Muestra n 3-1.....	50
Tabla 3.7 Muestra fm21.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ensayos Experimentales.....	63
Anexo 2. Fotografías.....	71

FLUJOGRAMA PARA CONCENTRACIÓN DE ORO ALUVIAL, MEDIANTE UTILIZACIÓN DEL JIG, ESPIRAL Y MESA VIBRATORIA

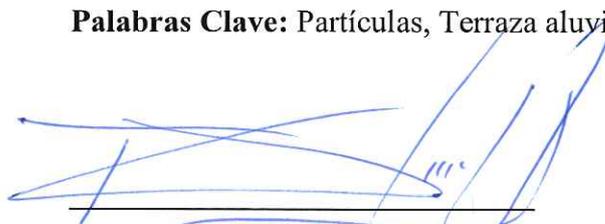
RESUMEN

Se pretende recuperar partículas de oro de una terraza aluvial mediante etapas de concentración, ajustando los parámetros operacionales de los equipos gravimétricos como son: espiral, mesa vibratoria y JIG, con el propósito de establecer un flujograma que nos permitirá conocer el equipo o circuito de equipos que nos brinden una mayor recuperación de oro.

La concentración gravimétrica aprovecha la diferencia de densidades del material, en este proceso experimental se ajustaron las variables operacionales como: fracción de sólidos correspondiente al 10%, 15% y 20% en relación peso/peso en 3 diferentes equipos y un valor variable correspondiente al caudal de acuerdo a la capacidad de cada equipo.

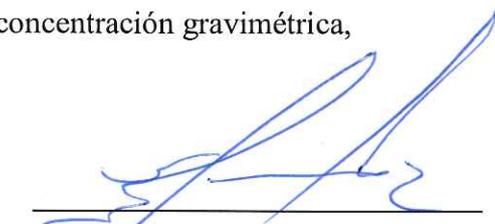
Obteniendo una recuperación en la mesa vibratoria de 93,9% con un ángulo óptimo de operación de 1 grado, el espiral permitió una recuperación máxima de 81.2% y el Jig tuvo ensayos fallidos debido a su granulometría en la alimentación.

Palabras Clave: Partículas, Terraza aluvial, concentración gravimétrica,



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Fabián Santiago Monsalve Espinoza

Autor



Fernanda Marianela Merchán Domínguez

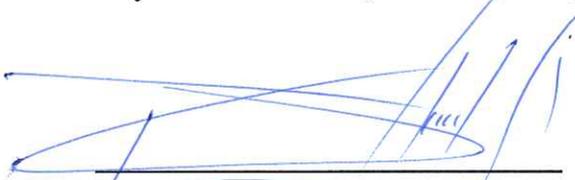
Autor

FLOW CHART FOR THE CONCENTRATION OF ALLUVIAL GOLD THROUGH USE OF THE JIG, SPIRAL AND VIBRATORY TABLE

ABSTRACT

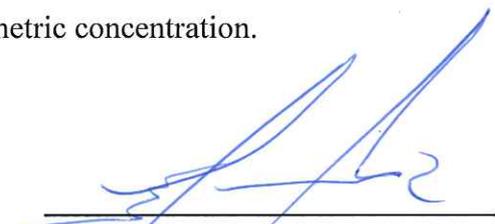
The objective was to recover gold particles from an alluvial terrace through stages of concentration and the adjustment of the operational parameters of gravimetric equipment such as the spiral, vibrating table, and JIG. It sought to establish a flow chart to determine the equipment or circuit of equipment with the highest gold recovery. The gravimetric concentration takes advantage of the density difference of the material. In this experimental process, the operational variables of the solids fraction corresponding to 10%, 15% and 20% in weight/weight relation were adjusted in 3 different equipment and the variable value corresponding to the flow rate was adjusted according to the capacity of each equipment. A recovery of 93.9% was obtained in the vibratory table with an optimum angle of operation of 1 degree, the spiral allowed a maximum recovery of 81.2% and the Jig had failed trials due to its granulometry in the feed.

Keywords: Particles, alluvial terrace, gravimetric concentration.



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Thesis Director



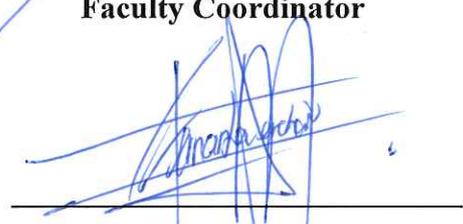
Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Fabián Santiago Monsalve Espinoza

Author



Fernanda Marianela Merchán Domínguez

Author



Translated by

Ing. Paúl Arpi

Merchán Domínguez Fernanda Marianela

Monsalve Espinoza Fabián Santiago

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Valencia

Abril, 2019

FLUJOGRAMA PARA CONCENTRACIÓN DE ORO ALUVIAL, MEDIANTE UTILIZACIÓN DEL JIG, ESPIRAL Y MESA VIBRATORIA

INTRODUCCIÓN

En minería los procesos de tratamiento mineral son sumamente importantes ya que se busca una alta recuperación de minerales, teniendo en cuenta una serie de operaciones secuenciales que nos ayudan en el mejoramiento de los mismos, las operaciones que conforman el tratamiento mineral se pueden dividir en cuatro grupos: conminución o reducción de tamaño, clasificación, concentración y refinación.

La concentración de minerales es uno de los procedimientos más simples y económicos comparándolos con otros, se los realiza después de extraer el mineral y permite recuperar valores en un rango amplio, en donde las partículas de mineral son separadas de acuerdo con su diferencia de densidad. En la concentración se aprovecha la diferencia de propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales para obtener la segregación de dos o más especies; en los equipos de concentración gravimétrica una corriente llamada alimento se divide en dos: el concentrado que es aquel que tiene un contenido elevado de mineral de interés y las colas que poseen bajo contenido, es por esto que las empresas productoras optimizan los procesos de concentración, buscando menores costes operativos y encontrando así una alternativa en los distintos métodos de separación o concentración gravimétrica de concentrados auríferos.

Según (Valarezo, Córdova, & Pardo, 2010). El Ecuador cuenta con una importante existencia cuantificada de depósitos auríferos, en los cuales se han venido trabajando desde décadas anteriores con extracciones y recuperaciones de oro, con métodos limitados y pobres que afectan de manera directa al medio ambiente y por lo cual es indispensable el desarrollo de nuevas tecnologías para el desarrollo de la industria minera en forma sostenible, haciendo posible la implementación de métodos de separación que

aprovechen diferentes propiedades físicas como la diferencia de peso específico de los sólidos.

Este proyecto de tesis pretende determinar un flujograma para concentración de oro aluvial, mediante la utilización del JIG, espiral y mesa vibratoria, calibrando los parámetros operacionales de tal manera que pueda ser ajustado a una granulometría y tamaño de corte deseado, y servirá como base para que el proceso de concentración a utilizarse, sea optimizado.

Se debe tener en cuenta que la aplicación de estos equipos es altamente factible, debido a sus bajos costos de inversión y bajos costos de operación, teniendo así, una gran posibilidad de fabricación local siendo adecuados para las fuentes de energía disponibles en el medio. Además, tienen un menor impacto ambiental directo y mayor aprovechamiento de recursos no renovables, la implementación de estos procesos concentradores reduce o evita impactos.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Concentración gravimétrica

La concentración gravimétrica es la operación que nos permite separar las partículas pesadas de las livianas, consiste en un procedimiento de separación sólido-líquido el cual se comporta como un fluido, lo que permite que exista una suspensión de las partículas gracias a la diferencia de sus densidades.

La concentración de minerales es una operación de separación del mineral de interés, de los otros componentes del material original (ganga) mediante la cual se obtiene un producto enriquecido y un rechazo pobre en el material valioso. (Concha, 2007)

Para esto, es posible implementar métodos de separación que aprovechan diferentes propiedades físicas, cada método emplea técnicas diferentes para la obtención de resultados de acuerdo a las propiedades del material a tratar y a las condiciones de operación, para lo cual se cuenta con diferentes equipos como: sedimentadores, hidrociclones, canaletas, mesas vibratorias, separadores magnéticos, separadores eléctricos, JIG, espirales, etc. (Concha, 2007)

Según Shubert, (1987) El método que más se acerca a una concentración por peso específico propiamente dicho, es el método de medios densos, conocido comúnmente como Método Sink and float, donde se realiza la operación en una pulpa pesada, es decir, en una suspensión. En el caso de una concentración en JIGS, los colectivos de granos se estratifican en un medio de corriente pulsante (generalmente agua y en casos especiales aire) especialmente de acuerdo al peso específico.

En el caso de las mesas húmedas, el proceso de separación se realiza en una capa delgada de corriente de agua, la misma que es imprescindible para el movimiento de los granos. Este movimiento se realiza sobre una superficie fija inclinada, la misma que realiza un movimiento oscilante, dando lugar a la separación bajo la influencia de diferentes fuerzas.

Las mesas a base de aire son similares a las mesas en forma húmeda, en lo referido a su construcción, diferenciándose de éstas solamente en su modo de trabajo. La separación en canaletas se realiza en forma semejante a la de las mesas, en una corriente de agua.

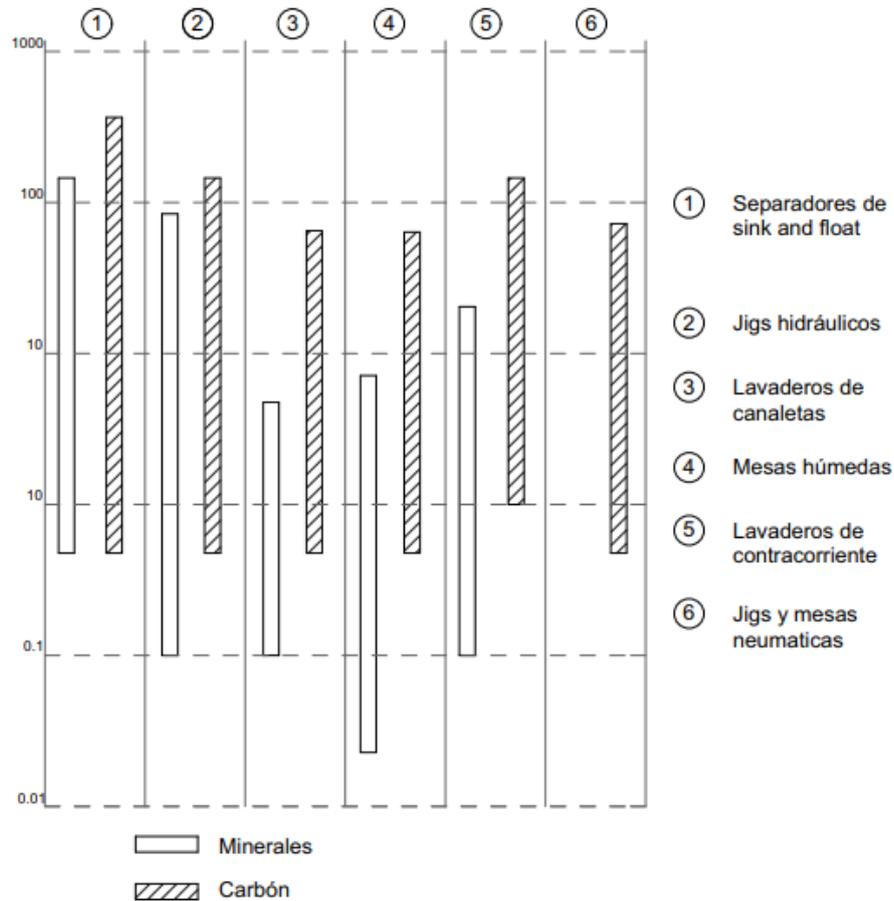


Figura 1.1 Ámbitos de tamaño de grano a elaborarse mediante una concentración por pesos específicos
Fuente: Tratamiento de Procesamiento de Minerales I

1.1.1 Concentración por Sink and Float.

Esta separación se basa en proporcionar al material a separar, un medio de separación cuyo peso específico se encuentre entre los valores de los componentes específicamente pesados y livianos de la alimentación. En este medio se sumergen los granos pesados y se mantienen en flotación los más livianos. (Shubert, 1987)

1.1.2 Propiedades físicas de pulpas pesadas.

La separación por sink and float es influido por las propiedades físicas del medio de separación, debido a que las pulpas pesadas se diferencian de forma notable de los líquidos newtonianos. (Shubert, 1987)

1.1.3 Viscosidad y comportamiento de flujo.

Según Shubert, (1987) Las pulpas pesadas son generalmente suspensiones acuosas, las que tienen un contenido de sólidos de 25 a 35 %. Son de gran influencia las acciones de

carga de los sólidos entre sí y de los sólidos con el agua, o la solución en la que se encuentran, que dependen principalmente de los siguientes factores:

1. Porcentaje en volumen de sólidos
2. Distribución del tamaño de grano
3. Forma del grano
4. Propiedades superficiales de los sólidos

1.1.4 Estabilidad

En pulpas pesadas para la separación de minerales, las partículas tienen que estar distribuidas en lo posible en forma homogénea en toda la pulpa para garantizar la estabilidad de la suspensión en la máquina concentradora. Es decisivo conocer el curso del proceso de sedimentación en dependencia del tiempo, bajo las condiciones correspondientes, por tal motivo se habla de pulpas de una estabilidad elevada y de pulpas de poca estabilidad, dependiendo esto de la velocidad de sedimentación, lo que hace no tener una dimensión física clara para la estabilidad. (Shubert, 1987)

Según Shubert, (1987) Los factores que influyen en la estabilidad son los siguientes:

- a) **El peso específico del material pesado** o también la diferencia de densidad entre el material pesado y el agua.
- b) **El porcentaje de sólidos en volumen**, al cual aumentándole transforma el comportamiento de flujo de la pulpa.
- c) **La distribución granulométrica del material pesado**. En el campo de Stokes la velocidad de caída de un grano es proporcional a d^2 , disminuyendo la finura en forma decisiva.
- d) **Otros**, como la forma de grano y la carga superficial de las partículas.

1.1.5 Principio de la concentración gravimétrica

- En general cuanto mayor es la diferencia de densidades que exista en el material más fácil será la separación, teniendo en cuenta que el oro es un metal que posee una densidad bastante alta es separada fácilmente de la ganga. Hay que tener en cuenta que en la separación por gravimetría están involucradas la diferencia de densidad y el tamaño de la partícula.

- 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. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.6 Índices metalúrgicos

Los principales objetivos de una concentración de minerales son:

- Elevar el tenor de un mineral en una corriente que se denomina concentrado C. Este tenor se denotará como t_c (ver figura 1.2).
- De acuerdo a lo dicho, en la corriente denominada colas se disminuirá sustancialmente el tenor de la especie mineral de interés (t_t), o lo que es evidente, se elevará el tenor de las especies minerales que acompañan el mineral de interés. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.7 Definición de Tenor

Se puede definir el tenor de un mineral como la relación entre la cantidad másica del mineral de interés, respecto a la cantidad másica o volumétrica en la mena.

De acuerdo a la definición anterior, tenemos lo siguiente:

Ecuación 1.1 Tenor

$$t = \frac{\text{Cantidad de mineral útil}}{\text{Cantidad total de minerales extraídos}}$$

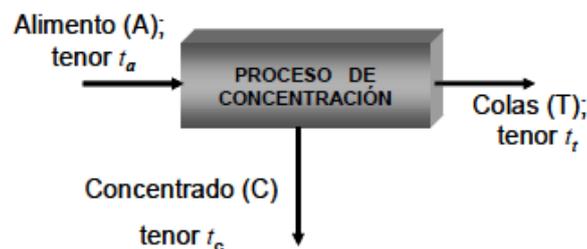


Figura 1.2 Esquema general de separación en un concentrador detallando la corriente de entrada (Alimento), y las corrientes de salidas (Concentrados y Colas)
Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Tabla 1.1 Diferentes métodos de concentración de minerales y algunos equipos empleados

Nombre del método	Propiedades que emplea para separar	Principales aparatos
Concentración gravitacional	Diferencia de velocidad de sedimentación de los minerales	Sedimentador, hidrociclón, JIG, canalones, canaletas, mesa vibratoria, espiral, conos de separación centrífuga, entre otros.
Concentración magnética	Susceptibilidad magnética (atracción o no frente a un imán)	Separador magnético de tambor, rodillos magnéticos, separador magnético tipo “carrusel”, etc.
Concentración eléctrica	Conductividad eléctrica	Separador eléctrico de alta intensidad
Flotación espumante	Hidrofobicidad y/o hidrofiliidad del mineral (mojamiento o no)	Celdas de flotación y columnas de flotación
Floculación selectiva	Adsorción específica de un polímero y formación del floculo	Sedimentador
Coagulación selectiva	Adsorción específica de iones inorgánicos y formación de un coágulo	Sedimentador

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.8 Fundamentos de la concentración gravimétrica

Los métodos de concentración por gravimetría llevan a cabo un efecto de suspensión ya sea total o parcial de las partículas del material; y la separación de sólidos – líquidos se efectúa por el movimiento de dichas partículas y por el medio en el que éstas se encuentran, que por lo general es agua. Algunos fundamentos son claves en este proceso

ya que deben cumplir ciertas condiciones para que la operación sea óptima. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.9 Criterio de concentración

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

Ecuación 1.1 Criterio de Concentración

$$C - C = \frac{P\rho - \rho f}{\rho 1 - \rho f}$$

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Dónde:

C-C= Criterio de Concentración.

Pp= Densidad de las partículas pesadas.

p1= Densidad de las partículas livianas.

pf= Densidad del fluido.

Si esta razón es mayor a 2.5 ya sea positivo o negativo, la separación gravimétrica será relativamente fácil para material por debajo de los 75 um (tamaños hasta 200 mallas). A medida que esta razón disminuye, la eficiencia de la separación también disminuye; en valores de 1.75 la concentración será posible para material por debajo de los 150 um (entre 65 a 100 mallas). En valores de 1.5 la concentración suele ser muy difícil y valores iguales a 1,25 se consideran la razón límite inferior para la separación húmeda por gravimetría. (Taggart, 1945)

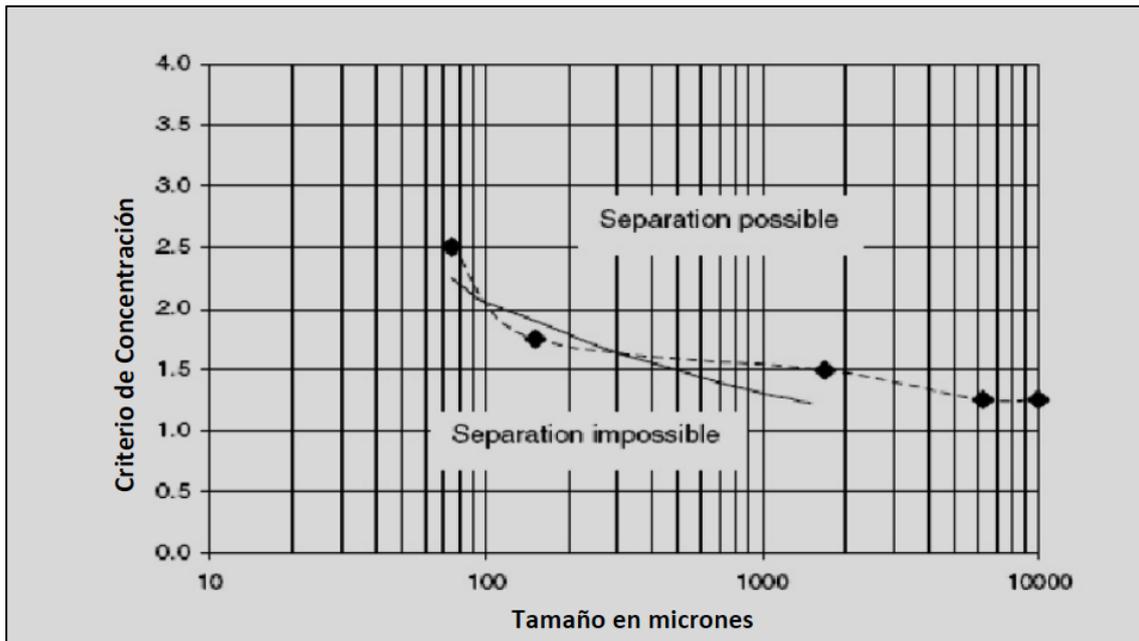


Figura 1.3 Aplicabilidad de la concentración gravimétrica según su criterio de concentración
Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.10 Recuperación

La recuperación es la relación entre la cantidad de mineral útil en peso del concentrado y la cantidad en peso de alimentación.

Ecuación 1.2 Recuperación del mineral

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

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Dónde:

R=Recuperación

c= Porcentaje o ley útil en concentrado

C= Cantidad en peso del concentrado

a= Ley 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 acumulado.

1.1.11 Razón de concentración (RC):

Se define como la razón entre el peso de material que entra en la alimentación A con respecto al peso del concentrado C, es decir:

Ecuación 1.3 Razón de concentración

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

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.12 Razón de enriquecimiento (Re):

Es la relación entre el tenor del concentrado c (ley del concentrado) respecto al tenor de la alimentación (ley de cabeza).

Ecuación 1.4 Razón de enriquecimiento

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

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.13 Requerimientos para una eficiente concentración gravitacional

- ✓ **Una buena Liberación de partículas.** Si son partículas mixtas la separación entre ellas no sería clara.
- ✓ **Distribución de tamaños en alimentación.** Por más pesada que sea una partícula si tiene un diámetro muy pequeño se comportaría hidráulicamente como una liviana y por lo tanto no habría una buena separación. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Rango de tamaños de partícula en la alimentación (feed)	10 mm	1.0 mm 18 mesh 1000 µm	0.1 mm 140 mesh 100 µm	0.075 mm 200 mesh 75 µm	0.045 mm 325 mesh 45 µm	0.001 mm 1 µm
Concentración Gravimétrica y Clasificación por vía húmeda						
Jigs	▾					
Espiral (Spiral)		▾				
Mesas de sacudidas (Shaking Table)		▾				
Separador Multi-Gravedad (Multi-Gravity)			▾			
Separador de densidad (Density Separator)		▾				
Hidroclones (Hydrocyclones)			▾			

Figura 1.4 Influencia del tamaño de alimentación en la selección del método de separación gravimétrica. Fuente: (Cartagena U. P., 2011)

1.1.14 Tamaño de liberación

Para todas las formas de concentración por gravedad es un requisito previo triturar el material a un tamaño suficientemente fino para que las partículas sean en su mayor parte de una sola especie mineral. Quedan siempre en alguna proporción partículas trabadas o granos de tamaño mediano, cuyo efecto es diluir el concentrado o enriquecer el desecho. (Solís & Torres, 1994).

1.1.15 Centrifugación

La centrifugación es una técnica de sedimentación por el uso de una fuerza centrífuga, logrando así la separación de partículas de un material.

Cuando llevamos a cabo este proceso (ya no en el material solamente sino la solución como tal), se rompe la homogeneidad y se produce la separación del soluto y del disolvente. Las primeras partículas en sedimentar son las de mayor masa. Es decir, los procesos de separación gravimétricos pueden verse acelerados y optimizados mediante el uso de un equipo centrífugo. (Ávila, 2017)

1.1.16 Razones de sedimentación

Es la razón del diámetro de la partícula ligera respecto al diámetro de la partícula pesada que se está sedimentando. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

1.1.17 Equipos concentradores a utilizarse

A continuación, observaremos los equipos gravimétricos de concentración a utilizarse:

1.2 Mesa Vibratoria

Es una máquina con capacidad de separar diferentes elementos según su peso específico.

El tamaño máximo de las partículas tratadas en la mesa vibratoria es de 2 a 3 mm y el tamaño mínimo es del orden de 75 micrones. (Pavez, 2005)

1.2.1 Funcionamiento:

Su plataforma móvil simula movimientos sísmicos sobre una estructura, estas mesas permiten simulaciones de hasta seis grados de libertad, los movimientos producidos deberán ser correctamente controlados para obtener el resultado deseado. Su

funcionamiento consiste en una combinación de movimiento oscilatorio en conjunto con un flujo de agua.

El material concentrado contiene minerales de mayor peso específico o tamaños grandes, que en el caso del trabajo de grado sería el oro libre y no necesitaría un tratamiento posterior. Los medios como su nombre lo indica poseen partículas de mediano tamaño y las colas se encuentran compuestas por partículas muy finas, pero podrían contener partículas muy finas de materiales pesados como el oro, por ende, para el trabajo de investigación, el producto de los medios y las colas deberá ser tratado en procesos posteriores como la flotación, para de esta manera obtener una mayor recuperación de oro. (Pavez, 2005)

El diseño de la mesa vibratoria está compuesto por dos regiones una lisa y otra con riffles, La región o superficie con riffles, se encuentra ubicada paralela al eje longitudinal, formando canales entre sí, que van disminuyendo en altura a medida que se aproximan al extremo lateral de la mesa, donde se encuentra la región lisa. Las partículas minerales que son depositadas en la mesa vibratoria sufren un movimiento horizontal asimétrico, producido por un motor, generando un desplazamiento de las partículas hacia adelante. (Pavez, 2005)

En los espacios entre los riffles, es donde se depositan los minerales pesados y los minerales livianos quedan más cercanos a la superficie, como se puede ver en la Figura 1.5, en donde las partículas de color negro es el material de mayor densidad, mientras que las partículas de color blanco es el material de baja densidad. La concentración final tiene lugar en la región lisa, donde es depositado el concentrado o partículas pesadas. (Pavez, 2005)

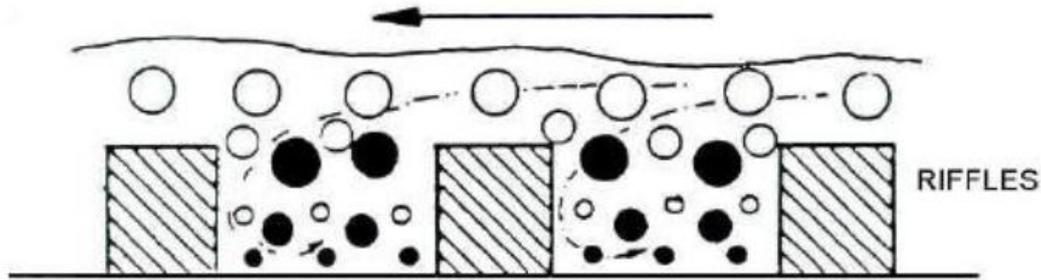


Figura 1.5 Distribución de partículas dentro de la mesa vibratoria.
Fuente: (Pavez, 2005)

La mesa de concentración es ampliamente para la separación por gravedad de material fino que no puede procesarse por los JIGS.

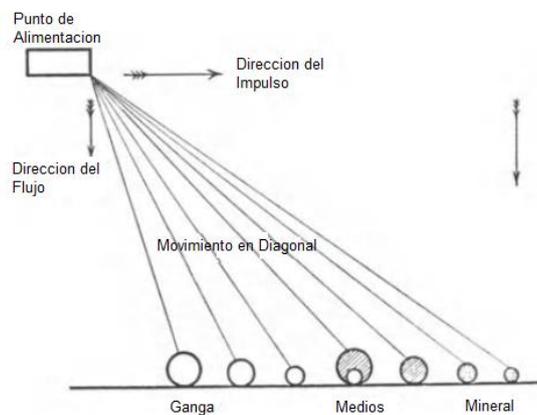


Figura 1.6 Efecto del flujo de partículas con desplazamiento lateral.
Fuente: (911 Metallurgy Corp., 2012)

Considere un número de esferas rodando hacia abajo de una superficie ligeramente inclinado y bajo la influencia de una película formada por un flujo de agua. Una cierta cantidad de las esferas (oscuras) representan mineral pesado y los otros (en blanco) son la ganga. La esfera más grande viaja más rápido y la más pequeña más lento, bajo la influencia combinada del flujo y la caída gravitacional. De dos esferas teniendo la misma densidad, lo más grande se mueve más rápido. En el caso de dos esferas teniendo el mismo diámetro, si la inclinación es relativamente suave y el efecto hidráulico relativamente fuertemente, la esfera más ligera viaja más rápido. Si durante este movimiento descendente la superficie se mueve hacia los costados, entonces el desplazamiento horizontal de la esfera varía en base a la longitud de tiempo que se requieren para moverse hacia abajo. (911 Metallurgy Corp., 2012)

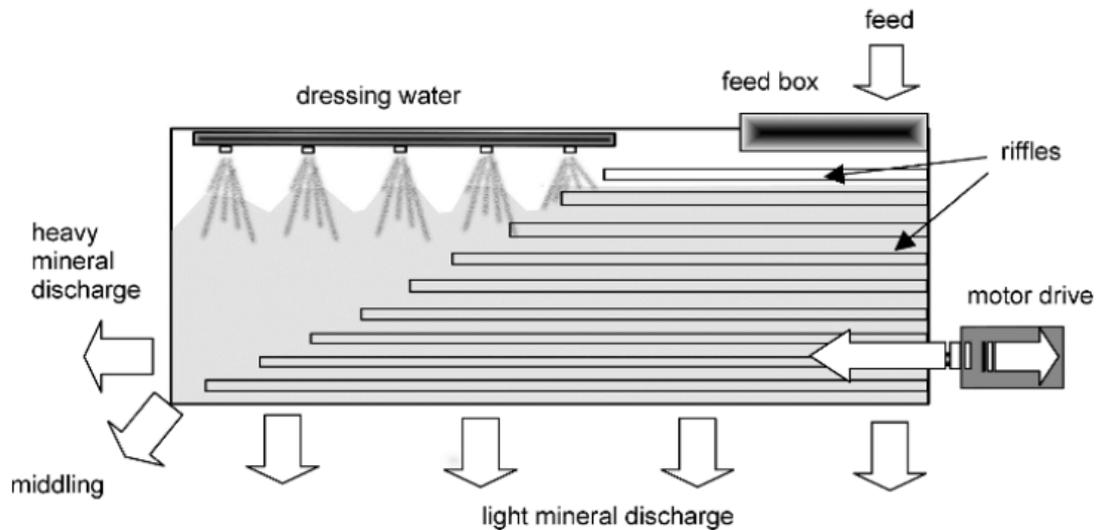


Figura 1.7 Movimiento de la mesa vibratoria.
Fuente: (911 Metallurgy Corp., 2012)

La figura demuestra cómo la esfera ligera más grande experimenta casi nada su desplazamiento horizontal debido a su rápida velocidad, mientras que la esfera pesada de menor tamaño es llevada lejos hacia un costado. Según lo dicho, la alimentación puede ser esparcida en bandas según el tamaño y densidad de sus partículas, si un movimiento de desplazamiento puede ser aplicado a una superficie plana. El alimento segregará tres productos principales si las bandas son colectadas en depósitos separados a medida que dejan la cubierta plana.

1. Movimiento rápido, mineral grueso (ganga)
2. Movimiento intermedio, mineral fino y partículas mixtas (medios).
3. Movimiento lento, partículas pesadas finas (concentrado).

Una partícula lo suficiente ligera como para responder principalmente para la influencia hidráulica de la película de agua que se moverá hacia abajo con desplazamiento horizontal pequeño. Una partícula típica, a diferencia de una esfera ya sea se deslizará o saltará hacia abajo, más que un rodillo en movimiento, tendrá libertad de moverse. Con la excepción del uso limitado del movimiento de sacudidas para concentrar oro metálico, el desplazamiento lateral continuo a través de la mesa de clasificación no puede manejar un tonelaje adecuado y no es usado en planta. (911 Metallurgy Corp., 2012)



Figura 1.8 Estratificación progresiva en el riffle
Fuente: (911 Metallurgy Corp., 2012)

Mientras más lento la partícula viaja corriente abajo, se desliza más baja la influencia del movimiento de sacudidas.

Las partículas menores y más pesadas alcanzan la cubierta, las grandes y más ligeras están en la parte superior, con una mezcla de partículas grandes pesadas y ligeras pequeñas en el medio del estrato medio. Este acomodamiento expone las partículas grandes y ligeras a la máxima fuerza del movimiento de la película de agua hacia abajo de la mesa; esta es una fuerza que puede controlarse en la intensidad variando el volumen de agua usado y la inclinación de la cubierta. Es posible ejercer algún grado de acción de arrastre para acelerar el movimiento descendente del estrato más alto sin alterar los más inferiores. (911 Metallurgy Corp., 2012)

1.2.2 Capacidad de la mesa vibratoria

La capacidad de la mesa vibratoria depende de lo siguiente:

- **Amplitud y frecuencia de golpe:** para una alimentación fina se utiliza golpes cortos a velocidades relativamente altas, mientras que lo contrario, se utiliza en alimentación gruesa. (Maistri, 1993)
- **Inclinación longitudinal y transversal:** es el nivel existente entre el extremo de alimentación hasta el extremo de descarga de las colas, la misma que debe ajustarse al mínimo posible para obtener una buena distribución de arenas, la inclinación debe ser moderada para que las partículas de mayor densidad, escalen más rápido que las livianas, de tal manera se consigue una adecuada separación entre concentradores, mixtos y colas. 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)

- Granulometría de la alimentación.
- Cantidad de agua.
- Características del mineral a procesar.
- Densidad de partículas útiles y estériles
- **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).

Ventajas:

- Continúa descarga del producto.
- Obtiene (concentrados, mixtos y colas)
- Visibilidad del material sobre el tablero.
- Manejo y supervisión simple
- Buena recuperación y alto índice de enriquecimiento.
- Poco uso de agua y energía.

Desventajas:

- Requiere alimentación constante.
- Es necesario una supervisión continua
- Necesita motor.



Figura 1.9 Mesa Vibratoria tipo Deister de la Universidad del Azuay
Fuente: (Rivera, 2017)

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. (Rivera, 2017).

Los rifles deben:

- Ayudar a la transmisión de la acción de golpe para la carga.
- Exponer el estrato sobresaliente de arena, después de que se haya estratificado, para el flujo cruzado de agua de lavado.
- Promover la entrega de pulpa los siguientes rifles, zonas de lavado o puntas de descarga.

Existe el mal uso de rifles de gran altura por encima del resto, en algunos casos se ha usado para esparcir alimentación. Los rifles deben tener la una altura inicial similar para que la acción de estratificación y transporte no sean alterados.

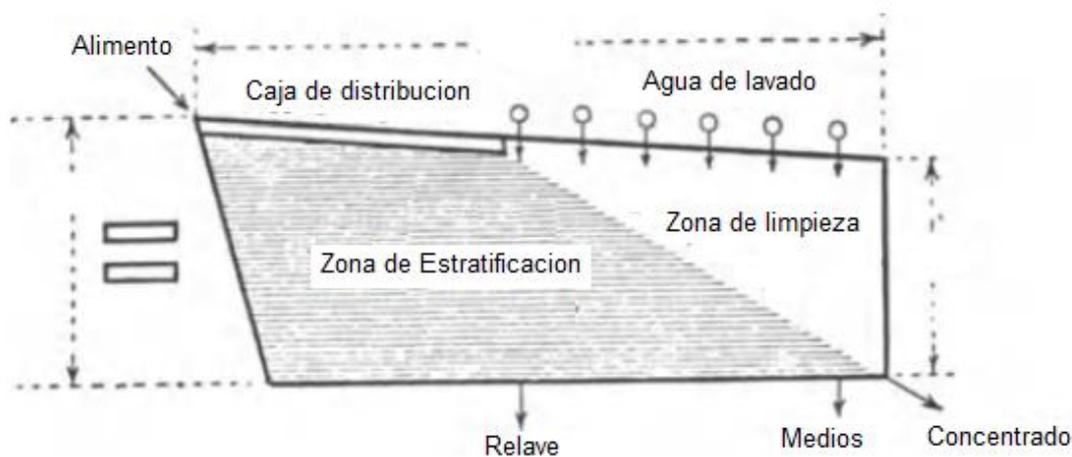


Figura 1.10 Riffles Mesa Wilfley
Fuente: (911 Metallurgy Corp., 2012)

1.3 Espiral

La espiral de concentración consiste en una canaleta helicoidal con cuatro a siete vueltas, principalmente se usa para la pre-concentración de materiales auríferos, tanto primarios como secundarios; en caso de escasez de agua, se puede recircular la misma.

El primer tipo de espiral Humphrey fue desarrollado en el año de 1945 en los Estados Unidos el principio de accionamiento o funcionamiento se basa en el aprovechamiento de fuerzas centrífugas para la concentración este principio se ha mantenido hasta la actualidad, pero cabe recalcar que ha ido evolucionando en cuanto a diseños y técnicas de fabricación de las mismas. (Shubert, 1987)

Los materiales de construcción para las espirales han evolucionado desde la madera y hierro fundido hasta el poliéster reforzado con fibra de vidrio, pasando por aleaciones, hormigón, goma, etc. En la actualidad los fabricantes emplean poliéster reforzado con fibra de vidrio, con recubrimientos de poliuretano o goma.

1.3.1 Funcionamiento

La espiral consiste de un canal helicoidal cilíndrico con sección transversal semi-circular modificada. En la parte superior existe una caja destinada a recibir la alimentación en forma de pulpa. A medida que ella se escurre, las partículas más pesadas se encuentran en una faja a lo largo del lado interno del flujo de la pulpa y son removidas por aberturas localizadas en la parte más baja de su sección transversal. (Carvajal & Chávez, 2015).

En las espirales el principio de funcionamiento se trata de una combinación de escurrimiento laminar y acción centrífuga. Se puede distinguir tres tipos de corrientes: una corriente principal a lo largo de la canaleta, una corriente en el fondo de la canaleta cuya corriente principal está dirigida hacia el interior y una corriente transversal en la superficie exterior de la pulpa que está dirigida hacia afuera.

La pulpa una vez introducida en la espiral fluye en las cinco o seis secciones de dos maneras: la película fluida conteniendo los minerales generalmente gruesos y pesados los mismos que se depositan casi inmediatamente y donde esta película se mueve con una velocidad mucho menor que la corriente fluida que contiene los minerales livianos.

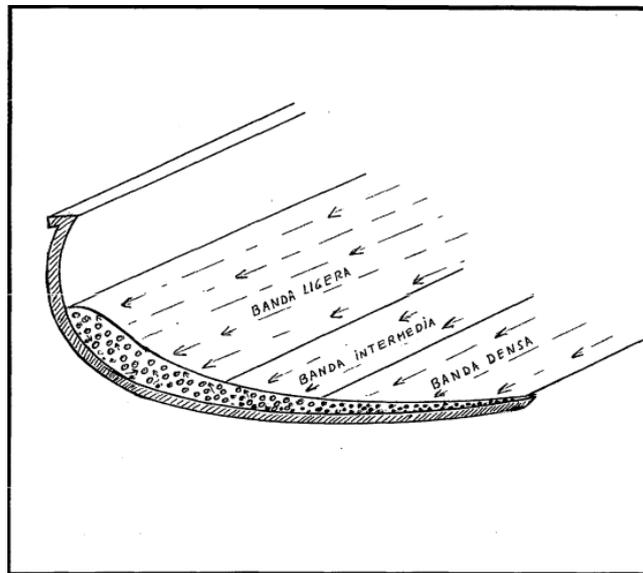


Figura 1.11 Sección Transversal de un espiral
Fuente: (Taggart, 1945)

Si se desprecian las fuerzas de arrastre que se originan en la velocidad radial del medio, las fuerzas que actúan sobre un grano singular que está en contacto con el fondo de la canaleta son:

- a) **Peso aparente**

$$G' = V (\gamma - \xi) g$$

- b) **La fuerza centrífuga**

$$Z' = V (\gamma - \xi) \frac{v^2}{r}$$

- c) **Las fuerzas de arrastre del medio que se originan por la velocidad transversal turbulenta vertical al fondo de la canaleta**

$$S_* = cA\xi \frac{u^2}{2}$$

- d) **La fuerza de rodamiento**

$$R = \mu (Z' \sin\beta + G' \cos\beta - S_*)$$

Mientras sea $S_* < Z' \sin\beta + G' \cos\beta$, el grano queda en contacto con el fondo de la canaleta pudiendo plantearse la siguiente ecuación para el equilibrio de fuerzas, en el caso de suponer la forma esférica del grano

$$Z' \cos\beta - G' \sin\beta \pm \mu (Z' \sin\beta + G' \cos\beta - S_*) = 0$$

1.3.2 Parámetros de Operación:

- La capacidad de tratamiento de sólidos varía de 0,5 a 2,5 ton/h, la tasa más utilizada es 1,5 ton/h. El flujo de pulpa de la alimentación depende de las características de la mena. Para materiales finos se aconsejan flujos de 50 a 60 Lt/min; para materiales medios, 70 a 90 L/min y para materiales gruesos, entorno de 110 Lt/min. (Carvajal & Chávez, 2015)
- El consumo de agua para cada espiral, incluyendo el agua de lavado, varía de 50 a 110 Lt/min. Industrialmente, esta agua es normalmente recuperada y recirculada. Debe señalarse que la nueva generación de espirales no necesita aporte de agua de lavado ya que funciona eficientemente sin el uso de esta agua.
- El porcentaje de sólidos es de 20 a 30%, pulpas que contienen granulometría gruesa pueden operar con hasta 50% de sólidos. Sin embargo, las espirales más modernas pueden trabajar con porcentajes de sólidos superiores a los convencionales, 30 a 50%.
- La forma o tamaño de las partículas puede influir de tal forma a la concentración que en ciertos casos, tratando minerales de pesos específicos muy próximos se puede alcanzar una buena separación. (Carvajal & Chávez, 2015)

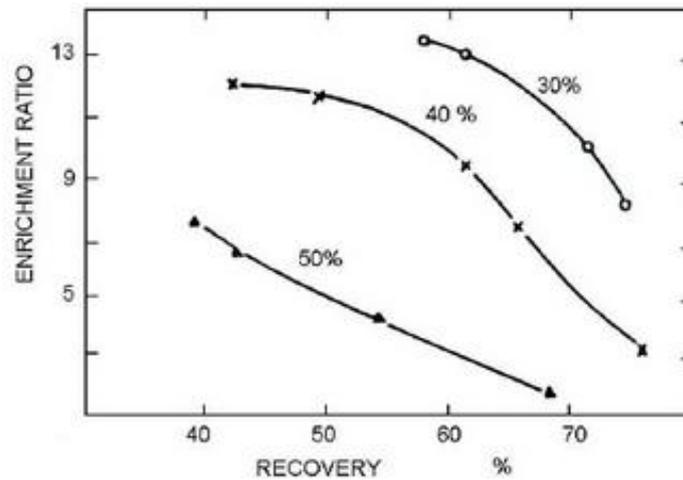


Figura 1.12 Efecto del Porcentaje de Sólidos en el Rendimiento de una Espiral
Fuente: (Auris Huayta, et al., 2013)

1.3.3 Granulometría de alimentación

Los límites granulométricos de los minerales pesados contenidos en la pulpa deben ser de 8 mallas hasta 200 mallas. El tamaño de los minerales de bajo peso específico contenido en la pulpa no es crítico, pudiendo variar hasta 4 mallas sin perjudicar el desempeño. Cuanto más amplio es el rango granulométrico, menor será la eficiencia del equipo. Por otra parte, debe señalarse que la eficiencia de las espirales disminuye para granulometrías inferiores a 200 mallas. (Carvajal & Chávez, 2015)

1.3.4 Pesos específicos de los minerales a separar

La diferencia de pesos específicos entre los minerales útiles y los minerales de la ganga debe ser siempre mayor que 1, o para que se obtenga una concentración satisfactoria. La eficiencia tiende a incrementarse con el aumento de los pesos específicos de los minerales pesados.

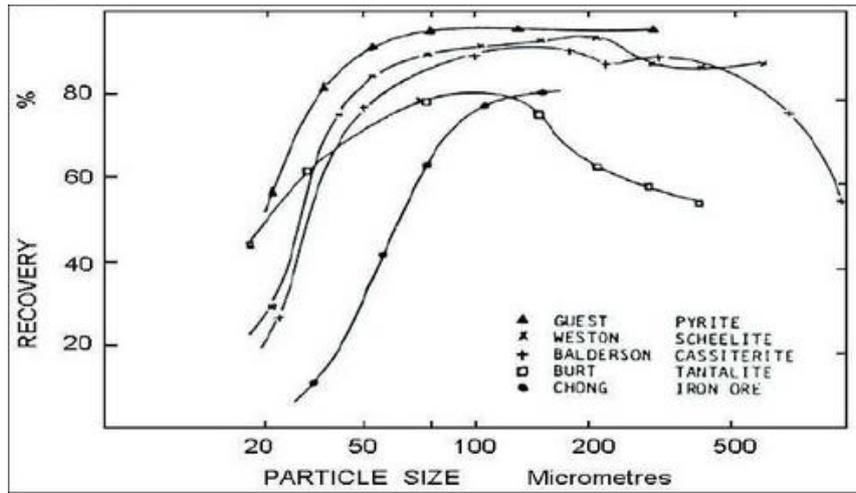


Figura 1.13 Recuperación vs Tamaño en concentración con espirales
 Fuente: (Auris Huayta, et al., 2013)

1.3.5 Principio de Funcionamiento

Según (Taggart, 1945) el movimiento helicoidal que adquiere la pulpa en su bajada, hará que las partículas más pesadas se dirijan a la zona interna por saltación mientras que las ligeras dirigirán a la zona externa por suspensión.

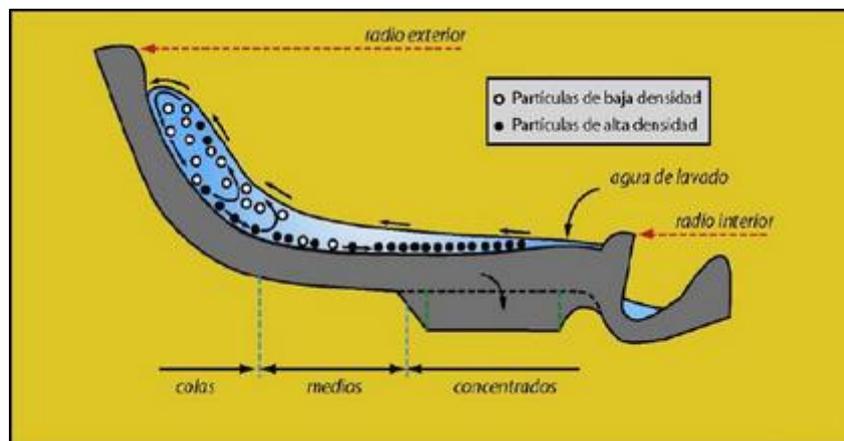


Figura 1.14 Sección transversal de la artesa de una espiral y distribución de las partículas sobre ella.
 Fuente: (Auris Huayta, et al., 2013)

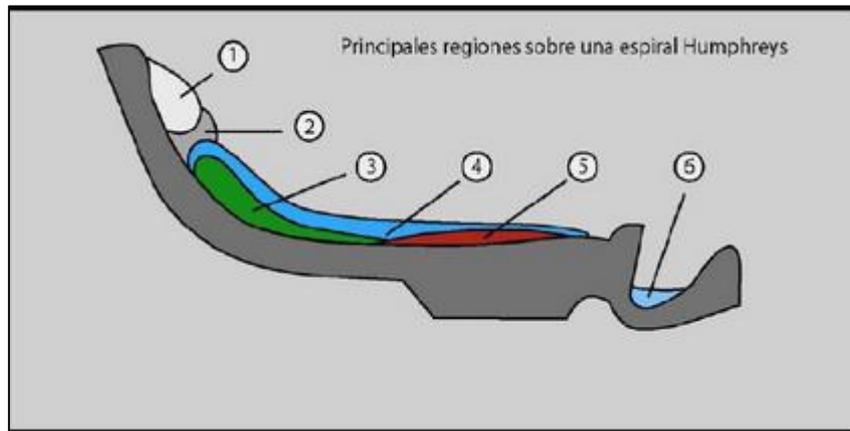


Figura 1.15 Regiones de trabajo sobre una sección transversal.
Fuente: (Auris Huayta, et al., 2013)

Región 1: Esta región de agua elevada consiste principalmente de agua y partículas finas, la mayor parte de las cuales han quedado atrapadas aquí desde el alimentador. El agua presenta aquí un movimiento antihorario. En esta región no hay separación debido a la baja densidad de pulpa y a la alta velocidad de la pulpa que impiden cualquier sedimentación de las partículas densas.

Región 2: Esta franja es la región con la máxima velocidad del agua, y representa por tanto la máxima fuerza centrífuga del agua, moviéndose el agua hacia abajo e interrumpiendo cualquier movimiento entre las regiones 1 y 3.

Región 3: Esta región es considerada la región superior con una velocidad muy alta de pulpa. El agua en esta región se mueve en sentido horario y la mayor parte de la separación tiene lugar en ella. Las partículas más densas sedimentan en el fondo y caminan hacia la región 5. Al mismo tiempo, las partículas menos densas son suspendidas en la alta velocidad del agua y son llevadas a la región 2.

Región 4: Esta pequeña región es donde las regiones 3 y 5 se solapan. Sirve como punto de referencia para los operadores espirales.

Región 5: Es la región donde se concentran las partículas de mayor densidad. Las partículas menos densas de esta región se dirigen hacia la parte alta la capa de pulpa y entonces son llevadas lejos por el agua que fluye sobre la superficie de la capa de pulpa. Este lavado se mejora con la introducción de agua de lavado a través de la región 6.

Región 6: Sobre los modelos de espiral tipo “wash water”, se añade un agua adicional para lavar las partículas menos densas antes de que las partículas densas sean recolectadas en el orificio de concentrados. (Auris Huayta, et al., 2013)

1.3.6 Clasificación:

- **Espirales de múltiples retiradas**

La espiral original Humphrey presenta cinco vueltas completas de hélice, la cual es un conducto helicoidal conectado a una columna central que sirve también para la descarga del concentrado. Se fabrican en segmentos de 120 grados (3 segmentos forman una vuelta). Se construyen en fierro fundido y en fibra de vidrio

- **Espirales de retiradas limitadas**

La tecnología opta por la construcción de espirales con menos puntos de retirada de concentrado, varias con un único punto en el fondo de la hélice. El agua de lavado ha sido reducida e incluso en algunos casos ha sido eliminada. (Auris Huayta, et al., 2013)

1.3.7 Funcionamiento

Su funcionamiento es similar a una batea cónica, las partículas livianas se mueven hacia el borde por acción del agua y las partículas pesadas se concentran en el centro, donde la fricción actúa para reducir la velocidad del material. Debido a la forma de la espiral de concentración, las fuerzas centrífugas en la pulpa, llevan al material más liviano hacia afuera (borde) y el material pesado permanece adentro (centro).

Las espirales pueden ser utilizadas para una variación de tamaño de grano desde 2mm hasta aprox.30mm. (Navarro, 2017)

Por lo general, las espirales se caracterizan por su alta recuperación, pero también por su bajo factor de enriquecimiento, y es debido a este motivo que las espirales son utilizadas exitosamente en la fase de pre concentración o como "Scavenger" (para la recuperación de minerales residuales de valor de las colas).

Al final de la espiral están las salidas de los productos (concentrado, mixtos, colas y agua). El agua generalmente contiene los lodos. Mediante los cortadores se puede definir el ancho de la ceja del concentrado y de los mixtos.

Según la posición de los cortadores, se pueden obtener los siguientes productos:

Tabla 1.2 Alternativas para la selección de diferentes productos en una concentradora espiral.

Concentrado	Mixtos	Colas
Alternativa a)	Piritas y oro (alta ley en oro)	Pirita-oro-cuarzo
Alternativa b)	Piritas y oro (baja ley en oro)	Piritas entremezcladas para remolienda

Fuente: (Burt R., 1984)



Figura 1.16 Espiral de Concentración
Fuente: Propia

Las espirales no son apropiadas para el enriquecimiento de los concentrados obtenidos a través del lavado en canaletas. Sin embargo, no hay duda que las espirales pueden ser utilizadas efectivamente incluso como un reemplazo de las canaletas, combinadas con otro equipo para la concentración secundaria de pre-concentrados (mesas concentradoras, por ejemplo). (Burt R., 1984)

1.3.8 Ventajas

- Producción continua de pre-concentrados
- Extracción de un producto intermedio (como sulfuros)
- No requieren impulsión motriz
- Requiere poco mantenimiento
- Fáciles de operar

1.3.9 Desventajas

- Necesita material de alimentación menor a 1mm
- Bajo grado de enriquecimiento (por esto, tiene mayor uso en la etapa de pre-concentración)

1.3.10 Aplicaciones

Las espirales se aplican de la siguiente forma:

- Producción de un concentrado y un relave en una sola etapa.
- Producción de un concentrado final y el relave se trata en otro proceso.
- Producción de un concentrado Bulk de varios minerales pesados (la separación se realiza por otro proceso) y un relave final.
- Tratamiento del Scavenger de otro proceso.
- En circuito cerrado de molienda, en la recuperación de minerales pesados ya liberados.

Las principales aplicaciones:

- Tratamiento de menas de hierro.
- Tratamiento de arenas de playa.
- Tratamiento de cromita, tantalita y oro.
- Tratamiento de carbón.

1.4 JIG

El JIG es un equipo de concentración gravimétrica, que permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un fluido que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, debido a la pulsación producida del líquido por diferentes medios.

En los JIGS la separación de minerales de diferentes pesos específicos se logra en una cama, la cual recibe un flujo de agua por pulsación de tal manera que en ella se forman estratos de mineral. (Ávila, 2017)

1.4.1 Funcionamiento

Debido al golpe, la cama se levanta normalmente en masa, luego tan pronto comienza la succión, esta tiende a aflojarse, las partículas de la parte inferior caen primero mientras la cama completa esté suelta. Al final de la succión del golpe la cama se cierra nuevamente y esto se repite para cada golpe, la frecuencia normalmente varía entre 55 –330 golpes por minuto. Las partículas finas tienden a pasar por los intersticios de las partículas grandes que se han estabilizado sobre el cedazo. (Alcalá Cruz, Flores Corrales, & Beltrán Alfonso, 2012).

El objetivo de la pulsación es aflojar el material de la cama de tal manera que las partículas grandes y de mayor peso específico caigan primero hasta el cedazo y puedan pasar por sus perforaciones los de menor tamaño que ellas y los de mayor tamaño se queden sobre el mismo formando parte de la cama.

El JIG es normalmente usado para concentrar material relativamente grueso y, si el material de alimentación es relativamente uniforme, entre 3-10mm, no es difícil lograr una buena separación de minerales con un rango de pesos específicos estrecho en la alimentación y si la diferencia de pesos específicos es mayor la separación será mejor. (Navarro, 2017).

1.4.2 Tipos de JIG

- **JIG Manual:** Basado en el principio de cribado hidráulico a mano, el mismo que necesita un tamiz, una espátula y un recipiente de agua
- **JIG de Tamiz movable:** Constan de un tanque de jigging o cribado, su estructura, un tamiz, mecanismo para dar al tamiz la oscilación vertical que necesita, alimentador, mecanismos de suministros de agua y dispositivos para remover las colas y conducir el concentrado.
- **JIG de Tamiz fijo:** Tienen rejillas estacionarias horizontales que están empotradas en conductos verticales a través de los cuales el agua se impulsa de modo intermitente mediante mecanismos. (Navarro, 2017)

Existen 3 tipos de JIGS de tamiz fijo:

- a. **De émbolo:** El JIG Harz es el JIG de émbolo más conocido, está constituido por dos o más compartimientos, con sus tamices respectivos. Su mecanismo permite al émbolo moverse hacia arriba y hacia abajo produciendo el jigging.

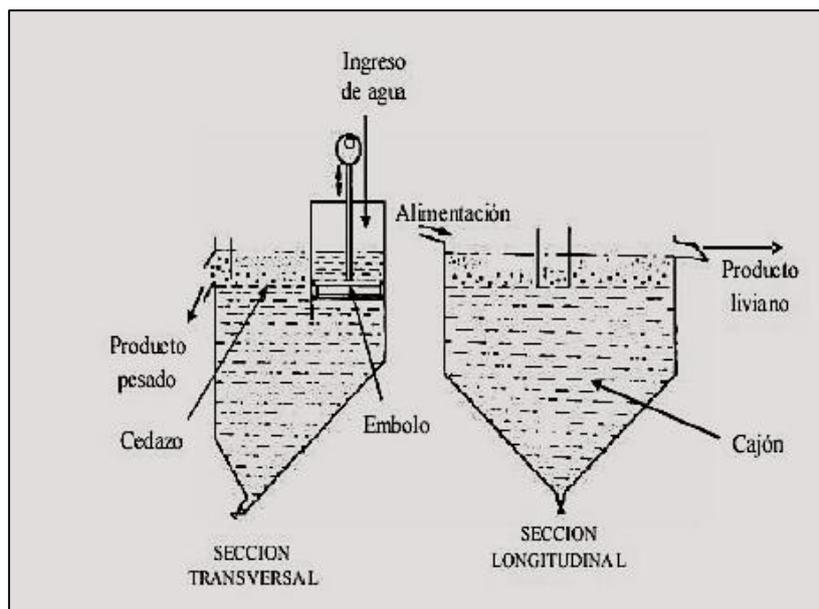


Figura 1.17 JIG Harz
Fuente: (SERGEOTECMIN, 2016)

- b. **De diafragma:** Las pulsaciones son producidas por movimientos alternos de una pared elástica del propio estanque. El JIG Denver es el equipo de tipo diafragma más conocido.

El JIG Denver se usa para recuperar minerales pesados como el oro. Es operado a altas velocidades que oscilan entre 300 y 350 pulsaciones por minuto. Las pulsaciones en el compartimiento precipitador se realizan por medio de un diafragma de caucho flexible, movido desde un eje excéntrico. (Solís & Torres, 1994).

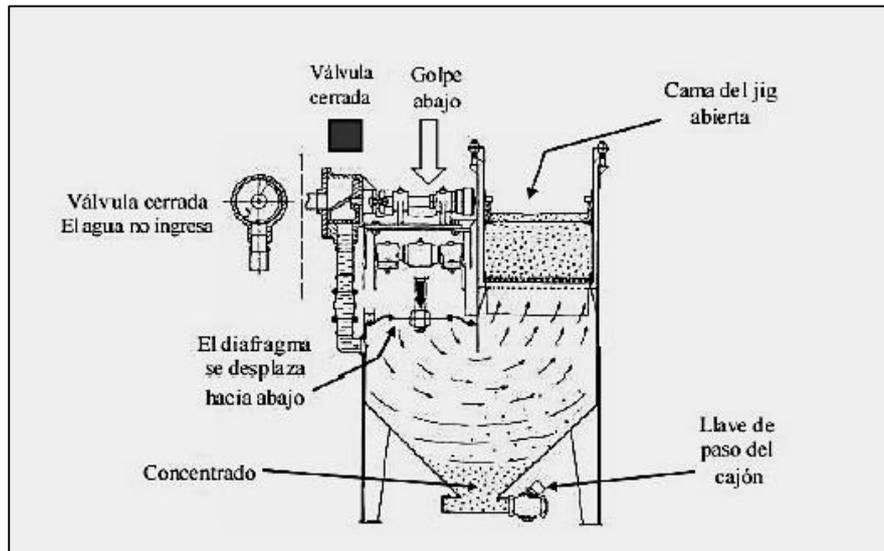


Figura 1.18 Esquema de funcionamiento del Jig Denver con la válvula cerrada.
Fuente: (SERGEOTECMIN, 2016)

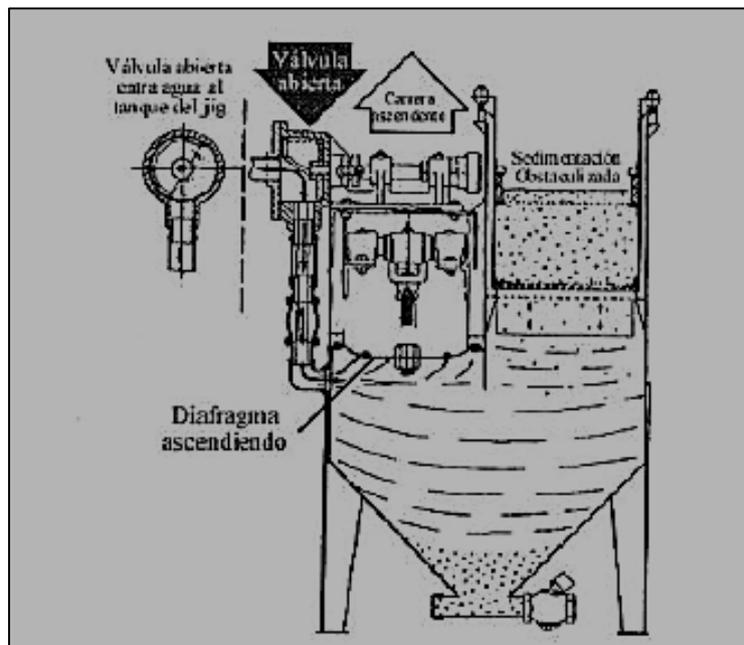


Figura 1.19 Esquema de funcionamiento del Jig Denver con la válvula abierta
Fuente: (SERGEOTECMIN, 2016)

- c. **De pulsación:** En los cuales las pulsaciones son producidas por chorros discontinuos periódicos del agua y del aire. (Navarro, 2017)

1.4.3 Elementos constitutivos de un Jig

- 1 **Caja con fondo perforado:** Está construida de hierro para que su desgaste sea lento. La alimentación se la realiza a la caja de tal manera que el material es distribuido sobre todo el ancho del tamiz.; el desecho rebosa por el borde horizontal del tamiz.
- 2 **Depósito o cama hidráulica de agua:** Está provisto de grifos para la descarga continua del concentrado fino.
- 3 **Dispositivos mecánicos para producir las pulsaciones:** consta de motor, pistón, diafragma, sistema de lubricación.
- 4 **Dispositivos de descarga del flotado y del hundido:** puede ser de forma continua y automática.



Figura 1.20 JIG de Concentración de la Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay.
Fuente: Propia

1.4.4 Parámetros que intervienen en el cribado hidráulico (jigging):

- a) **Abertura del tamiz:** afectan al cribado hidráulico, los orificios grandes hacen que los granos finos lleguen de manera fácil a la cámara hidráulica, mientras que los orificios pequeños respecto a la alimentación, es probable que provoquen una obstrucción del lecho por un tamiz muy fino.

La relación del diámetro del orificio del tamiz respecto al diámetro del grano en la alimentación varía desde 0.09 hasta infinito. JIGS que producen solamente productos de colas y concentrado fino en la cámara hidráulica pueden tener relaciones más grandes que 1. JIGS que no producen concentrado fino tienen relaciones menores que 1. (Solís & Torres, 1994).

- b) Intensidad de pistonada:** determina el grado de dilatación del lecho
- c) Cantidad de agua:** El agua puede ser admitida directamente sobre la cámara hidráulica o sobre el émbolo. La cantidad de agua que se precisa es proporcional al recorrido del émbolo y cabe recalcar que para materiales gruesos se requiere más agua que para materiales finos, ya que los granos más grandes sedimentan más rápido y el agua puede pasar hacia arriba en un pequeño número de grandes intersticios con mucho menos fricción que un gran número de pequeños intersticios. (Solís & Torres, 1994).
- d) Profundidad del lecho:** Esta variable se puede modificar, variando la altura de la compuerta de reboso del vertedero.
- e) Velocidad o frecuencia del golpe:** Determina cuántas revoluciones por minuto (rpm) debe dar el motor para alcanzar una velocidad necesaria para el depósito de las partículas de interés.
- f) Alimentación:** Es la cantidad de material que entra en el proceso en función del tiempo.
- g) Granulometría de la alimentación:** Es la variable que controla el tamaño óptimo que debe tener el material que entra al proceso. El tamaño de las partículas no deberá ser tan fino ni tan grueso para satisfacer las demás variables de funcionamiento. (Ávila, 2017)

1.4.5 Estratificación en JIG

El movimiento del JIG genera una estratificación que mejora la separación de las partículas finas livianas de las gruesas densas.

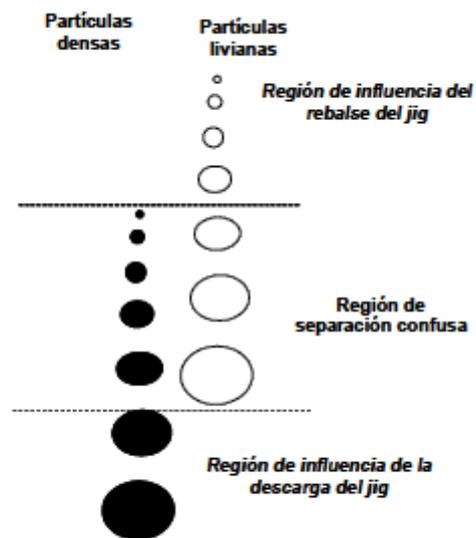


Figura 1.21 Estratificación del jig
 Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

El rebalse del JIG se caracteriza por estar enriquecido de partículas finas y livianas, y la descarga se favorece por estar enriquecido de partículas densas y gruesas. Sin embargo, hay un intervalo en donde la separación es difícil, debido a que las partículas finas densas tienden a salir del JIG por la misma corriente donde salen las partículas gruesas pesadas, por tal motivo no ocurre una separación clara entre grupo de partículas. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

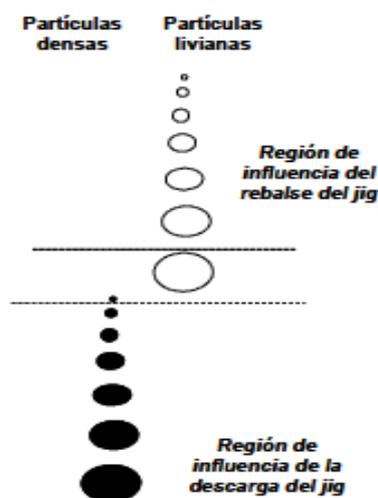


Figura 1.22 Estratificación optimizada en un jig
 Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

La optimización pretende disminuir el intervalo de separación antes mencionado.

1.4.6 Efectos principales para la estratificación de las especies minerales en el Jig.

Según Gaudin, (1939), son los siguientes:

- a. **Clasificación por caída retardada de las partículas:** La fuerza gravitacional ejercida en las partículas será en dirección contraria a la fuerza producida por las corrientes. Así, las partículas se dividen en dos categorías: aquellas en que la fuerza de gravedad es mayor que la impuesta por la corriente ascendente, y que por lo tanto se acumularán en el fondo, y aquellas partículas que no tienen esta fuerza gravitacional y serán arrastradas por la corriente ascendente.
- b. **Aceleración diferencial al inicio de la caída:** Cada partícula tendrá al inicio de la caída un determinado valor de aceleración que estará dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \left(\frac{Df}{Ds} \right) \right) * g$$

Dónde:

- Df es la densidad del fluido (kg/m³)
- Ds es la densidad del sólido (kg/m³)
- g es la gravedad (m/s²)

Las partículas estarán más afectadas por la aceleración inicial, y por lo tanto, por su densidad, que por su velocidad terminal y por lo tanto por su tamaño.

- c. **Consolidación intersticial en el final de la caída:** Las partículas pequeñas se depositan en los intersticios entre las partículas gruesas. La consolidación intersticial permite que los granos pequeños, pesados, se muevan a través de los intersticios, inclusive después que el lecho inicie su compactación.

CÁPITULO II

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

2.1 Obtención de muestra

El material se obtuvo de una terraza aluvial ubicado en el Cantón Limón Indanza perteneciente a la Provincia de Morona Santiago. El análisis mineralógico de las muestras obtenidas se realizó en el laboratorio de química de la Universidad del Azuay, previamente cuarteado, secado y tamizado.

2.1.1 Caracterización del material

Para este análisis utilizamos material previamente secado y tamizado que posee altas concentraciones de sílice, oro y arcilla. Dicho material fue tamizado considerando 2 números de mallas. La primera malla #10 (2 mm) y una malla final #30 (0.60 mm) El material que se utilizará es todo aquel que pase las dos mallas mencionadas anteriormente. El análisis mineralógico nos indica que tenemos una ley de cabeza de 5 gr/t con una densidad de 2.5gr/cm³.

2.1.2 Cuarteo y homogenización del Material

El muestreo es una operación de control que se realiza, con la finalidad de obtener pequeñas muestras de mineral, las cuales representan las cualidades y propiedades físicas y químicas del mineral original a tratarse; representan la obtención de una muestra representativa de un todo.

Existe varios métodos para homogenizar y cuartear el material, por el momento solo hablaremos del cuarteo manual en el cual interviene el operador usando una espátula, y el cuarteo mecánico se lleva a cabo con equipos de corte automatizado.

Desarrollamos un cuarteo manual de muestra para la caracterización del material, en la cual hemos tomado aproximadamente 300 Kg de material que serán distribuidos de acuerdo a los experimentos que se realizará en cada equipo gravimétrico.

Luego de haber realizado la clasificación granulométrica del material se procedió a una homogenización, la cual fue realizada sobre un plástico en el piso; y debido a que había

gran cantidad de muestra la homogenización se realizó por partes, para la correcta homogenización se tomaba las esquinas del plástico y se procedía a mover la muestra.

Una vez homogenizado el material, se separó la cantidad de material necesario para cada experimento en los tres equipos. (Espiral, Mesa Vibratoria, JIG).

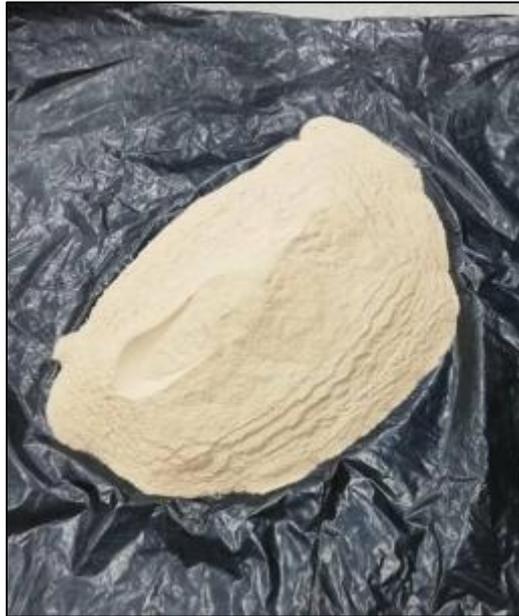


Figura 2.1 Cuarteo manual de la muestra
Fuente: Propia

2.1.3 Densidad del material (ρ)

La densidad de un material es la relación que existe entre la masa y el volumen del mismo. Para conocer la densidad de nuestro material procedimos a calcular mediante un picnómetro el mismo es un instrumento de laboratorio que se encuentra graduado y que nos permitirá conocer el volumen debido al aumento de agua que se producirá con un determinado peso de la muestra.

Ecuación 2.1 Densidad

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

Fuente: (Torrelavega, 2010)

δ = Densidad

m = Masa

v = Volumen

La densidad del material se determinó de la siguiente manera:

1. Se toma una porción del material y se pesa una cantidad de 0.30Kg (m).
2. Dicho material se pulveriza y se pasa por el tamiz #200.
3. El peso del material para utilizarse es de 0.1228 Kg (m).
4. Se pesa el picnómetro vacío y con tapa el cual tiene un peso de 19.79 gr.
5. Se pesa el picnómetro con agua el mismo tiene un peso de 29.81gr, (Vi)
6. Peso del picnómetro con la muestra y más agua de relleno 29.86 gr, (Vf)

La densidad será la relación entre el peso seco (m), y la diferencia entre el volumen final (Vf) y el volumen inicial (Vi).

Ecuación 2.2 Calculo de densidad con picnómetro

Peso picnómetro vacío + Peso picnómetro más agua de relleno + Peso muestra
– (Peso picnómetro vacío + peso picnómetro más agua + peso muestra)

$$v = \frac{19.79 + 29.86 + 0.1228}{-(19.79 + 29.81 + 0.1228)} \cdot 0.05$$

$$\delta = \frac{0.1228gr}{0.05cm^3} = 2,456 \text{ gr/cm}^3$$

2.1.4 Preparación de pulpas

Para conocer la cantidad de material a utilizar en cada uno de los equipos gravimétricos (espiral, mesa vibratoria, JIG), se determina mediante una relación peso / peso como se indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 2.3 Fracción de sólidos

$$\phi = \frac{Ws}{Ws + Wl}$$

Dónde:

Φ : Fracción de sólidos

Ws: Peso muestra (Kg)

Wl: Peso líquido (agua) (Kg)

Para realizar el primer experimento como práctica y conocer las variables operacionales de la espiral de concentración, utilizamos tres fracciones de sólidos al 20%, 30% y 40%.

Considerando una pulpa al 40% con una cantidad de 16 Kg de alimentación para el espiral y 24 litros de agua, manteniéndose en constante recirculación la pulpa mediante el tanque de alimentación el experimento fracasó en su totalidad, debido a la densidad alta del material y el exceso del material de alimentación, lo cual hizo colapsar al equipo; por este motivo se procedió a bajar a la mitad la fracción de sólidos. Pasando así a tres nuevas fracciones de sólidos de 10%, 15% y 20%.

Pulpa al 20%, con un peso de muestra de 8Kg de alimentación para la espiral, mesa vibratoria y JIG.

$$0.2 = \frac{8kg}{8kg + Wl}$$

$$0.2 (8kg + Wl) = 8Kg$$

$$1.6kg + 0.2Wl = 8Kg$$

$$0.2Wl = 8kg - 1.6Kg$$

$$0.2Wl = 6.4Kg$$

$$Wl = 6.4/0.2$$

$$Wl = 32Kg \text{ agua (litros)}$$

Una vez determinado el peso del líquido (agua), se utilizó esta cantidad de agua para todos los ensayos con respecto a la espiral de concentración.

Pulpa al 15%

$$0.15 = \frac{Ws}{Ws + 32}$$

$$0.15 (Ws + 32) = Ws$$

$$0.15Ws + 4.8 = Ws$$

$$4.8 = Ws - 0.15Ws$$

$$4.8 = 0.85Ws$$

$$Ws = 4.8/0.85$$

$$W_s = 5.64 \text{Kg}$$

Esto quiere decir que para las pulpas de 15%, daremos una alimentación de 5,64 Kg en los experimentos respectivos para la espiral, mesa vibratoria y JIG.

Pulpa al 10%

$$0.10 = \frac{W_s}{W_s + 32}$$

$$0.10 (W_s + 32) = W_s$$

$$0.10W_s + 3.2 = W_s$$

$$3.2 = W_s - 0.10W_s$$

$$3.2 = 0.90W_s$$

$$W_s = 3.2/0.90$$

$$W_s = 3.55 \text{Kg}$$

Esto quiere decir que para las pulpas de 10%, daremos una alimentación de 3.55 Kg en los experimentos respectivos para la espiral, mesa vibratoria y JIG.

NOTA: hay que tener presente que la cantidad de agua (**32 litros**) será constante para todos los ensayos con respecto a la espiral de concentración, la única variable es la cantidad de material de acuerdo a la fracción de sólidos.

2.1.5 Densidad de la pulpa ($\delta\rho$)

Se determina con el peso de la pulpa (M_p) sobre el volumen de la pulpa (V_p). En este caso tendremos 3 densidades de pulpa debido a las 3 diferentes fracciones de sólidos.

Ecuación 2.4 Densidad de la Pulpa

$$\delta\rho = \frac{M_p}{V_p} = \frac{M_s + M_l}{V_s + V_l}$$

Fuente: (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Dónde:

Mp: Masa de la pulpa

Vp: Volumen de la pulpa

Ms: Masa del sólido

MI: Masa del líquido

Vs: Volumen del sólido

VI: Volumen del líquido

Según Ecuación 2.4 Densidad de la Pulpa tenemos:

$$\delta\rho_{10\%} = \frac{3.55kg + 32kg/m^3}{\frac{3.55kg}{2456kg/m^3} + 32kg/m^3} = 1.11 \text{ Kg/m}^3$$

$$\delta\rho_{15\%} = \frac{5.64kg + 32kg/m^3}{\frac{5.64kg}{2456kg/m^3} + 32kg/m^3} = 1.17 \text{ Kg/m}^3$$

$$\delta\rho_{20\%} = \frac{8kg + 32kg/m^3}{\frac{8kg}{2456kg/m^3} + 32kg/m^3} = 1.24 \text{ Kg/m}^3$$

2.1.6 Caudal (Q)

El caudal se refiere al volumen de un fluido que se transporta en el tiempo.

Ecuación 2.5 Caudal

$$Q = \frac{v}{t}$$

Q = Caudal

v = Volumen

t = Tiempo

El cálculo del caudal correspondiente a las distintas fracciones de sólidos se realizó manualmente mediante un cronómetro, el cual indicaba el tiempo de llenado de un recipiente con la capacidad de 9 litros. Considerando que puede haber un margen de error, se realizó diferentes cálculos de caudal, y luego se tomó una media de los mismos.

Se calculó 18 caudales para el experimento en el espiral, los cuales se encuentran en las matrices de 3x3, estos fueron seleccionados de una manera aleatoria, mediante hoja de cálculo.

2.1.7 Cálculo del Caudal del Equipo de Concentración Espiral

Se procedió a calcular 18 caudales y sacar una media de los mismos, con muestras aleatorias de 8 Kg, 5,64 Kg y 3.55 Kg.

Tabla 2.1 Caudales correspondientes a la espiral

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1	E11	E12	E13
Q2	E21	E22	E23
Q3	E31	E32	E33

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1	N11	N12	N13
Q2	N21	N22	N23
Q3	N31	N32	N33

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1 (lts/min)	63,75	65,06	64,05
Q2 (lts/min)	71,33	71,52	70,58
Q3 (lts/min)	75,41	75,52	75,31

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1 (lts/min)	64,05	64,28	64,43
Q2 (lts/min)	71,9	70,68	71,8
Q3 (lts/min)	75,41	75,2	75,1

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1 (lts/min)	64,28		
Q2 (lts/min)	71,14		
Q3 (lts/min)	75,41		

Fracción de sólidos			
	10%	15%	20%
Q1 (lts/min)	64,25		
Q2 (lts/min)	71,46		
Q3 (lts/min)	75,23		

2.1.8 Cálculo del Caudal del Equipo de Concentración Mesa Vibratoria

Para realizar el cálculo del caudal de la mesa vibratoria, se procedió a calcular 4 caudales y sacar una media de los mismos, con una muestra de 8 Kg.

Tabla 2.2 Caudal correspondiente a la mesa vibratoria

Fracción de sólidos	
	20%
Q1 (Lt/min)	12,25
Q2 (Lt/min)	9,64
Q3 (Lt/min)	9,97
Q4 (Lt/min)	10,52

Se realizaron 4 experimentos, de los cuales se tomó una media con un $Q = 10.5$ Lt/min para todos los experimentos posteriores en la máquina mesa vibratoria.

2.1.9 Cantidad de agua de JIG

El movimiento en pulsos, implica estratificación de lechos de partículas en un plano vertical, aunque en algunos caso el lecho se mueve respecto al fluido, en muchos casos es el fluido el que se mueve con respecto al lecho; de diferentes maneras el fluido se encauza de tal forma que se mueve cíclicamente fluyendo a través del lecho, dilatándose y contrayéndose a medida que el flujo sube y baja respectivamente, con pulsaciones que oscilan entre frecuencias de 100-300 ciclos/min. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2007)

El “jigging” es el resultado de la estratificación de material particulado bajo la influencia de fuerzas hidrodinámicas y la gravedad.

La cantidad de agua va de la mano con la longitud del golpe o intensidad de pistonada, y se dice que el agua estará en condiciones favorables cuando la mano del operador sobre el lecho pueda hundirse y detectar un jalón suave durante la succión. (Avila J. D., Parámetros de operación del separador JIG para material tomado de un placer aurífero, 2017)

2.1.10 Ensayo en la Espiral

En este equipo de concentración se realizaron 18 ensayos; con pesos de 8 Kg, 5.64 Kg y 3.55 Kg con pulpas del 20%, 15% y 10% respectivamente en fracción de sólidos.

Tanque de recirculación: Es un tanque de poliéster en el cual se prepara la pulpa para el ensayo, el cual tiene una capacidad volumétrica de 0.35m^3 y es sostenido por una estructura de hierro.

En la parte inferior se encuentra la cañería de alimento a la bomba y en la parte superior en una estructura se ubica el hidrociclón, el mismo descarga los productos nuevamente al tanque. En este proyecto el hidrociclón no fue utilizado.

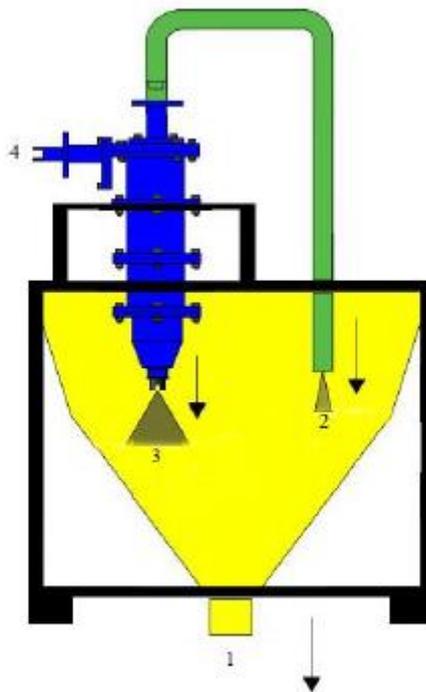


Figura 2.2 Tanque de recirculación. 1) Cañería de alimento a la bomba; 2) Descarga de finos; 3) Descarga de gruesos más finos; 4) Alimento.

Fuente: (Ampmineral, 2014)

El ensayo inicia alimentando el tanque de recirculación con la muestra homogenizada, en donde es procesada y el material sube a la parte superior de los canales helicoidales interiores, en donde se produce una clasificación natural en capas por orden de densidad, al interior magnetita con oro y a los bordes sílice, en donde la descarga y el rebose del proceso regresan para una recirculación eficiente, siendo su objetivo enriquecer el mineral

eliminando ganga y minimizando las pérdidas de mineral útil en cuanto sea posible. El concentrador espiral genera una corriente enriquecida en un mineral de interés en este caso oro, teniendo como objetivo fundamental la concentración, elevando el tenor en esta corriente. Posee una bomba de pulpas, la cual consiste en conducir la pulpa hacia las cañerías e hidrociclón.

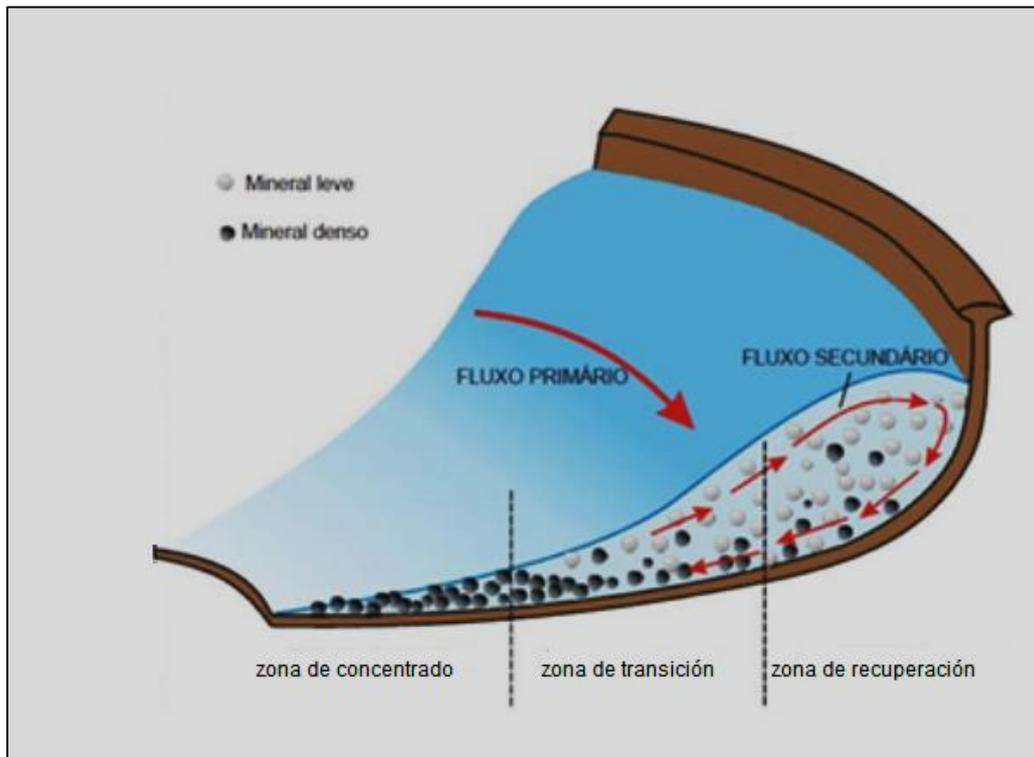


Figura 2.3 Pulpa de la espiral

Fuente: (Ampmineral, 2014)

La pulpa es introducida en la parte superior de la espiral, sobre el canal semicircular, a través de un distribuidor de alimentación e inmediatamente la pulpa es sometida a una fuerza centrífuga generada gracias a la geometría de la espiral. Las partículas más ligeras son llevadas más rápidamente por el empuje de la lámina fluyente, alcanzando una mayor velocidad tangencial que facilitará su ascenso hacia la periferia mientras que las partículas más pesadas serán dirigidas hacia la zona próxima de la columna central, como consecuencia de su menor velocidad tangencial facilitada por una menor velocidad del flujo de agua debido a la fricción con la superficie. (Mitchell, 2012).

Según Taggart, (1945) el movimiento helicoidal que adquiere la pulpa en su bajada, hará que las partículas más pesadas se dirijan a la zona interna por saltación mientras que las partículas más ligeras se dirigirán a la zona externa por suspensión.

2.1.11 Recuperaciones del equipo gravimétrico espiral

Tabla 2.3 Recuperaciones

Experimento "E"	Fracción de sólidos (10%)	Fracción de sólidos (15%)	Fracción de sólidos (20%)
Caudal (Lt/min)	37,3%	57,4%	23,4%
Caudal (Lt/min)	64,6%	65,3%	26%
Caudal (Lt/min)	40,8%	48,8%	73,7%

Experimento "N"	Fracción de sólidos (10%)	Fracción de sólidos (15%)	Fracción de sólidos (20%)
Caudal (Lt/min)	8,4%	18,3%	79,8%
Caudal (Lt/min)	9,1%	14,7%	13,8%
Caudal (Lt/min)	81,2%	42,6%	23,8%

2.1.12 Ensayo en la Mesa Vibratoria

En este equipo de concentración se realizaron 3 ensayos; 8Kg con una pulpa de 20%, 5.64Kg con una pulpa de 15% y 3.55Kg con una pulpa de 10% en fracción de sólidos respectivamente.

Se utiliza material previamente cuarteado, secado y tamizado, dicho material tiene un rango de granulometría de 2 mm - 0.60 mm. Para una eficiente concentración, se procedió a calibrar los parámetros operacionales de la máquina, ajustando a 1.8° aproximadamente la inclinación de la mesa vibratoria.

La mesa vibratoria consta con una inclinación máxima de 3°, mientras más alta es la inclinación lateral menor cantidad de agua se necesita para el lavado, sin embargo, estrecha los rangos de las diferentes fracciones de mineral; mientras que con una inclinación de 1.8 grados los rangos de las diferentes fracciones minerales se pueden diferenciar con claridad, viendo una efectividad en la separación de minerales.

La alimentación se la realizó con la ayuda de una tolva la cual entregaba material que de forma manual era acarreado para la abertura de alimentación de la mesa vibratoria para su respectiva separación y concentración.

El límite superior del tamaño de partículas minerales tratadas en las mesas vibratorias es de aproximadamente 2 a 3 mm, mientras que el tamaño mínimo de las partículas que se pueden concentrar en estos equipamientos es del orden de 75 micrones. Es necesario señalar que el tamaño mínimo de los materiales que se pueden tratar en una mesa es función del volumen de agua y del movimiento de la mesa, siendo esencial que las partículas sedimenten para que puedan ser recogidas en el concentrado. (Vilcapoma & Chavez, 2012).

El porcentaje de sólido de la pulpa de alimentación debe ser suficientemente bajo para permitir la estratificación y dilatación entre los riffles. Densidades de pulpas máximas típicas son 25% de sólidos para arenas y 30% para materiales finos. (Vilcapoma & Chavez, 2012).

En la Figura 2.4 se puede observar una cantidad de esferas rodando hacia abajo de una superficie inclinada, bajo la influencia de un flujo de agua. Cierta cantidad de las esferas (oscuras) representan el mineral pesado (oro) y los otros (en blanco) representa la ganga (sílice).

La esfera más grande (ganga) viaja más rápido y la más pequeña (oro) más lento, bajo la influencia combinada del flujo y la caída gravitacional.

En el caso de dos esferas teniendo el mismo diámetro, si la inclinación es relativamente suave y el efecto hidráulico relativamente fuertemente, la esfera más ligera viaja más rápido. Si durante este movimiento descendente la superficie se mueve hacia los costados, entonces el desplazamiento horizontal de la esfera varía en base a la longitud de tiempo que se requieren para moverse hacia abajo. (911 Metallurgy Corp., 2012)

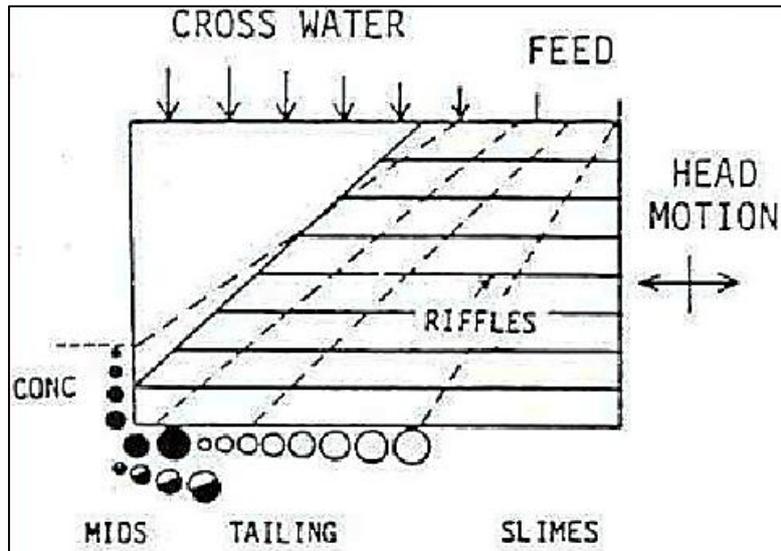


Figura 2.4 Ensayo en la mesa vibratoria
Fuente: (Pavez, 2005)

Las partículas que caen a la cama inclinada están sostenidas débilmente, esto ayuda a la acción de cada golpe. Las partículas que están en la parte superior se mueven hacia adelante y hacia atrás y consecuentemente reciben menos movimiento lateral. Esto acentúa la acción de separación dando a las partículas de sílice el máximo desplazamiento horizontal por el golpe y a las partículas de oro menor movimiento, ayudando a la clasificación.

Tabla 2.4 Muestra FM21

Pulpa: 10% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
3.55Kg	0.22Kg	0.05Kg	93.9

Fuente: Propia

Tabla 2.5 Muestra FM20

Pulpa: 15% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
5.64Kg	0.25Kg	0.05Kg	35.9

Fuente: Propia

Tabla 2.6 Muestra FM19

Pulpa: 20% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
8Kg	0.188Kg	0.01Kg	61.5

Fuente: Propia

2.1.13 Ensayo en el JIG

En este equipo de concentración se realizaron ensayos los cuales resultaron fallidos debido al rango de granulometría de la muestra (2 mm - 0.60 mm) lo cual nos indica que el JIG no tiene una recuperación eficaz con minerales finos.

El lecho no debe tener una alimentación de partículas de tamaño inferior a la de la criba y ni de tamaño próximo a la dimensión de la abertura de él. Para evitar que se tapen los hoyos, el lecho debe tener un tamaño mínimo igual a dos veces la abertura de la criba.

CAPITULO III

ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Mineralogía

Luego de haber realizado las diferentes pruebas en cada uno de los equipos gravimétricos pudimos obtener un concentrado de cada prueba realizada en los equipos, cabe mencionar que se realizaron 18 experimentos los cuales pertenecen al equipo gravimétrico o concentrador espiral y 3 experimentos que se realizaron en la mesa vibratoria.

También se realizó un experimento en el concentrador JIG, dicho equipo como es utilizado para una granulometría entre 3-10 mm no concentró oro, debido a la diferencia de tamaños con la muestra de nuestros experimentos.

Para conocer el análisis mineralógico de cada una de las muestras, las mismas fueron llevadas al laboratorio de química el cual nos permite determinar la presencia de oro.

3.1.1 Recuperación y Resultados

Como se planteó en el diseño experimental se quería conocer qué equipo es el más eficiente, es decir, cuál es el que nos brindará una mayor recuperación de oro.

Para conocer el resultado de cada uno de los experimentos provenientes del espiral y mesa vibratoria, se utilizó la ecuación de recuperación la misma que se encuentra a continuación.

Según la Ecuación 1.2 Recuperación del mineral tenemos lo siguiente:

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

Tabla 3.1 Recuperación de la Espiral y Mesa Vibratoria

Codificación cliente	Alimento (gr)	Ley de cabeza gr/tn	Concentracion de laboratorio gr/tn	Cantidad platoneada(gr)	Recuperación
F-M 3-2-E	5640	5	306,03	45	48,8
F-M 3-2-N	5640	5	285,8	42	42,6
F-M 2-3-E	8000	5	274,02	38	26,0
F-M 2-3-N	8000	5	148,65	37	13,8
F-M 3-1-E	3550	5	344,71	21	40,8
F-M 3-1-N	3550	5	576,76	25	81,2
F-M 3-3-E	8000	5	1227,73	24	73,7
F-M 3-3-N	8000	5	226,57	42	23,8
F-M 2-1-E	3550	5	424,66	27	64,6
F-M 2-1-N	3550	5	73,15	22	9,1
F-M 1-1-E	3550	5	132,32	50	37,3
F-M 1-1-N	3550	5	35,64	42	8,4
F-M 1-2-E	5640	5	674,15	24	57,4
F-M 1-2-N	5640	5	122,96	42	18,3
F-M 2-2-E	5640	5	1151	16	65,3
F-M 2-2-N	5640	5	71,38	58	14,7
F-M 1-3-E	8000	5	234,44	40	23,4
F-M 1-3-N	8000	5	665,18	48	79,8
FM19	8000	5	2458,55	10	61,5
FM20	5640	5	202,51	50	35,9
FM21	3550	5	333,47	50	93,9

Fuente: Propia

3.1.2 Resultados en la Espiral

Los resultados que se encuentran en Tabla 3.1 nos muestran la eficiencia de la espiral donde el mayor porcentaje de recuperación pertenece al experimento 3-1-N con una recuperación del 81.2%, dicho experimento se realizó con una alimentación de 3.55 Kg de material y con un caudal perteneciente a 75.41 Lt/min, en fracción de sólidos representa una densidad de pulpa del 10%.

Existen otros resultados de igual manera que nos indica que la espiral es muy buena para recuperaciones sobre el 60%.

Tabla 3.2 Muestra E 2-1

Pulpa: 10% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
3.55Kg	0.744Kg	0.027Kg	64.6

Fuente: Propia

Tabla 3.3 Muestra E 2-2

Pulpa: 15% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
5.64Kg	2.306Kg	0.016Kg	65.3

Fuente: Propia

Tabla 3.4 Muestra E 3-3

Pulpa: 20% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
8Kg	0.973Kg	0.024Kg	73.7

Fuente: Propia

Tabla 3.5 Muestra N 1-3

Pulpa: 20% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
8Kg	1.812Kg	0.048Kg	79.8

Fuente: Propia

Tabla 3.6 Muestra N 3-1

Pulpa: 10% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
3.55Kg	1.506Kg	0.025Kg	81.2

Fuente: Propia

3.1.3 Mesa vibratoria

Los últimos tres resultados que se encuentran en la Tabla 3.1 pertenecen a la recuperación de la mesa vibratoria se puede observar claramente que la mesa tiene una recuperación del 93.9% según la Tabla 3.7 este experimento tuvo una alimentación de 3,55 Kg de material y un caudal constante de 10.52 Lt/min.

En ambos casos podemos ver que la densidad de pulpa pertenece a una fracción de sólidos del 10%

Tabla 3.7 Muestra FM21

Pulpa: 10% sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
3.55Kg	0.22Kg	0.05Kg	93.9

Fuente: Propia

3.1.4 Resultados gráficos de recuperación

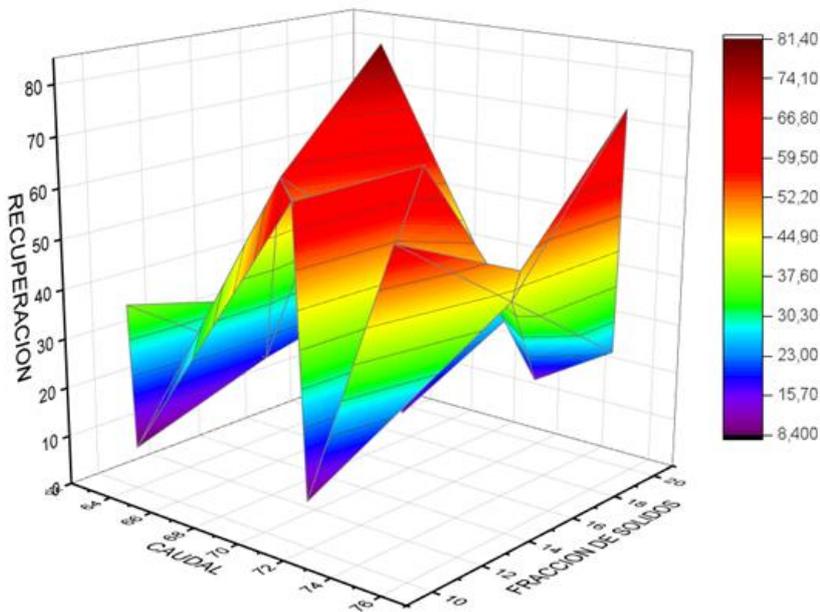


Figura 3.1 Recuperación equipo gravimétrico espiral
Fuente: Propia

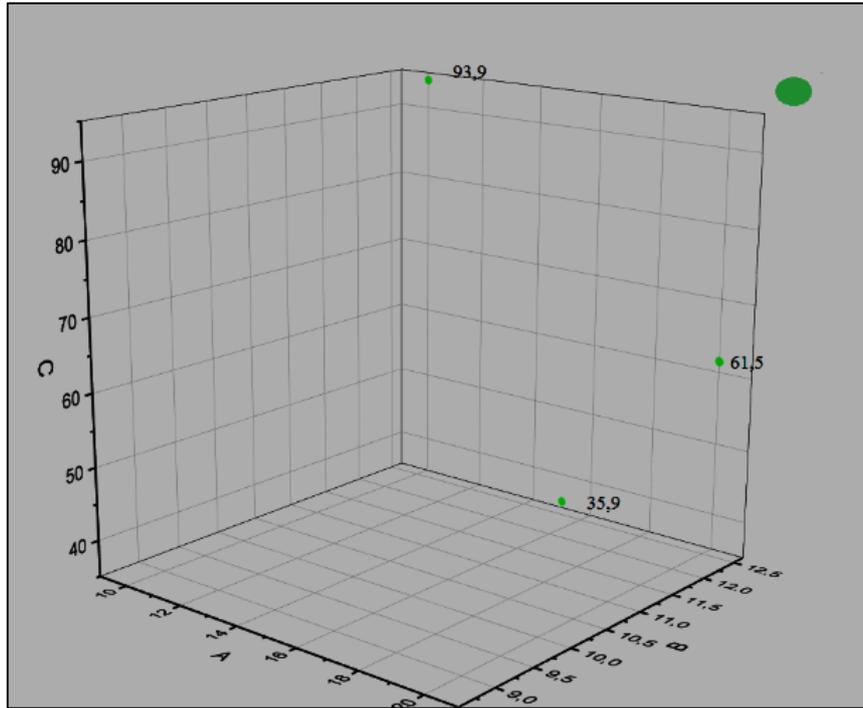


Figura 3.2 Recuperación equipo gravimétrico Mesa Vibratoria.
Fuente: Propia

3.1.5 Flujograma

El planteamiento de este flujograma hace referencia a los objetivos propuestos en este trabajo de titulación, el mismo que pretende determinar cuál de los equipos gravimétricos nos proporciona una mayor recuperación de oro, mediante un circuito Rougher, Cleaner y Scavenger (RCS).

A través de un balance metalúrgico y gracias al circuito RCS se quiere conocer el contenido de oro mediante una conexión de equipos que se mencionan a continuación.

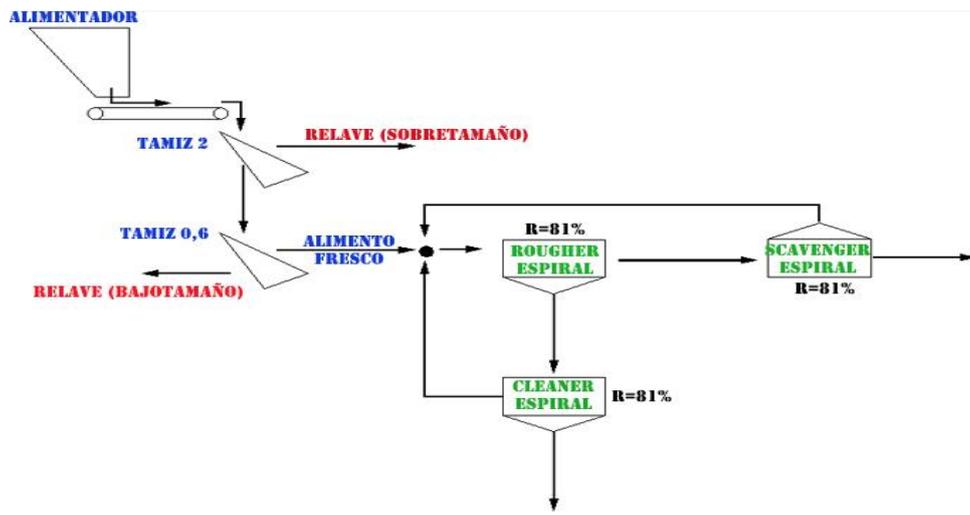


Figura 3.3 Circuito RCS Espiral
Fuente: Propia

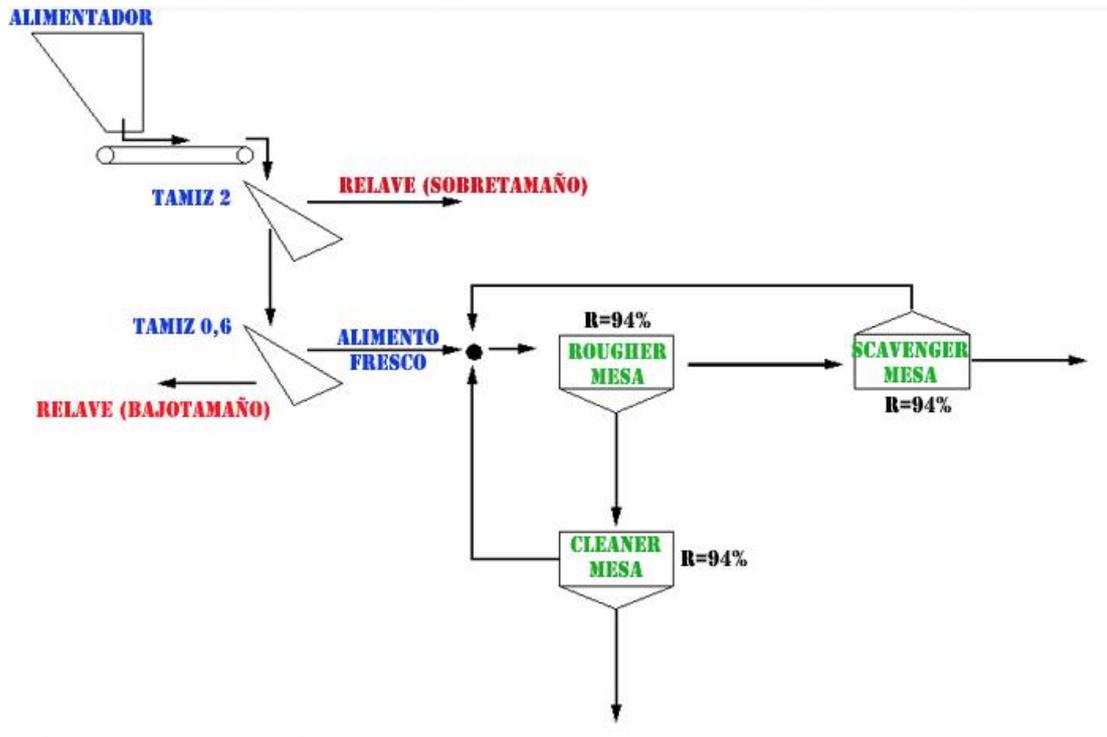


Figura 3.4 Circuito RCS Mesa Vibratoria
Fuente: Propia

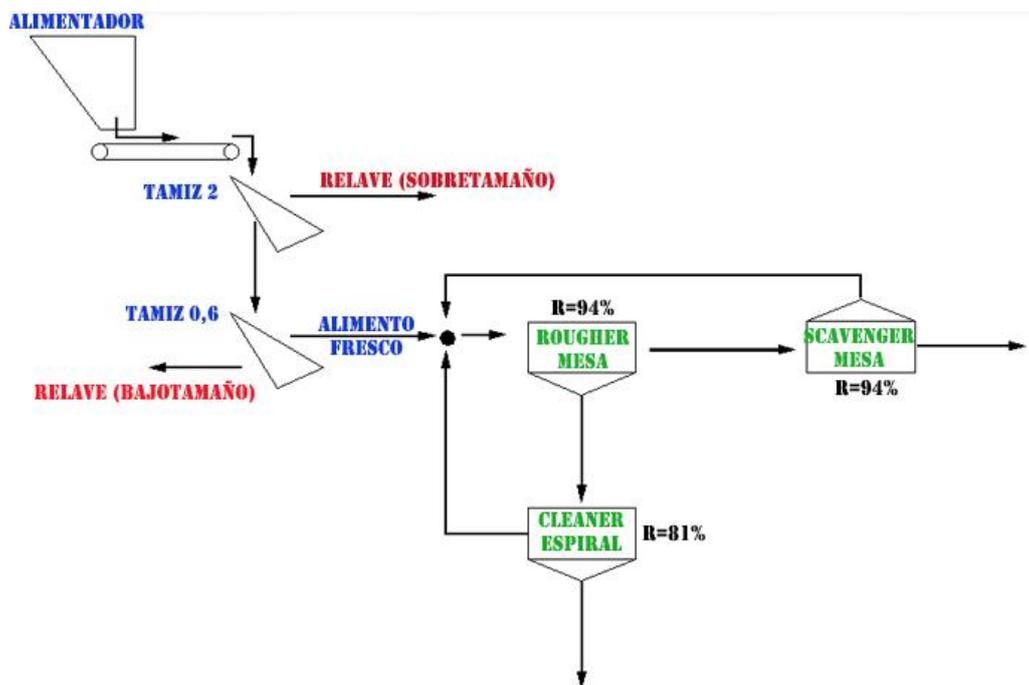


Figura 3.5 Circuito RCS combinación de Mesa vibratoria, Espiral Y mesa vibratoria
Fuente: Propia

Luego de conocer la recuperación de cada uno de los equipos gravimétricos se propone implementar el circuito Rougher, Cleaner y Scavenger el mismo que pretende obtener una recuperación mayor con 3 tipos de circuitos:

1. Circuito con 3 espirales.
2. Circuito con 3 mesas vibratorias.
3. Circuito mediante combinación de mesa vibratoria, espiral y mesa vibratoria.

Para conocer la recuperación global de este tipo de circuitos utilizaremos la recuperación mayor correspondiente al 81% perteneciente a la espiral y el valor de 93,9% procedente de la mesa vibratoria.

Ecuación 3.1 Ecuación de Recuperación:

$$R = \frac{C * tc}{A * ta}$$

C*tc = Masa del mineral útil en el concentrado

A*ta = Masa del mineral útil en el alimento (para este proceso este valor será igual a 1)

Mediante la aplicación de las fórmulas descritas a continuación se busca conocer la recuperación global de cada uno de los circuitos mencionados anteriormente.

$R_r = \frac{M_{cr}}{1}$	$R_c = \frac{M_{cc}}{1 * R_r}$	$R_s = \frac{M_{cs}}{1 - R_r}$
$M_{cr} = R_r * 1$	$M_{cc} = R_c * R_r$	$M_{cs} = R_s * (1 - R_r)$
$M_{tr} = 1 - R_r$	$M_{tc} = R_r - R_r * R_c$ $M_{tc} = R_r (1 - R_c)$	$M_{tc} = R_s(1 - R_r)$

1) **Circuito con 3 espirales.**

$$R = \frac{Mcc}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{Rc * Rr}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{0.81 * 0.81}{1 - 0.81(1 - 0.81) - 0.81(1 - 0.81)}$$

$$R = 0.94 * 100 = 94\%$$

2) **Circuito con 3 mesas vibratorias.**

$$R = \frac{Mcc}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{Rc * Rr}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{0.94 * 0.94}{1 - 0.94(1 - 0.94) - 0.94(1 - 0.94)}$$

$$R = 0.99 * 100 = 99\%$$

3) **Circuito mediante combinación de mesa vibratoria, espiral y Mesa vibratoria.**

$$R = \frac{Mcc}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{Rc * Rr}{1 - Rr(1 - Rc) - Rs(1 - Rr)}$$

$$R = \frac{0.81 * 0.94}{1 - 0.94(1 - 0.81) - 0.94(1 - 0.94)}$$

$$R = 0.96 * 100 = 96\%$$

Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos podemos concluir:

- Tras desarrollar los flujogramas con los diversos concentradores gravimétricos, se obtuvo que el flujograma que presenta una mayor concentración es el obtenido mediante una conexión de 3 mesas vibratorias, el cual dio un valor de 99% en recuperación de oro.
- Al finalizar con los experimentos desarrollados en el espiral se logró una máxima recuperación de 81.2% la misma que corresponde al ensayo que cumple con una fracción de sólidos del 10% y en el cual se usó un caudal de 75.41 Lt/min.
- Se concluye que luego de haber realizado los diferentes ensayos en los equipos gravimétricos y basados en nuestro objetivo, es posible alcanzar recuperaciones superiores al 80%, en materiales aluviales que contienen oro.
- Según Luis Valderrama, de la Universidad de Atacama, nos indica que el uso del espiral para recuperación de minerales presenta una ventaja frente a otros concentradores gravimétricos, debido a que genera una recuperación de partículas tanto por su peso específico como por su granulometría, lo cual se podría corroborar al estudio realizado, donde existió una alta recuperación del mineral utilizando el espiral Humphrey que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay.
- Las espirales se caracterizan por su alta recuperación, pero también por su bajo factor de enriquecimiento, y es debido a este motivo que las espirales son utilizadas exitosamente en la fase de preconcentración o como "Scavenger" (para la recuperación de minerales residuales de valor de las colas).
- De acuerdo a la información obtenida en el estudio realizado por Carvajal y Chávez denominado "Estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho con fibra de vidrio y sus parámetros de funcionamiento", definen que su espiral puede trabajar con pulpas de 30 % y 35 % en fracción de sólidos; mientras que, en el estudio realizado trabajamos con 10 %, 15 % y 20 % en fracción de sólidos, este

porcentaje corresponde para material que posee una granulometría fina. Si existe algún aumento de la pulpa en el espiral de nuestro trabajo, existe problemas de funcionamiento debido a su alta densidad.

- El flujo de pulpa de la alimentación en nuestro trabajo fue realizado con un mínimo de 64 Lt/min y un máximo de 75 Lt/min; llegando a la conclusión de que nuestro equipo espiral, tiene una mayor capacidad en lo que se refiere a la cantidad de agua que puede circular, en comparación con el estudio realizado por Chávez y Carvajal las mismas que poseen flujos de pulpa entre 50 y 60 Lt/min.

Recomendaciones

- Es recomendable la utilización de pulpas no mayores a un 20% en fracción de sólidos, para el equipo espiral, ya que al experimentar con fracciones mayores a la recomendada la pulpa aumenta su densidad lo que ocasiona el colapso y obstrucción del equipo.
- Se considera también, para una mayor eficiencia de la espiral, la utilización previa del hidrociclón, el que permite una separación de grano fino y grueso para así evitar problemas de sobretamaño que puedan afectar el funcionamiento de la bomba y que exista atascamientos de material.
- Para evitar problemas en el funcionamiento del equipo se sugiere la implementación de una bomba de mayor potencia, además siempre realizar mantenimientos técnicos del equipo para que exista un normal funcionamiento.
- Durante la realización de las pruebas experimentales se presentaron dificultades al tratar de mantener el flujo de alimentación constante, ya que el sistema es manual y requiere más de la pericia del operador. Se recomienda instalar un sistema que permita el paso del material de una forma más regulada como sería la implementación de una tolva de alimentación.
- Se recomienda evaluar la eficiencia del equipo con material de una granulometría más gruesa para un estudio profundo de la forma de operación del JIG ya que el mismo según la granulometría se encuentra entre 3 a 10 mm para un funcionamiento óptimo y por lo que el material de este trabajo no cumplió con ese tamaño lo que ocasionó que no exista concentración de oro.
- Basados en los experimentos y al conocer que el equipo gravimétrico más eficiente para la recuperación de oro aluvial es la mesa vibratoria, se podría implementar una nueva mesa en el laboratorio de ingeniería en minas de la Universidad del Azuay para futuros ensayos, calibrando los parámetros de la misma.

Bibliografía

- (n.d.). From http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5555/mod_resource/content/1/Tema_8_-_Concentracion_por_Gravedad_I_-_Pulsadoras.pdf.
- 911 Metallurgist. (n.d.). From 911 Metallurgist:
<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/mesas-vibratorias/?fbclid=IwAR2TTDJ6p3dIs1oN6QC1fezpujQJKuZqyJtGhZrMgiQRdcNDhjPFaOhzpk>
- 911 Metallurgy Corp. (2019, Enero 22). Mesa Wilfley de Laboratorio por Concentración Gravimétrica. From www.911metallurgist.com
- Alcalá Cruz, E. B., Flores Corrales, A., & Beltrán Alfonso, A. (2012). Manual de entrenamiento en concentración de minerales.
- Ampmineral. (2014). Hidrociclón.
- Auris Huayta, N., Jorge Mesa, G., Londoña Zavala, L., Nuñez Mucha, B., Ore Ríos, C., Rondon Poma, M., . . . Vargas Huanuco, W. (2013). Concentración de minerales en espirales Humprey.
- Avila, J. D. (2017, Noviembre). Parámetros de operación del separador JIG para material tomado de un placer aurífero. Parámetros de operación del separador JIG para material tomado de un placer aurífero. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Burt, R. (1984). Efecto del tamaño de partícula sobre la capacidad de separación gravitacional.
- Burt, R. O. (1984). "Gravity Concentration Technology". From <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-4-2-1-5.htm>: <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-4-2-1-5.htm>
- Bustamante, M., Gaviria, A., & Restrepo, O. (2008, Febrero). Concentración de Minerales. Concentración de Minerales. Medellín, Colombia.
- Bustamante, O., Gaviria, A. C., & Restrepo, O. (2007, febrero). From [file:///C:/Users/DELL/Downloads/CONCENTRACIONminerales%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/CONCENTRACIONminerales%20(2).pdf)
- Cartagena, U. P. (2011). OCW UPCT. From http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5555/mod_resource/content/1/Tema_8_-_Concentracion_por_Gravedad_I_-_Pulsadoras.pdf
- Cartagena, U. P. (n.d.). Concentración por gravedad.
- Carvajal, C. D., & Chávez, A. d. (2015). ESTUDIO DEL CONCENTRADOR GRAVIMETRICO HELICODAL HECHO CON FIBRA DE VIDRIO Y SUS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO. Arequipa. From <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/122/B2-M-18187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Concha, H. (2007, Enero). Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos. Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos. Santiago de Cali, Colombia.
- Gaudin. (1939). Principles of mineral Dressing. N.York.

- Gold, L. (2016, junio 06). Lundin Gold . Retrieved Febrero 23, 2018 from Lundin Gold:
http://www.mineria.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/BP-1_-LUNDIN-GOLD-ANUNCIA-UN-ESTUDIO-DE-FACTIBILIDAD-POSITIVO-PARA-EL-PROYECTO-FDN.pdf
- Gómez, M. (2012, Septiembre 30). Teorías de las contingencias. From
<http://monicateoria.blogspot.com/2012/09/teorias-de-las-contingencias-del.html>
- Kuhn, R. (2011). conflictos socio ambientales alrededor de dos proyectos de. Retrieved Febrero 23, 2018 from Universidad Andina Simón Bolívar:
<http://repositorionew.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2259/1/T0952-MELA-Kuhn-No%20todo.pdf>
- M, P. (2007). Pensamiento imaginativo. From
<http://manuelgross.bligoo.com/content/view/592834/Liderazgos-Transaccional-y-Transformacional.html>
- Maistri. (1993).
- Minero, A. d. (2017, Febrero 12). Agencia de Regulación y Control Minero. Retrieved Febrero 23, 2018 from Agencia de Regulación y Control Minero:
<http://www.controlminero.gob.ec/proyecto-minero-fruta-del-norte-es-uno-de-los-mayores-yacimientos-de-oro-en-el-mundo/>
- Navarro, M. (2017). Estudio de la Recuperación de Oro Aluvial en Concentrador Falcon en la Cooperativa Minera Limata Ananea. Tacna.
- Pavez, O. (2005). Concentración Gravimétrica. Atacama.
- R, D. (2006). Pensamiento imaginativo. From
<http://manuelgross.bligoo.com/content/view/592834/Liderazgos-Transaccional-y-Transformacional.html>
- Rivera, C. (2017). Optimización de concentración gravimétrica de oro en la mesa vibratoria de la mina "Vicentina". Cuenca.
- Sánchez, L. (2011). Concentración en JIG. Perú.
- SERGEOTECMIN. (2016). Manual de entrenamiento en concentración de minerales.
- Shubert, H. (1987). Tratado de Proesamiento de Minerales I. La Paz, Bolivia: Ministerio de Enseñanza Superior y Especializada.
- Solís, R., & Torres, L. (1994). Diseño, construcción y optimización de un JIG. Diseño, construcción y optimización de un JIG. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Torrelavega. (2010). Densidad del Material.
- Valarezo, J., Córdova, J., & Pardo, W. (2010). Universidad Nacional de Loja. From
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18242>
- Vilcapoma, J., & Chavez, Z. (2012). "Prueba sexperimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en planta concentradora. "Prueba sexperimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en planta concentradora. Cuzco , Perú.

Anexos

Anexo 1: Ensayos Experimentales

Experimento "E" 2.2 Muestra de 5.64 Kg

9lts 7.55 seg

X 60 seg X= **71.52 lts/min (Q2)**

Experimento "E" 3.3 Muestra de 8kg

9lts 7.17 seg

X 60 seg X= **75.31 lts/min (Q3)**

Experimento "N" 1.1 Muestra de 3.55kg

9lts 8.43 seg

X 60 seg X= **64.05 lts/min (Q1)**

Experimento "E" 3.1 Muestra de 3.55kg

9lts 7.16 seg

X 60 seg X= **75.41 lts/min (Q3)**

Experimento "N" 3.1 Muestra de 3.55kg

9lts 7.16 seg

X 60 seg X= **75.41 lts/min (Q3)**

Experimento "E" 1.2 Muestra de 5.64kg

9lts 8.30seg

X 60 seg X= **65.06 lts/min (Q1)**

Experimento "E" 1.3 Muestra de 8kg

9lts 8.43 seg

X 60 seg X= **64.05 Lt/min (Q1)**

Experimento "N" 3.3 Muestra de 8kg

9lts 7.19 seg

X 60 seg X= **75.10 Lt/min (Q3)**

Experimento "E" 2.3 Muestra de 8kg

9lts 7.65 seg

X 60 seg X= **70.58 Lt/min (Q2)**

Experimento "E" 2.1 Muestra de 3.55kg

9lts 7.57 seg

X 60 seg X= **71.33 Lt/min (Q2)**

Experimento "E" 3.2 Muestra de 5.64kg

9lts 7.15 seg

X 60 seg X= **75.52 lts/min (Q3)**

Experimento "N" 1.2 Muestra de 5.64kg

9lts 8.40 seg

X 60 seg X= **64.28 lts/min (Q1)**

Experimento "N" 2.1 Muestra de 3.55kg

9lts 7.51 seg

X 60 seg X=**71.90 lts/min (Q2)**

Experimento "N" 1.3 Muestra de 8kg

9lts 8.38 seg

X 60 seg X=**64.43 lts/min (Q1)**

Experimento "N" 2.2 Muestra de 5.64kg

9lts 7.64 seg

X 60 seg X=**70.68 lts/min (Q2)**

Experimento "N" 2.3 Muestra de 8kg

9lts 7.52 seg

X 60 seg X=**71.80 lts/min (Q2)**

Experimento "E" 1.1 Muestra de 3.55kg

9lts 8.47 seg

X 60 seg X=**63.75 lts/min (Q1)**

Experimento "N" 3.2 Muestra de 5.65kg

9lts 7.18 seg

X 60 seg X=**75.20 lts/min (Q3)**

7.2 Ejercicio cálculo caudal mesa vibratoria

Experimento 1 Muestra de 8kg

9lts 44.05 seg

X 60 seg X=**12.25 lts/min (Q1)**

Experimento 2 Muestra de 8kg

9lts 56 seg

X 60 seg X=**9.64 lts/min (Q2)**

Experimento 3 Muestra de 8kg

9lts 54.11 seg

X 60 seg X=**9.97 lts/min (Q3)**

Experimento 3 Muestra de 8kg

9lts 51.33 seg

X 60 seg X=10.52 lts/min (Q4)

Recuperación equipo gravimétrico espiral

Tabla 7.3.1

Muestra E 1-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación %
3,55	0,316	0,05	37,3

Tabla 7.3.2

Muestra E 2-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación %
3,55	0,744	0,027	64,6

Tabla 7.3.3

Muestra E 3-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación %
3,55	0,579	0,021	40,8

Tabla 7.3.4

Muestra N 1-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación %
3,55	0,246	0,042	8,4

Tabla 7.3.5

Muestra N 2-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación %
3,55	0,968	0,022	9,1

Tabla 7.3.6

Muestra N 3-1			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au%
3,55	1,506	0,025	81,2

Tabla 7.3.7

Muestra E 1-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	0,926	0,024	57,4

Tabla 7.3.8

Muestra E 2-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	2,306	0,016	65,3

Tabla 7.3.9

Muestra E 3-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	1,565	0,045	48,8

Tabla 7.3.10

Muestra N 1-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	1,198	0,042	18,3

Tabla 7.4.11

Muestra N 2-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	1,149	0,058	14,7

Tabla 7.4.12

Muestra N 3-2			
Pulpa: 15% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
5,64	1,229	0,055	42,6

Tabla 7.4.13

Muestra E 1-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	1,064	0,04	23,4

Tabla 7.4.14

Muestra E 2-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	1,025	0,038	26

Tabla 7.4.15

Muestra E 3-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	0,973	0,024	73,7

Tabla 7.4.16

Muestra N 1-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	1,812	0,048	79,8

Tabla 7.4.17

Muestra N 2-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	1,082	0,037	13,8

Tabla 7.4.18

Muestra N 3-3			
Pulpa: 20% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1 (kg)	Concentrado 2 (kg)	Recuperación Au %
8	1,077	0,042	23,8

Recuperación equipo gravimétrico Mesa Vibratoria

Muestra FM21			
Pulpa: 10% Sólidos			
Alimento	Concentrado 1	Concentrado 2	Recuperación Au %
3,55	0,22	0,05	93,9

Anexo 2: Fotografías

