

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES
AURÍFEROS PROVENIENTES DE LA ZONA
DE LECHEMAYO - SAN GABÁN
REGIÓN DE PUNO

TESIS

Presentada por:

Bach. Edwin Mario Mamani Huanca

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**“EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES
AURÍFEROS PROVENIENTES DE LA ZONA
DE LECHEMAYO - SAN GABÁN
REGIÓN DE PUNO”**

TESIS

Tesis sustentada el día 26 de junio de dos mil diecisiete por el Bachiller Edwin Mario Mamani Huanca, siendo el Jurado Calificador integrado por:

PRESIDENTE


.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

SECRETARIO


.....
Ing. Matías Carlos Vivar Colquicocha

VOCAL


.....
Ing. Raúl Del Pozo Tello

ASESOR


.....
Ing. Daniel Jesús Zevallos Ramos

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Américo Mamani J. y Esmila Huanca H. por su abnegado sacrificio, por sus rezos y preocupación permanente en mi proyecto de vida. A mis hermanos, por su constante apoyo y por ser el motor que me impulsa a ser mejor cada día

AGRADECIMIENTO

Al mejor consejero de mi vida: A DIOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por permitirme realizar los estudios en el laboratorio de Metalurgia

A mis jurados dictaminadores de tesis por sus valiosos aportes en la conducción y conclusión del presente trabajo de investigación

A mis compañeros de la Promoción 2015 y a mis compañeros de trabajo por sus aportes de datos de campo y su constancia en las discusiones inteligentes de la importancia de minerales industriales

A mi asesor el Ing. Daniel Zevallos Ramos, por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo de Tesis

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLA	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema de investigación	3
1.1.1 Antecedentes del problema	3
1.1.2 Problemática de la investigación	5
1.2 Formulación del problema	5
1.3 Justificación e importancia	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis	7
1.5.1 Hipótesis general	7
1.5.2 Hipótesis específicas	7

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1 Propiedades del oro	9
2.2.2 Minerales auríferos	15
2.2.3 Proceso de flotación	20
2.2.4 Concentración por gravedad	35
2.2.5 Concentradores centrífugos	39
2.2.6 Mesa gravimétrica	48

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación	55
3.2. Muestras	55
3.3. Operacionalización de variables	57
3.4. Procesamiento y análisis de datos	58
3.4.1 Recopilación de datos operacionales	58

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	63
4.1.1 Análisis granulométrico del mineral	63
4.1.2 Prueba convencional de flotación	65

4.1.3 Prueba de concentración centrífuga Falcón	67
4.1.4 Primera prueba de concentración en mesa gravimétrica	68
4.1.5 Resumen de los resultados	69
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Parámetros de operación	43
Tabla 2. Parámetros cambiados en la fábrica Falcon	44
Tabla 3. Parámetros Autopac de la fábrica Falcon	45
Tabla 4. Selección de Proceso	47
Tabla 5. Composición de la muestra	56
Tabla 6. Ensaye químico de la muestra de mineral de cabeza	58
Tabla 7. Análisis granulométrico del mineral	63
Tabla 8. Parámetros de la pruebas de flotación	65
Tabla 9. Balance metalúrgico global – Prueba de flotación	66
Tabla 10. Parámetros del proceso concentración centrífuga Falcon	67
Tabla 11. Balance metalúrgico - Concentrador Falcon	67
Tabla 12. Parámetros del proceso mesa gravimétrica	68
Tabla 13. Balance metalúrgico - Mesa concentradora	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación de la presión leyendo en el SB 40 y la tasa de flujo correspondiente	48
Figura 2. Muestra de mineral en estudio	57
Figura 3. Celda de flotación	61
Figura 4. Distribución granulométrica del mineral molido	64
Figura 5. Métodos de procesos considerados para el tratamiento de minerales auríferos	69

RESUMEN

El mineral estudiado corresponde a la zona minera de Lechemayo, ubicada en la provincia de San Gabán de la Región Puno. La caracterización de la muestra se realizó en el microscopio óptico polarizado de la Escuela Académico - Profesional de Ingeniería Geológica de la UNSA. Observamos la presencia de una matriz de cuarzo, donde el oro está en partículas finas y libre, además contiene pirita, hematita y gangas, las leyes de la muestra de cabeza de 4,66 g de Au /t y 12,6 g de Ag /t. La primera prueba de flotación convencional de la muestra se realizó a una granulometría de 55,1 % -200 mallas, cuyo balance metalúrgico global nos indica una recuperación de oro de 59,1 %. En vista de que los resultados obtenidos no fueron los adecuados, se trató el mineral utilizando el concentrador centrífugo Falcon con una granulometría de 55,1 % -200 mallas, y se obtuvo las mejores recuperaciones de oro alcanzando 90,97 %. Finalmente, se consideró hacer pruebas en mesa gravimétrica, la recuperación de oro del proceso fue de 86,4 %. Es aquí donde se indica que la mejor alternativa es el uso del Concentrador Falcon para este mineral de la zona de Lechemayo - Puno.

Palabras clave: Lechemayo, prueba de flotación, oro, balance metalúrgico, concentrador centrífugo Falcon, mesa gravimétrica.

ABSTRACT

The mineral studied corresponds to the mining area of Lechemayo, located in the province of San Gaban of the region Puno. The characterization of the sample was carried out in the polarized optical microscope of the academic-professional School of Geological engineering of the UNSA. We observe the presence of a quartz matrix, where the gold is in fine and free particles, in addition it contains pyrite, hematite and bargains, the laws of the head sample of 4,66 g of Au/t and 12,6 g of Ag/t. The first conventional flotation test of the sample was made to a particle size of 55,1 % -200 meshes, whose overall metallurgical balance indicates a gold recovery of 59,1 %. Given that the results were not adequate, the mineral was treated using the Falcon centrifugal concentrator with a particle size of 55,1 % -200 meshes, and obtained the best gold recoveries reaching 90,97 %. Finally, it was considered to test gravimetric table, the gold recovery of the process was 86,4 %. It is here that it is indicated that the best alternative is the use of the Falcon concentrator for this mineral from the Lechemayo-Puno area.

Key words: Lechemayo, flotation test, gold, metallurgical balance, Falcon centrifugal concentrator, gravimetric table.

INTRODUCCIÓN

El Perú posee el 5 % de las reservas mundiales de oro estimadas en un total de 56 000 toneladas métricas, ubicándose así como el sexto país con mayores reservas de este metal precioso en el mundo. La SNMPE señaló que de las 3 000 toneladas métricas de **oro** que se reportaron como producción en el mundo en el 2015, el Perú respondió por el 4,8 % (145 toneladas), lo que le permitió afianzarse como el sexto productor mundial de este metal precioso. Las 145 toneladas métricas de **oro** registradas como producción en el Perú al cierre del 2015 superaron en cinco toneladas a la reportada en el año 2014. (Perú, el sexto país con mayores reservas de oro en el mundo (14 de abril del 2018), diario El Comercio).

El presente trabajo surge por el interés de desarrollar procedimientos tecnológicos que puedan servir especialmente para los pequeños mineros, cuyos recursos económicos son limitados, y poder brindar alternativas de desarrollo en cuanto a procesos de producción que contribuyan a la pequeña minería de nuestro país.

En el sur peruano, en la Región Puno, donde se desarrolla la pequeña y mediana minería, existen minerales sulfurados con contenidos apreciables de oro y plata, cuyo componente principal es el cuarzo. Allí, se encuentran también

numerosos proyectos auríferos como: Proyecto Ollachea de la empresa Kuri Kullu en Puno (Au-Ag), minera canadiense Lupaka Gold (Au-Ag), proyecto minero Ollachea empresa IRL S.A (Au-Ag), y el proyecto de empresa Cori Puno (Au-Ag). Estos proyectos requieren gran apoyo en investigación y desarrollo de métodos alternativos de concentración para que logren desarrollarse y pueda incrementar la producción del oro en el Perú.

El concentrador centrífugo Falcon, celdas de flotación y mesa gravimétrica se emplearon en las pruebas que realizamos para los procesos de extracción de oro como métodos alternativos de proceso, uno de estos procesos resulta una posible alternativa a los minerales auríferos que presentan oro libre, mostrando resultados muy satisfactorios en Zona de Lechemayo - San Gabán Región de Puno con la aplicación de concentración centrífuga.

Es indudable, que se requiere profundizar aún más en la optimización del proceso del concentrador centrífugo Falcon como método de pre-concentración para procesos posteriores de flotación; pero, además ofrecer una alternativa al proceso de cianuración.

Los metalurgistas debemos proporcionar las tecnologías apropiadas que permitan mejorar la recuperación del oro y plata, y apoyar los proyectos mineros auríferos para que puedan lograr su desarrollo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema de investigación

1.1.1 Antecedentes del problema

En la actualidad, los impactos globales causados por la minería aurífera informal en el mundo tienen una considerable repercusión ambiental y social en sus entornos, principalmente por el uso indebido del mercurio (Hg). Según, Sosa (2010); derrames de hasta de 100 toneladas de este elemento pueden contaminar vastas extensiones territoriales en la Región de Puno, consecuentemente, episodios de contaminación de suelos, aguas y biota generados por la minería aurífera artesanal, debido a los altos tenores de mercurio, son encontrados en varias regiones del Perú, sin descartar otros países llamados tercermundistas que también fueron tocados por este problema tales como: Gana, Mozambique, Indonesia, Zimbabwe y Filipinas tal como se mencionan en los trabajos de Filson (2006); Shandro (2009); Böse-O'Reilly (2002) y (2008); respectivamente.

Para la realidad peruana, la permanente contaminación por este elemento es un problema permanente en zonas como: Piura, Madre de Dios, Puerto Maldonado, Ica, Arequipa, Tacna, y Puno.

La extracción artesanal de oro representa entre el 10 % y el 20 % de la producción total del Perú, que ascendió a 182 millones de gramos finos en el 2011, siendo que esta actividad de extracción informal concentra a más de 500 000 mineros en todo el país, según la Federación Nacional de Mineros Artesanales del Perú.

Según la federación de mineros artesanales, el sector informal genera ingresos por 850 millones de dólares anuales por este concepto.

La expansión de la minería informal o artesanal en nuestro país, así como los efectos que este produce (tanto sociales, culturales, como económicos), los proyectos de apoyo y por último la legislación ambiental de la pequeña minería y la minería artesanal dada por el Estado en el año 2002 (según ley N° 27651) reconoce e integra a la minería artesanal como un estrato más dentro de la Ley General de Minería.

Los mineros informales exigen la aprobación de una Ley de Fortalecimiento de la Minería Informal y la derogatoria de las Leyes 1010 y 1040 y del Decreto de Urgencia 012-2010, que crea una zona de exclusión minera en Madre de Dios, atribuyendo que estas “atentan contra miles de peruanos que tienen como único sustento de vida su trabajo”, porque estas normas prohíben además el uso de herramientas como las dragas utilizadas para mover tierra en los ríos y que suponen un peligro para el ambiente.

Efectuar estudios adecuados a nivel de laboratorio antes de instalar una planta piloto de 30 toneladas métricas día de capacidad instalada, usando tecnologías limpias (concentración gravimétrica centrífuga seguida de cianuración y concentración gravimétrica centrífuga seguida de flotación), en las zonas de La Oroya, San Gabán (Lechemayo) en la Región de Puno,

representan un aporte técnico para la pequeña minería; por lo mismo, se justifica por presentar alternativas eco sostenible y menos contaminante comparada con el dragado y amalgamación. Adicionalmente, el proyecto en cuestión responderá a las expectativas del desarrollo sostenible y producción más limpia, contemplando la viabilidad de aspectos técnicos, económicos, medioambientales y sociales, lo que amerita la presentación como tesis para la obtención de título de Ingeniero Metalurgista.

1.1.2 Problemática de la investigación

Debido a los problemas ambientales causados por prácticas como: amalgamación con mercurio, características de la pequeña minería aurífera, artesanal o informal situado en la provincia de Carabaya, que afecta a la cuenca de los ríos en zona, perteneciente a la región Puno, la meta de los entendidos en el tema y en el sector es y será la búsqueda constante de tecnologías más limpias para la recuperación del oro; como la concentración gravimétrica centrífuga, medios densos, magnética y flotación, obviamente menos contaminante; por este motivo, se plantea implementar una serie de pruebas y determinar el proceso adecuado para la recuperación del oro para la pequeña minería y así minimizar los impactos ambientales, usando procesos como: concentración gravimétrica vía Falcón y Jigs, cianuración y flotación.

1.2 Formulación del problema

¿Es posible hacer la evaluación metalúrgica de minerales auríferos provenientes de la zona de Lechemayo, San Gabán – región Puno?

1.3 Justificación e importancia

El presente trabajo de investigación se justifica porque aplicando el proceso de gravimetría, previo al proceso convencional, se extraerá el oro libre, optimizando de esta manera, la recuperación del mismo y logrando así incrementar la rentabilidad en la explotación de los yacimientos mineros, dentro de la pequeña minería.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos generales

Evaluación metalúrgica de minerales auríferos mediante procesos de tecnología limpia.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar pruebas evaluativas para determinar variables operativas del proceso que nos muestre una mejor recuperación utilizando tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente.
- Selección de procesos más eficientes y de tecnología limpia, usando como indicador el porcentaje de recuperación de oro y los criterios de minimización de impactos ambientales.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La evaluación metalúrgica de mineral aurífero con la aplicación de tecnologías limpias, data como resultado altos porcentajes de recuperación de oro.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Utilizando tecnología limpia en las pruebas realizadas, se determinara las variables operativas del proceso con las cuales se obtendrá altos porcentajes de recuperación de oro.
- Utilizando el porcentaje de recuperación de oro como indicador en las pruebas que se realizarán, se seleccionará el proceso más indicado con un mínimo impacto ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

El Perú posee el 5 % de las reservas mundiales de oro estimadas en un total de 56 mil toneladas métricas, ubicándose así como el sexto país con mayores reservas de este metal precioso en el mundo. Según estima la U.S. Geological Survey, el territorio peruano tiene reservas de oro de aproximadamente 2 800 toneladas métricas (Perú, el sexto país con mayores reservas de oro en el mundo (14 de abril del 2018), diario El Comercio).

El oro se halla en calizas, calcitas, riolitas, carbonáceos, graníticas compuestos de azufre metálico y en rocas sedimentarias. La plata y el cobre son elementos que acompañan con frecuencia en la mineralogía del oro; el arsénico, antimonio, bismuto, hierro, plomo y cinc están generalmente asociados. Los filones que contienen oro, sometidos a la acción del tiempo y meteorizados, liberan el oro que, o bien quedan en el manto del suelo, arenas eluviales o es arrastrado a los arroyos vecinos para formar placeres.

Se reconocen dos tipos de depósitos de fisuras mineralizadas, vetas y placeres. Los depósitos de cuarzo, que significan el 50 % de la producción mundial, generalmente son clasificados como paleo-placeres modificados. Aunque el oro es un elemento estratégico, aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades. Se halla corrientemente en filones que tienen relación genética con rocas ígneas de tipo silíceo, aunque en algunos lugares se le ha encontrado íntimamente asociado a las rocas ígneas. Gran parte del oro aparece como metal nativo, el telurio y posiblemente el selenio son los únicos elementos que se le combinan en la naturaleza.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Propiedades del oro

Propiedades físicas. Elemento químico, de símbolo Au, es un metal muy denso, blando y de color amarillo intenso. El oro se clasifica como metal pesado y noble; en el comercio, es el más común de los metales preciosos. El cobre, la plata y el oro están en el mismo grupo en la tabla periódica. La fuente del símbolo químico, Au, es su nombre en latín aurum (amanecer radiante). La densidad del oro es 19,3 veces la del agua a 20 °C (68 °F), tal que 1 m³ de oro pesa cerca de 19 000 kg. (Lenntech, 2001).

Propiedades químicas. El oro es un elemento químico así que solo puede ser encontrado, no fabricado. Es inerte, lo que significa que: es prácticamente inmune al deterioro, no es muy útil en ningún proceso industrial o químico que lo utilice y barato de almacenar durante largos periodos de tiempo.

El oro tiene una gran cantidad de usos industriales gracias a sus cualidades físicas. Se utiliza en la industria odontológica y en la fabricación de algunos productos electrónicos que necesitan contactos de alta calidad no corrosivos.

Sin embargo, su utilización realmente práctica es numéricamente insignificante. De todo el oro minado de la tierra, la mayor parte se emplea de estas tres maneras:

- Como adorno personal, donde su color y su relación con la riqueza contribuyen en la fabricación de joyas (en 60 % del abastecimiento global).
- Como refugio público de riqueza, al respaldar los sistemas monetarios (en 20 % del abastecimiento global).
- Como refugio de riqueza privada (en al 15 % del abastecimiento global).

Abundancia del oro. El oro es extremadamente raro. Según la experiencia geológica, casi siempre se encuentra en bajas concentraciones en las rocas.

Las pepitas de oro son una excepción, pero son responsables de una parte minúscula del oro descubierto. Curiosamente, hay oro en el agua del mar, pero aunque la cantidad agregada es grande (porque los océanos son inmensos), la concentración es baja y su extracción está por encima de cualquier tecnología.

La tecnología de extracción es cara principalmente porque el proceso siempre requiere la manipulación de grandes cantidades físicas de mineral para obtener resultados muy pequeños. Se necesita una gran cantidad de energía necesaria para el proceso y a veces no compensa la calidad de mineral que puede ser trabajado de forma rentable. El incremento de los costes de energía siempre tiene un impacto sobre la viabilidad minera.

La concentración media de minerales en la corteza de la tierra cambia según el punto y son esas variaciones las que producen minerales trabajables. El hierro, es responsable de un 5,8 % del contenido de la corteza de la tierra. Necesita ser concentrado por variaciones naturales de alrededor de un 30 % para ser considerado mineral, indicado una concentración requerida de en torno a cinco veces. Un mineral de un grado más bajo contendría 5 gramos por tonelada (5 partes por millón). Así que el mineral de oro necesita estar concentrado en torno a 1000 veces por encima de la media para ser viable. (Bullion, 2005).

El proceso de la concentración de oro ocurre tanto sobre la superficie de la tierra, como bajo ella. Sobre o cerca de la superficie siempre hay oro aluvial que se ha concentrado bajo los efectos del paso del agua, por ejemplo, en ríos. Dada la extrema densidad del oro, caerá pronto en suspensión a medida que el agua corre más lenta. Así que donde un río corta con una roca importante y luego frena su caudal a medida que se encuentra con un cauce fluvial más plano o ancho, el oro se concentrará en un depósito aluvial, permitiendo la extracción de partículas de oro a través de las cribas de oro y de los equivalentes procesos industriales actuales.

La fiebre del oro de 1849 en California tuvo su origen en los depósitos de oro del río Sacramento, donde el oro se cribó de esta manera.

Las vetas de oro bajo tierra se producen en asociación con varios depósitos metálicos que a menudo incluyen sulfuros y piritas. La concentración de oro puede ocurrir a medida que otros minerales son filtrados durante un largo periodo de tiempo.

Diagnóstico. El oro se distingue de otros sulfuros amarillos (particularmente la piritita y la calcopiritita) y de las pajuelas amarillas de mica alterada por su ductilidad y gran peso específico. Se funde fácilmente a 1336 °K (1063 °C).

Yacimiento. Aunque el oro es un elemento raro, aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades. Se halla corrientemente en filones que tienen relación genética con rocas ígneas de tipo silíceo. Gran parte aparece como metal nativo, siendo el telurio y posiblemente, el selenio los únicos elementos que se le combinan en la naturaleza. La principal fuente de oro son los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde junto con la piritita y otros sulfuros, el oro fue depositado

por soluciones minerales ascendentes que lo contenían. El oro está simplemente mezclado mecánicamente con los sulfuros y no en forma de combinación química alguna. En la superficie terrestre y cerca de ella, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción muy fácil. En la mayoría de los filones, el oro está finamente bien dividido y distribuido de forma tan uniforme, que su presencia no puede ser detectada por simple inspección. Los filones que contienen oro, sometidos a la acción del tiempo y meteorizados, liberan el oro, o bien queda en el manto del suelo, arenas fluviales, o es arrastrado a los arroyos vecinos para formar placeres. Debido a su gran peso específico, el oro se separa mecánicamente de los materiales más ligeros, de las arenas y lechos de la corriente.

Empleo. El principal empleo del oro se da en joyería, instrumentos científicos, placados electrolíticos, pan de oro, prótesis dentales y en lingotes de inversión.

2.2.2 Minerales auríferos

Los depósitos del mineral de oro se pueden clasificar en los grupos: Veneros de oro-cuarzo; depósitos epitermales, placeres jóvenes, placeres fósiles; depósitos con oro diseminado; oro en menas de metales no ferrosos; oro en agua de mar.

- ***Menas de oro nativo***: En las cuales el metal precioso puede ser removido por separación gravimetría, amalgamación, cianuración y sales oxidantes.
- ***Oro asociado a sulfuros***: Están presentes como partículas libres o diseminadas en el sulfuro. Las piritas auríferas con oro finamente diseminado en su matriz son bastante comunes. La pirita es relativamente estable en cianuros, en medio de sales oxidantes es disuelto y favorece el proceso por la formación de iones férrico.
- ***Teluro de oro***: Es un mineral metálico que en su composición química presenta la fórmula AuTe_2 , de masa molecular 452,2 u, contenido 56,44 % de telurio y 43,56 % de oro (Wikipedia, 2017).

- ***Oro con otros minerales:*** Se presenta con arsénico y antimonio con trazas de cobre, selenio y telurio así como plomo, cinc y materias carbonáceas.
- ***Veneros de oro-plata, fisuras mineralizadas hacia abajo y cuerpos irregulares silificados en fracturas y fallas:*** Estos depósitos ocurren en rocas de todas las edades; pero, principalmente en aquellas pertenecientes a las eras precámbrico y terciario.

La mineralización de estos depósitos en particular está compuesta claramente de: cuarzo, carbonatos, pirita, arsenopirita, sulfuros de metales bases y sulfosales. Los principales minerales de oro son: oro nativo y teluros; la auroestibina aparece en algunos depósitos. Los depósitos incluyen los elementos concentrados: *Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, B, Tl, As, Bi, V, Se, Te, S, Mo, W, Mn* y *Fe* en la forma de carbonatos y/o silicatos.

- ***Veneros auríferos y venas estratificadas:*** Se desarrollan principalmente en secuencias de arcillas y areniscas de origen marino. Algunos depósitos de valor económico, se encuentran en los batolitos graníticos que invaden las secuencias de pizarras. En estos depósitos,

el principal mineral está como ganga en el cuarzo. También están presentes la galena, escalerita, calcopirita y pirrotita. Los minerales valiosos en estas menas son: oro nativo con bajo contenido de plata, piritita y arsenopiritita aurífera.

- ***Veneros de oro-plata, zonas silicificadas con rocas sedimentarias y volcánicas:*** La ganga predominante es el cuarzo, con algunos depósitos con contenidos moderados de carbonatos. Estos cuerpos mineralizados son principalmente venas de cuarzo, vetas y zonas carbonatadas y salificadas. El oro está principalmente libre, pudiendo estar también como telurio y diseminado en piritita y arsenopiritita. La relación de Au/Ag varía notablemente de acuerdo al lugar de análisis.

- ***Depósitos diseminados de oro-plata, en rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias:*** Se pueden reconocer tres tipos:
 - a) Depósitos diseminados de oro-plata en estratos ígneos.
 - b) Depósitos oro-plata, diseminados en flujos volcánicos y asociados a rocas volcánicas.

c) Depósitos de oro-plata diseminado en lechos volcánicos y sedimentarios.

- ***Depositados de oro en cuarzo y cuarcitas:*** Constituyen las minas más grandes y productivas de oro, alcanzando un 50 % de la producción mundial. Estos depósitos están marcados por la presencia de abundante pirita y hematina junto con trazas de sulfuros, arseniuros y minerales de uranio. En los conglomerados de cuarcita está presente oro nativo muy fino $< 80\mu$.
- ***Placeres aluviales y eluviales:*** Producen pepas y arenas de oro con un bajo contenido de plata. Minerales pesados como monacita, suelita y cinabrio, así también metales del grupo del platino, pueden acompañar al oro aluvial y fluvial.
- ***Otras fuentes de oro:*** En este tipo está incluido la calcopirita, sulfuros de cobre-níquel, pirita, arsenopirita, otros sulfuros de metales bases, seleniuros, arseniuros y sulfosales. El oro sigue a los metales base durante la fusión, y es recuperado de las lamas, lodos, producidos durante la electrorefinación del metal base.

2.2.3 Proceso de flotación

a) Generalidades

Se define la flotación como un proceso de concentración de minerales en el cual se procura separar las partículas de menas útiles de estériles o gangas, mediante un tratamiento físico químico que modifica su tensión superficial para lograr que burbujas de aire finamente divididas se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma.

En vista de esta última característica, este proceso recibe también el nombre de flotación de espuma (*froth flotation*). Tiene sobre otros procedimientos de concentración, puramente físicos, la ventaja de:

- Tener flexibilidad suficiente para concentrar selectivamente, es decir, con producción de concentrados limpios y de alta ley, todos los sulfurados y la mayoría de los no sulfurados y oxidados. Mediante combinaciones (o formulaciones) adecuadas de aditivos, o reactivos de flotación.
- Adaptarse fácilmente al tratamiento en gran escala y con ayuda de técnicas automáticas de control y medición, a pulpas de mineral con

granulometría de amplia gama: entre 48 mallas/pulgadas hasta unos pocos micrones.

- Integrarse fácilmente con técnicas modernas de molienda y clasificación, así como con medios mecanizados de manejo de productos, tales como bombeo separación sólido/líquido.

El mecanismo esencial de la flotación comprende la anexión de partículas minerales a las burbujas de aire, de tal modo que dichas partículas son llevadas a la superficie de la pulpa mineral, donde pueden ser removidas.

Este proceso abarca las siguientes etapas:

1. El mineral es molido húmedo hasta aproximadamente 48 mallas (297 micrones).
2. La pulpa que se forma, es diluida con agua hasta alcanzar un porcentaje de sólidos en peso entre 24 % y 44 %.
3. Se adiciona pequeñas cantidades de reactivos, que modifican la superficie de determinados minerales.
4. Otro reactivo, específicamente seleccionado, se adiciona para que actúe sobre el mineral que se desea separar por flotación. Este reactivo cubre la superficie del mineral haciéndola aerofílica e hidrofóbica.

5. Luego se adiciona otro reactivo, que ayuda a establecer una espuma estable.
6. La pulpa químicamente tratada en un depósito apropiado, entra en contactos con aire introducido por agitación o por la adición directa de aire a baja presión.
7. El mineral aerofílico, como parte de la espuma, sube a la superficie de donde es extraído. La pulpa empobrecida, pasa a través de una serie de tanques y celdas, con el objetivo de proveer tiempo oportuno a las partículas de mineral para contactar burbujas de aire y pueden ser recuperadas en la espuma.

Por lo tanto, podemos señalar que la flotación es un macrofenómeno de hidrofobicidad y de aerofilicidad de la superficie de los minerales, que se desean recuperar.

La flotación en espuma, aprovecha las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de la superficie de las partículas minerales. Después del tratamiento con reactivos, las diferencias en las propiedades superficiales de los minerales que contiene la pulpa de flotación son aparentes. Para producirse tal proceso, una burbuja de aire se debe unir a una partícula de mineral y ser elevada hasta la superficie del agua. El

proceso se aplica únicamente a partículas relativamente finas ya que si son demasiado grandes, la adhesión entre la partícula y la burbuja será menor que el peso de la partícula, por lo tanto, la burbuja deja caer su carga.

En la concentración por flotación, el mineral normalmente es transferido a la espuma o fracción flotante, dejando la ganga en la pulpa o las colas. Las burbujas de aire solamente se pegan a las partículas minerales si estas desplazan agua de la superficie mineral, lo cual únicamente sucede si el mineral repele en cierta medida al agua o es hidrofóbico. Una vez que las burbujas de aire que alcanzan la superficie, únicamente pueden continuar sosteniendo la partícula mineral si forman una espuma estable, de otro modo revientan y cae la partícula mineral.

Para alcanzar estas condiciones, es necesario usar los numerosos reactivos químicos conocidos como reactivos de flotación.

La flotación del oro puede hacerse en el metal nativo, telurio o minerales asociados al oro, principalmente sulfuros de cobre, plomo y arsenopirita. Los minerales de oro pueden clasificarse en 3 grupos generales respecto a la flotación:

- Minerales que no se prestan a la flotación, o que pueden tratarse más fácilmente por otros procedimientos.
- Minerales que se tratan fácilmente por flotación, así como el oro libre y minerales en los cuales el oro está asociado con otros compuestos metálicos.
- Minerales que requieren la combinación de varios procedimientos.
La flotación se aplica en este caso de varios modos: flotando los minerales refractarios, dando a una pequeña parte del mineral primitivo un tratamiento especial. La flotación se usa también para separar las cianicidas, así como otras sustancias que son perjudiciales para la cianuración como el cobre el carbón grafito y otros elementos.

La flotación del oro libre requiere la extracción preliminar de las fracciones de tamaños mayores por concentración gravimétrica (el oro mayor de 0,2 mm debe extraerse antes de la flotación). El tamaño límite de las partículas a flotar depende de las formas de las partículas y de sus superficies.

La mayor parte de los minerales en estado natural no son repelentes al agua y por tanto conviene agregar reactivos de flotación a la pulpa. Los

reactivos más importantes son los colectores, los cuales son adsorbidos sobre la superficie de los minerales y los convierte en hidrofobitos (aerofílicos) facilitando su adhesión a la burbuja. Los espumantes ayudan a mantener una espuma razonablemente estable. Los reguladores se usan para controlar el proceso de flotación, activando o deprimiendo la adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire y también se utilizan para controlar el pH del sistema.

b) Colectores

Todos los minerales se clasifican en tipos no polares o polares según sus características superficiales.

La superficie de los minerales no polares, se caracteriza por enlaces moleculares relativamente débiles. Los minerales están compuestos de moléculas covalentes que se mantienen juntas por las fuerzas de Van der Waals; las superficies no polares no se unen fácilmente a los dipolos del agua y como consecuencia resultan hidrofóbicas.

Los minerales con un fuerte enlace superficial covalente o iónico, se conocen como de tipo polar y exhiben altos valores de energía libre en

la superficie polar. Las superficies polares reaccionan fuertemente con las moléculas de agua y estos minerales son naturalmente hidrofílicos.

Para flotar los minerales se les debe impartir cierta calidad hidrofóbica, lo cual, se logra agregando surfactantes a la pulpa, los que se conocen como colectores y el tiempo concedido para la adsorción durante la agitación se conoce como periodo de acondicionamiento. Los colectores son compuestos orgánicos que convierten a los minerales seleccionados en repelentes al agua por la adsorción de moléculas o iones sobre la superficie mineral, reduciendo la estabilidad de la capa hidratada que separa la superficie mineral de la burbuja de aire, hasta un nivel tal que la adhesión de la partícula a la burbuja puede hacerse por contacto.

Las moléculas de colector pueden ser compuestos ionizados, los cuales se disocian en iones dentro del agua, o compuestos no ionizados que son prácticamente insolubles y vuelven repelente al agua del mineral cubriendo su superficie con una delgada capa.

Los colectores ionizados, se clasifican de acuerdo con el tipo de ion, anión, catión, que produce el efecto de repulsión al agua dentro de ella.

Debido a la atracción química, eléctrica o física entre las porciones polares y los sitios de la superficie, los colectores se adsorben sobre las partículas con su extremo no polar orientado hacia la masa de la solución, impartiendo de este modo características hidrofóbicas a las partículas.

En general, los colectores se usan en pequeñas cantidades, sólo las necesarias para formar una capa monomolecular sobre la superficie de la partícula, ya que al aumentar la concentración aparte del costo, tiende a flotar otros minerales, reduciendo la selectividad. Siempre es más difícil eliminar el colector ya adsorbido que evitar su adsorción.

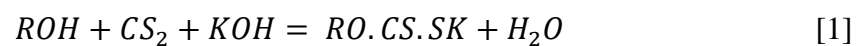
Una concentración excesiva de un colector, también puede tener un efecto adverso sobre la recuperación de los minerales valiosos, posiblemente debido al desarrollo de multicapas de colector sobre las partículas reduciendo la proporción de radicales hidrocarburos orientados hacia la masa de solución. De este modo, se reduce la hidrofobicidad de las partículas y por tanto, su capacidad de flotación. El límite de flotación se puede extender sin perder la selectividad, usando un colector de hidrocarburo con una cadena más grande, produciendo de ese modo una mayor repulsión al agua que si se aumentara de un colector de cadena más corta.

El colector agregado a la cabeza del sistema de flotación, normalmente es relativamente fuerte y no selectivo para promover una recuperación máxima. Muchas veces se agrega un colector más débil, más selectivo al concentrado primario para mejorar el concentrado final que se produzca.

Son los colectores que más se usan en la flotación de minerales y se pueden clasificar en dos tipos de acuerdo a la estructura del campo polar.

Los colectores oxidrilo: Que tienen como grupos polares aniones orgánicos y sulfa-ácidos y que, como en todos los colectores aniónicos, no presentan al catión como interventor importante en la reacción reactivo mineral.

Los xantatos son los más importantes para la flotación de minerales sulfurados y se preparan haciendo reaccionar un hidróxido alcalino, un alcohol y un bisulfato de carbón.



Donde:

R hidrocarburo que normalmente contiene de uno hasta seis átomos de carbono; los xantatos que más ampliamente se usan son el etilo, isopropílico, isobutílico, amílico y hexílico. La reacción entre los minerales sulfurados y los colectores sulfhídricos es compleja. Se asume que los xantatos son adsorbidos sobre las superficies de los minerales sulfurados debido a fuerzas químicas entre el grupo polar y la superficie resultado en xantatos insolubles de metal fuertemente hidrofóbicos.

También se propusieron los mecanismos que implican la formación y adsorción del dixantógeno, ácido xántico, etc. y se demostro que el sulfuro no se une a los aniones del colector sin la acción previa del oxígeno. Se considera que la reacción del xantato con los productos de la oxidación de la superficie de sulfuro a través de un proceso de intercambio iónico es el mayor mecanismo de adsorción para la flotación de los sulfuros. Sin embargo, un alto grado de oxidación superficial, acompañado de la formación de sulfatos que reaccionan rápidamente con los xantatos, o previene o impide la flotación, puesto que los xantatos metálicos así formados escaman el mineral.

Los xantatos normalmente se usan en pulpas débilmente alcalinas puesto que se descomponen en medio ácido y a valores altos de pH, los iones hidroxilo desplazan a los iones xantatos de la superficie mineral.

Los ditiofosfatos no se usan tanto como los xantatos, pero en la práctica son reactivos importantes. Son colectores comparativamente débiles pero dan buenos resultados en combinación con los xantatos. Parece que la repulsión al agua conferida a la superficie mineral se debe a la formación de un producto de oxidación del colector ditiofosfato el cual se adsorbe sobre la superficie mineral. De este modo, como en los xantatos, la presencia de oxígeno u otro agente oxidante, es indispensable para la flotación. Las fuertes condiciones oxidantes destruyen las sustancias hidrofóbicas y por ese motivo son indeseables, mientras que la oxidación misma de la superficie mineral puede impedir la adsorción del colector. Se considera que para el avance futuro de la teoría de la flotación, es indispensable conocer las características de la oxidación del mineral y del colector así como sus propiedades eléctricas.

➤ Espumantes

Cuando las superficies minerales se vuelven hidrofóbicas por el uso del colector, la estabilidad de la adhesión de la burbuja,

especialmente en la superficie de la pulpa, depende en gran parte de la eficiencia del espumante.

El comportamiento ideal del espumante ocurre totalmente en la fase líquida y no influye sobre el estado de la superficie del mineral. Sin embargo, en la práctica, hay una interacción entre el espumante, el mineral y otros reactivos; la selección de un espumante apropiado para una mena en particular solamente se puede hacer después de un amplio trabajo de prueba. En la flotación de minerales sulfurados es práctica común emplear al menos dos espumantes y más de un colector. Los espumantes específicos se seleccionan para proporcionar las propiedades físicas adecuadas a la espuma, mientras que el segundo espumante interactúa con los colectores para controlar la dinámica del proceso de flotación.

Los espumantes generalmente son reactivos orgánicos de superficie activa heteropolar, capaces de ser adsorbidos en la interfase aire-agua. Cuando las moléculas de superficie activa reaccionan con el agua, los dipolos de agua se combinan rápidamente con los grupos polares hidratándolos; pero, prácticamente no hay reacción con el grupo de hidrocarburo no polar, pues la tendencia es forzar al último hacia el

interior de la fase aire. De este modo la estructura heteropolar de la molécula de espumante lleva a su adsorción, es decir, las moléculas se concentran en la superficie con los grupos no polares orientados hacia el aire y los grupos polares hacia el agua.

De este modo, la acción espumante, se debe a la habilidad del espumante para adsorberse sobre la interface aire-agua. Debido a su actividad superficial también es capaz de reducir la tensión superficial, estabilizando así la burbuja de aire.

Los espumantes deben ser hasta cierto grado solubles en agua, de otra manera se distribuyen muy irregularmente en una solución acuosa y sus propiedades de activador de superficies no resultan completamente efectivas. Los ácidos, aminos y alcoholes son los más solubles espumantes.

Los alcoholes (-OH) se usan más ya que prácticamente no tienen propiedades colectoras y en este aspecto se prefieren en lugar de otros espumantes, como los carboxilos, que son colectores poderosos. La presencia de propiedades colectoras y espumantes en el mismo reactivo dificulta la flotación selectiva.

El aceite de pino que contiene alcoholes aromáticos cuyo componente espumante más activo es el terpinol, se usa ampliamente como espumante.

Otros tipos de espumantes sintéticos se basan en los éteres de poliglicol y resultan muy efectivos. Se venden con varios nombres tales como Dowfroth 250, Cyanamid R-65 y el Unión Carbide PG-400.

c) Reguladores

Los reguladores o modificadores se usan mucho en flotación para modificar la acción del colector, ya sea intensificando o reduciendo el efecto repelente al agua sobre la superficie mineral para de esa manera hacer más selectiva la acción del colector hacia ciertos minerales. Los reguladores se pueden clasificar como activantes, depresores o modificadores del pH.

Activadores. Estos reactivos alteran la naturaleza química de las superficies del mineral de tal modo que se convierten en hidrofóbicos debido a la acción futura del colector. Los activadores generalmente son sales solubles que se ionizan en solución y los iones reaccionan entonces con la superficie del mineral.

Depresores. La depresión se usa para incrementar la selectividad de la flotación volviendo hidrofílicos (ávidos de agua) a ciertos minerales y evitando así su flotación. Existen muchos tipos de depresores cuyas acciones son complicadas y variadas, y que en la mayoría de los casos se conocen poco, lo que dificulta controlar la depresión más que si se aplicarían otros tipos de reactivos. El recubrimiento de lama es un ejemplo de una forma de depresión que se presenta naturalmente. En una mena triturada y molida las lamas dificultan la flotación, ya que recubren a las partículas de mineral, retardando la adsorción del colector.

Para que la flotación de minerales sea efectiva, se requiere de los siguientes aspectos:

- Reactivos químicos:
 - Colectores
 - Espumantes
 - Activadores
 - Depresores
 - pH

- Componentes del equipo
 - Diseño de la celda
 - Sistema de agitación

- Flujo de aire
 - Configuración de los bancos de celdas
 - Control de los bancos de celdas
- Componentes de la operación
- Velocidad de alimentación
 - Mineralogía
 - Tamaño de partículas
 - Densidad de pulpa
 - Temperatura.

En la flotación intervienen los siguientes elementos o factores:

1. Pulpa
2. Reactivos
3. Aire
4. Agitación

Los productos de la flotación contienen habitualmente entre un 50 % y 70 % de sólidos. Gran parte del agua contenida en las pulpas producidas por la flotación es retirada en los espesadores de concentrado y cola, los que realizan simultáneamente los procesos de sedimentación y clarificación.

2.2.4 Concentración por gravedad

La separación por gravedad, que fue el método de concentración más importante hasta la década de 1920, se emplea actualmente para tratar una gran variedad de materiales que van desde los minerales metálicos (galena, oro, casiterita, cromita, piritita, blenda, etc.) hasta los carbones. Actualmente se van implantando estos equipos en procesos de clasificación de arenas, limpieza de materiales orgánicos, etc.

Estos métodos de concentración pasaron, a partir de la segunda mitad del siglo XX, a un segundo plano debido al desarrollo y eficiencia de los procesos de flotación que permitían un tratamiento más selectivo de las menas complejas de baja ley. Sin embargo, la concentración por gravedad aún se prefiere en el tratamiento de menas de hierro, tungsteno y estaño, en la preparación de carbones y en el tratamiento de minerales industriales.

La concentración gravimétrica se puede emplear en etapas anteriores a la flotación para el beneficio económico de aquellos tamaños de mena, superiores a los manejables en flotación, que ya se encuentran liberados.

Los métodos de separación por gravedad se usan para tratar una gran variedad de materiales que varían desde los sulfuros metálicos pesados, como la galena (densidad relativa 7,5) hasta el carbón (densidad relativa 1,3); así como también, para recuperar oro libre, plata y platino de circuitos de molienda en plantas de flotación y/o de cianuración, recuperación de oro aluvial, retratamiento de relaves de flotación, etc.

Estos métodos fueron perdiendo importancia debido al desarrollo del proceso de flotación, así como el desarrollo de otros procesos alternativos. Sin embargo, en los últimos años muchas compañías han revaluado los sistemas gravimétricos debido al incremento en los costos de los reactivos de flotación, la relativa simplicidad de los procesos gravimétricos y al hecho de que producen relativamente poca contaminación ambiental.

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

a) Principios de la concentración gravimétrica

Los métodos de concentración gravimétrica, separan minerales de diferente densidad relativa por su movimiento relativo, respondiendo a la

gravedad y a algunas fuerzas. Frecuentemente, son la última resistencia al movimiento que ofrece un fluido viscoso, como el agua o el aire.

La separación por gravedad se puede aplicar siempre que exista una cierta diferencia de densidad entre las dos o más fracciones de minerales o rocas que se pretenden separar. La separación por gravedad cubre dos métodos diferentes:

- Separación en agua (concentración gravimétrica)
- Separación en medio denso (Denso Media Separation, DMS)

La fórmula para la separación en agua es:

$$\Delta\rho = \frac{\rho \text{ partícula pesada}}{\rho \text{ partícula ligera}} \quad [2]$$

Para una separación efectiva es indispensable que exista una marcada diferencia de densidad entre el mineral y la ganga. La fórmula para la separación en medio denso es:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_h - \rho_f}{\rho_l - \rho_f} \quad [3]$$

Donde:

$\Delta \rho$ = diferencia de densidad

ρ_h = densidad relativa del mineral pesado

ρ_l = densidad relativa del mineral ligero

ρ_f = densidad relativa del medio fluido

En términos muy generales, cuando el cociente es mayor de 2,5 ya sea positivo o negativo, entonces la separación gravimétrica es relativamente fácil. A medida que el valor del cociente disminuye, la eficiencia de separación disminuye; a menos de 1,25 la concentración por gravedad por lo general no es comercialmente posible.

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

Las partículas, cuya pequeñez da lugar a que su movimiento sea denominado principalmente por la fricción superficial, responden relativamente mal a los métodos gravimétricos comerciales de alta capacidad.

2.2.5 Concentradores centrífugos

Los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravimétrica de oro en minas grandes; frecuentemente, en los circuitos de molienda para separar oro libre y evitar sobremolienda y antes de plantas de cianuración o flotación para recuperar el oro grueso. También existen muchas aplicaciones en plantas industriales en la minería aurífera aluvial.

Otra aplicación especial para los concentradores centrífugos es la recuperación del oro como un producto secundario, por ejemplo en canteras de grava. Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio: básicamente, un recipiente que rota efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrífugo.

1) Concentrador centrífugo Falcon

Consisten de dos líneas especializadas de concentradores de proceso mineral centrífugo incrementado.

- Falcon C - concentradores continuos
- Falcon SB - concentradores semi – batch

El uso de campos gravitacionales altos (hasta 300 Gs) y grandes capacidades permiten que las unidades recuperen metales finos liberados y minerales

La clasificación se realiza por la diferencia de peso específico. Mediante la rotación a gran velocidad se crea una fuerza centrífuga que incrementa el peso relativo de los diferentes minerales, además se emplea presión de agua para producir una competencia de fuerzas el diseño de los equipos permiten que el oro sea recuperado.

a) El concentrador semi – batch (Sb)

El concentrador semi – batch es usado para recuperación de metales preciosos (Au, Ag y Pt) de la serie de proceso con ciclos de descarga concentrados automatizados. Esta serie de equipo es usado para recuperar una fracción de la masa de alimentación como un concentrado de alto grado. Las ventajas significativas sobre el equipo son el capital, la operación, los costos de mantenimiento bajos.

Estos concentradores Falcon pueden recuperar partículas ultra finas liberadas y hacer separaciones de alta calidad por medio de la utilización del campo gravitacional. En algunos ejemplos, un circuito Falcon puede

alcanzar tanto como el 80 % de la producción total de la planta dependiendo del porcentaje del metal nativo presente. Las series Falcon “SB” de concentradores producen alto grado de concentrados mientras requieren poco o ninguna intervención de operador. El diseño de balde de dos etapas produce separaciones superiores y un fácil reemplazo de la parte usada.

Las unidades del modelo Falcon “SB” trabajan mejor para:

- Recuperación de platino, plata y oro libre
- Circuito de molienda con ciclones u /f o alimentación
- Concentrados de limpieza
- Colas de scavenger
- Oro placer y aluvial

Estos concentradores SB emplean una zona de retención en la parte superior del rotor, requiriendo la adición de un pequeño volumen del agua de proceso. Estas unidades pueden procesar partículas tan grandes como 6 mm, pero también ser muy eficientes en la recuperación de partículas finísimas.

Las partículas del flujo de alimentación están sujetas a las fuerzas gravitacionales de hasta 200 G's y son segregadas de acuerdo a la gravedad

específica efectiva a lo largo de la pared del rotor. Las capas más pesadas pasan sobre la cama de concentrado retenido en los rifles en la parte superior del tazón del rotor.

La adición de agua de fluidización o presión trasera de agua desde la parte de atrás de las camas “rifle” permite a las partículas objetivo pesadas migrar a la base o fuera de la cama y sean retenidas en preferencia a las partículas más ligeras.

Las G's altas permiten la recuperación efectiva de cada partícula muy fina (debajo de los 10 micrones) y la profundidad de la cama permite concentrar las partículas más toscas en el flujo de alimentación para recuperarlas de manera segura. Cuando la cama se ha constituido en un grado suficiente, la alimentación es detenida (durante 30 segundos), el rotor es reducido, la construcción en spray aumenta múltiples enjuagues el concentrado bajo el deflector del rotor y fuera del rotor descarga los puertos en un lavador de concentrado.

b) Especificaciones

- SB 40

El modelo SB 40 está diseñado específicamente para el trabajo de prueba de laboratorio, pequeñas muestras de mineral o limpieza de concentrado.

El diseño y materiales de construcción han sido cuidadosamente seleccionados para minimizar la posibilidad de contaminación entre las muestras.

Tabla 1

Parámetros de operación

PARÁMETROS DE OPERACIÓN	
Capacidad de alimentación	0 – 660 lb/hr (0-300 kg/hr) sólidos
Densidad máxima de alimentación	75 % sólidos por peso, 55 % recomendado
Tamaño de partícula	- 12 malla (1,7 mm)
Requerimiento de agua de fluidización típica	1 – 5 UDgpm (4 – 20 Imp) dependiendo del material
Volumen concentrado	4,0 in ²
Peso concentrado	0,15 – 0,30 lbs (0,007 – 0,15 kg)
Campo centrifugal	0 – 300 G's

Fuente: “Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolqui”, 2008

- VFD

Los parámetros VFD son establecidos, siendo pocos los cambios realizados en la fábrica de Falcon. Consulte el Manual de Mitisubishi VFD para una lista completa de las características.

Tabla 2

Parámetros cambiados en la fábrica falcon:

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS DE FÁBRICA
Frecuencia máxima	80 Hz
Frecuencia minina	0 Hz
Tiempo de aceleración	7 seg
Tiempo de desaceleración	7 seg
Terma electrónica O/L	2,02 Amps
Voltaje de frecuencia base	Ver placa de motor
Accel /Decel reference freq.	70 Hz
Sensibilidad de frecuencia	5 %
Detección de desconexión PU	15
Prevención de rotación reversa	1

Fuente: “Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolqui”, 2008

- VFD FR – PU04

Para cambiar el concentrador G- Fuerza:

- Recurrir a la hoja de datos Falcón: RPM vs “G” s
- Escoger la Fuerza “G” deseada
- Ingresar la frecuencia deseada en VFD

- RPM vs G´s

Tabla 3
 Parámetros Autopac de la fábrica Falcon

AUTOPAC Hz	MOTOR RPM	ROTOR RPM	ACELERACIÓN "G"
20	583	583	20
25	729	729	31
30	875	875	44
35	1021	1021	60
40	1167	1167	78
45	1313	1313	99
50	1458	1458	123
55	1604	1604	148
60	1750	1750	176
46,66	1361	1361	107
52,15	1521	1521	133
55,33	1614	1614	150
59,76	1743	1743	175
63,89	1863	1863	200
67,76	1976	1976	225
71,43	2083	2083	250
74,91	2185	2185	275
78,25	2282	2282	300

Fuente: Tecnología de la concentración centrífuga, 2006

c) Operación.

- Parámetros de operación recomendados

El concentrador Falcon modelo SB, toma ventaja de la diferencia en la gravedad específica entre las partículas objetivo más pesadas y las partículas más ligeras para efectuar una separación. Una mezcla de flujo de pulpa, es dirigida dentro de un rotor girando en suficiente RPM hasta 300 G's para el material procesado. Esta fuerza centrífuga magnifica la

diferencia en la gravedad específica (SG) y la geometría del rotor, facilita la retención del oro o partículas pesadas, prefiriéndolas a partículas SG más bajas que son rechazadas con el agua del proceso.

El agua de presión, trasera es inyectada entre los anillos riffle en la parte superior del rotor desde atrás para permitir que las partículas pesadas migren hacia la zona de retención concentrada. Al final de la prueba o en predeterminados intervalos, cuando la alimentación de la mezcla es discontinuada, el rotor es detenido y los concentrados son recogidos. La separación de óptimo rendimiento es lograda cuando las partículas valiosas de alta gravedad específica y las partículas de ganga de baja gravedad específica son relativamente del mismo tamaño y liberadas una de la otra (ejemplo: partículas medianas de SG intermedio).

Tabla 4

Selección de Proceso

Test de Serie Falcon "SB"	Simulación Falcon "C"
<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de oro libre, plata o platino desde flujos de proceso. Las muestras son usualmente desde el circuito de molienda. 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de metales y minerales de flujos de proceso. Las muestras son usualmente de molienda o flujos de alimentación, ejemplo: preconcentración.
Test:	Test:
<ul style="list-style-type: none"> 10 kg. de muestra Test único Ensaye de cola y concentrado completo y de nuevo calcular la alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> 1 kg. de muestra Test de tres pases Ensaye de cola final, los tres concentrados y calcular de nuevo la alimentación. Los resultados producen una curva de recuperación / grado que incorpora la masa

Fuente: "Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolqui", 2008

▪ **Objetivo: (80 – 100) gr concentrado**

< 80 g de concentrado presión de agua demasiado alto

> 120 g de concentrado presión de agua demasiado bajo

Nota: Las muestras con altos porcentajes (10 – 40) % de peso de material en la alimentación generarán masas más altas de concentrado que el establecido arriba.

El gráfico 1 muestra la relación de la presión leyendo en el SB 40 y la tasa de flujo correspondiente.

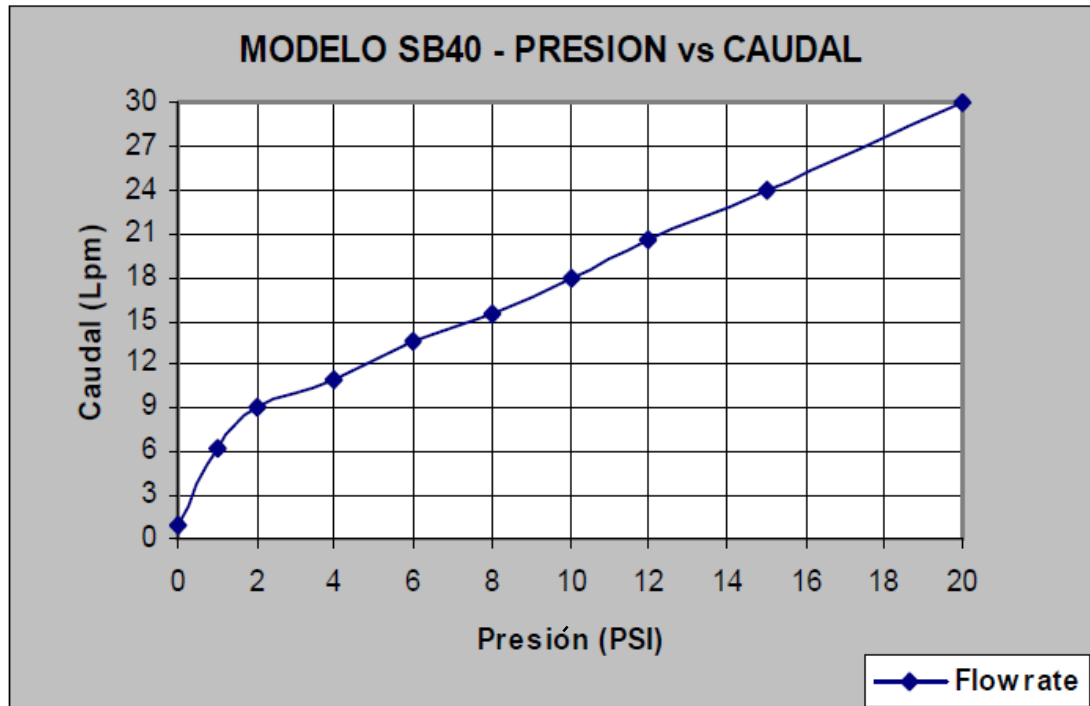


Figura 1. Relación de la presión leyendo en el SB 40 y la tasa de flujo correspondiente
Fuente: “Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolqui”, 2008

2.2.6 Mesa gravimétrica

Los métodos de concentración gravimétrica se utilizan para la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad; últimamente, las tecnologías modernas aprovechan también la fuerza centrífuga para la separación de los minerales. En este tipo de

separación se generan dos o tres productos: el concentrado, las colas, y en algunos casos, un producto medio (*middling*). 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 llamado criterio de concentración, se tendrá una idea sobre el tipo de separación posible

Corrientes longitudinales aplicadas a partículas en sedimentación producen al movimiento de caída un movimiento longitudinal. Durante la sedimentación, las partículas trazan trayectorias diferentes de acuerdo con el tiempo a que quedan expuestas a las corrientes longitudinales. Las partículas mayores y de mayor peso específico tienen mayor velocidad de caída, y sedimentan en primer lugar, próximo al punto de la alimentación.

Las partículas menores y más livianas sufren mayor acción de transporte longitudinal, y son depositadas más lejos. Otras partículas son depositadas de acuerdo con sus velocidades de caída, que dependen de sus tamaños y pesos específicos. Partículas de tamaños y pesos específicos diferentes pueden depositarse en el mismo lugar, si obedecen lo señalado anteriormente. En la separación por corrientes longitudinales son observados dos tipos de escurrimientos: el escurrimiento laminar y el

escurrimiento en canaletas. Entre los principales equipamientos donde la concentración se realiza en régimen de escurrimiento laminar, se destacan las mesas vibratorias, las espirales y los vanners. Además de estos equipamientos, se puede citar, entre otros, la mesa de Bartles-Mozley, esta mesa, se emplea para la concentración de minerales finos (entre 100 micrones a 5 micrones, pudiendo llegar, a 1 micrón) está constituida de 40 superficies planas superpuestas y espaciadas entre sí, siendo la alimentación distribuida igualmente para cada plano.

La evaluación técnica de los procesos de concentración de minerales o de sólidos particulados en general se realiza a través de índices mineralógicos como:

- Recuperación
- Razón de enriquecimiento
- Razón de concentración
- Índice de selectividad

Todos estos índices requieren del conocimiento de la ley de las especies para su determinación, dado que en un proceso de concentración se separan los concentrados, de los estériles y de los mixtos (cuando existen),

a partir del alimento; los índices mineralúrgicos son obtenidos a partir de los balances de masa de cada una de las corrientes y/o de los balances de masa para cada una de las especies contenidas en cada corriente del proceso así.

Dado que el medio de separación de las especies es un fluido, se requiere tener un conocimiento de la dinámica de fluidos, la cual en términos generales ha permitido establecer que:

- Criterio de concentración

El criterio importante en la determinación de cuál y qué clase de separación es posible en un caso particular, es la gravedad y alguna o más fuerzas, fundamentalmente la primera, en este proceso, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$C.C = \frac{(GE_H - R)}{(GE_L - R)} \quad [4]$$

R = gravedad específica del medio

GE_H y GE_L = gravedad específica de los minerales más pesados y ligeros respectivamente.

- Mesas concentradoras

Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada. Se refiere principalmente a los tipos con movimiento longitudinal vibratorio, donde las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico (y la granulometría). Otros tipos de mesas (mesas de banda, mesas basculantes, mesas de paño sin fin, mesas redondas, etc.) son raramente usadas en la pequeña minería y por esto, no se describen aquí en detalle. La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en la minería del estaño, wolframio y oro. Existen de diferentes tipos y marcas. En la minería aurífera se usan especialmente los tipos Wilfley y Deister. Las diferencias entre unas y otras son mínimas, principalmente en el mecanismo del cabezal, la geometría del tablero y el tipo de en riflado. Para el último paso de limpieza de concentrados, p. ej. Antes de la fundición directa, se encuentra en algunas minas también mesas tipo "Gemini". De acuerdo a su modelo y tamaño, las mesas se utilizan para concentrar minerales finos y ultra finos con una capacidad hasta un máximo de 1,5 t/h por unidad. Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el

proceso de concentración se lleva a cabo a la vista sobre el tablero de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambio en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente. Se pueden tomar muestras directamente durante la operación, utilizando bateas para oro, por ejemplo, por lo tanto, la optimización de esta operación se lleva a cabo de una manera simple y puede ser realizada por operadores aprendices.

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

particularmente de la densidad ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente.

Ventajas:

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

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de la investigación

El trabajo de tesis está enmarcada en la investigación aplicada, trata de solucionar un problema de proceso metalúrgico.

Se consideraron las siguientes variables independientes y dependientes:

Variables Independientes:

- Dilución
- Tiempo del proceso
- RPM
- Granulometría
- Presión del sistema
- Angulo de equipo

Variables dependientes:

Recuperación del oro

3.2. Muestras

Mineralogía de la muestra: La muestra adecuada de mineral de oro se ha estudiado mediante el microscopio de luz polarizada por el método de reflexión.

Antes se elaboró la sección pulida y sobre la base de esta se han observado sus respectivos componentes mineralógicos. Los resultados de los diferentes pasos se encuentran especificados a continuación. Ver figura 2.

La composición de la muestra según difracción de rayos x es la que se indica en la tabla 5.

Tabla 5
Composición de la muestra

COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA		
MINERAL	FÓRMULA	%
Cuarzo	SiO_2	86,5
Pirita	FeS_2	2
Hematita	Fe_2O_3	0,9
Ortoclasa	$(\text{K,Ba,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	4,2
Otros		6,4

Fuente: Ensayos analizados en CEPROMET minera Porvenir SAC



Figura 2. Muestra de mineral en estudio

Fuente: Elaboración propia

3.3. Operacionalización de variables

VARIABLES INDEPENDIENTES PARA EL PROCESO DE FLOTACIÓN:

- Dilución
- Tiempo del proceso
- RPM
- Granulometría
- Dosificación de reactivo

VARIABLES INDEPENDIENTES PARA EL PROCESO DEL CONCENTRADOR CENTRÍFUGO:

- Dilución
- Tiempo del proceso
- RPM
- Granulometría
- Presión del sistema

VARIABLES INDEPENDIENTES PARA EL PROCESO DE LA MESA GRAVIMÉTRICA:

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

VARIABLES DEPENDIENTES PARA LOS PROCESOS MENCIONADOS SERÁ:

- Recuperación del oro

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1 Recopilación de datos operacionales

➤ Pruebas metalúrgicas

El mineral corresponde a la zona de Lechemayo, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, región Puno. El ensayo químico de la muestra de mineral de cabeza analizado se indica en la tabla 6.

Tabla 6

Ensayo químico de la muestra de mineral de cabeza

Au (g/t)	Ag (g/t)	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	% As	% Sb
46,66	12,6	0,12	0,09	0,11	6,36	0,13	1,21

Fuente: Ensayos analizados en CEPROMET minera Porvenir SAC.

➤ Prueba convencional de flotación

En esta etapa se realizó una prueba de flotación del mineral, para ver la respuesta a este proceso de concentración y descartarla el ensayo dio como resultado bajas recuperaciones y gran parte del oro se perdió en el relave. Al realizar esta prueba nuestro fin fue poder compararla con los otros procesos o métodos a realizar.

Se realizó el balance metalúrgico tanto en forma global como en forma unitaria para poder indicar qué es lo que ocurre tanto en la etapa Rougher como en la etapa de Cleaner.

- Etapa de molienda:

El mineral fue preparado a una granulometría de 100 % pasante la malla número 6,30 mm (1/4"). Para ello se redujo en su tamaño por medio de etapas sucesivas de chancado hasta 6,30 mm (1/4"). Después, ingresó al molino de bolas a una dilución de 2/1, dándole un tiempo de molienda de 22 minutos, lo que dio una granulometría de 55,1 % -200 mallas para su posterior etapa de flotación.

- Etapa de flotación:

Se hizo una prueba de desbaste (Rougher) seguida de una etapa de limpieza. A continuación se muestra en la tabla 7 el consumo de reactivos empleados durante la prueba de flotación; en la tabla 8 se presenta el balance metalúrgico global y en la tabla 9 se presenta el balance metalúrgico unitario.

➤ Prueba de concentración centrífuga falcon

- Etapa de molienda:

El mineral fue preparado a una granulometría de 100 % -12 mallas. Para ello se redujo en su tamaño por medio de etapas de chancado, similar que en la etapa anterior. Después, para su ingreso al molino de bolas, se preparó a una dilución de 2/1, dándole un tiempo de molienda de 22 minutos lo que dio una granulometría de 55,1 % -200 mallas. Pero en esta etapa, se realizaron 4 moliendas, es decir, se emplearon 4 Kg de mineral para tener cantidad suficiente de muestra que es lo requerido para la etapa posterior con el concentrador centrífugo Falcon.



Figura 3. Celda de flotación

Fuente: Elaboración propia

- Etapa de concentración centrífuga Falcon:

La pulpa producida en la etapa de molienda, es descargada en un tanque de 15 litros con agitación constante con lo cual evitamos el asentamiento de sólidos.

A continuación, se indica en la tabla 9, se presenta el balance metalúrgico de la prueba realizada y en la tabla 10 las condiciones de operación realizadas en el equipo Falcon.

➤ Primera prueba de concentración en mesa gravimétrica

- Etapa de molienda:

El mineral fue preparado a una granulometría de 100 % -12 mallas. Para ello eso se redujo su tamaño en etapas de chancado, similar a la etapa anterior. Después, ingresó al molino de bolas, se preparó a una dilución de 3/1, dándole un tiempo de molienda de 22 minutos lo que dio una granulometría de 55,1 % -200 mallas. Pero en esta etapa, se realizaron 4 moliendas, se emplearon 4 Kg de mineral para tener cantidad suficiente de muestra, requerida para la etapa de la mesa gravimétrica.

- Etapa de concentración gravimétrica en mesa:

Aquí, la pulpa producida por la etapa de molienda, es descargada en un tanque de 15 litros con agitación constante.

A continuación, se indica en la tabla 11 las condiciones de operación realizadas en la mesa, en la tabla 12 se presenta el balance metalúrgico de la prueba realizada.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 Análisis granulométrico del mineral

Tabla 7

Análisis granulométrico del mineral

MALLA	ABERTURA	PESO	%PESO	%CUM (+)	%CUM (-)
30	595	0,14	0,07	0,07	99,93
35	500	0,13	0,07	0,14	99,86
50	297	5,20	2,63	2,77	97,23
70	210	14,63	7,40	10,16	89,84
100	149	27,81	14,06	24,22	75,78
140	105	26,53	13,41	37,63	62,37
200	74	14,38	7,27	44,90	55,10
-200		109,00	55,10	100,00	0,00
		197,82			



Fuente: Elaboración propia

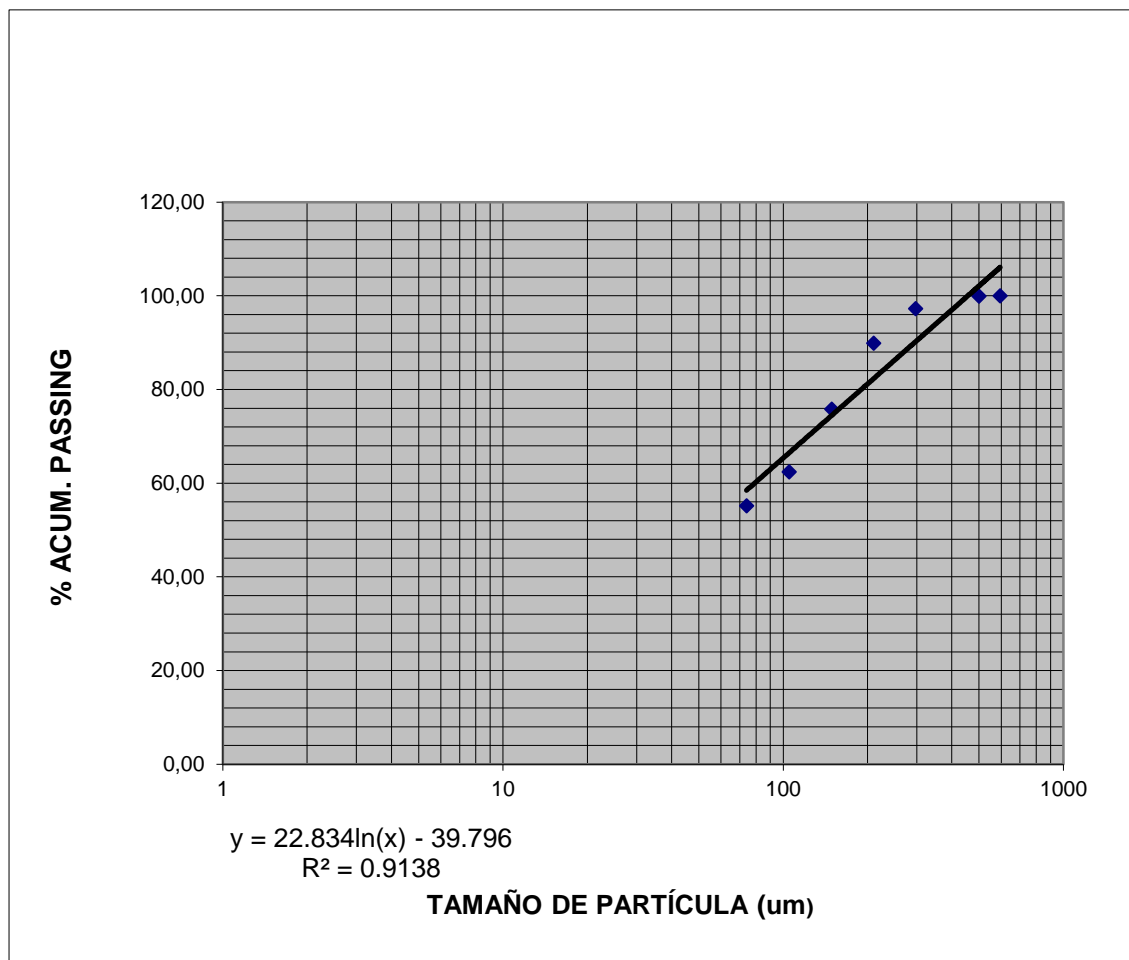


Figura 4. Distribución granulométrica del mineral molido

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Prueba convencional de flotación.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas más adecuadas para el presente trabajo de tesis.

Tabla 8

Parámetros de la pruebas de flotación

Granulometría 55,1 % -200 mallas

Etapa	REACTIVOS ADICIONADOS (g/t)					
	Z-11	CYTE C	CYTEC 3418A	Esp. 76-A	Acond.	pH
Rougher	140	18	20	12	12	7,9
Cleaner	25	4	5	8	5	8,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Balance metalúrgico global - Prueba de flotación

PRODUCTO	PESO (g)	PESO (%)	LEYES Au (g/t)	LEYES Ag (g/t)	CONTENIDO FINOS Au (g)	CONTENIDO FINOS Ag (g)	% RECUPERACIÓN % Au	% RECUPERACIÓN % Ag	RATIO
CONCENTRADO	25,56	2,56	1078,89	240,23	27,58	6,14	59,10	42,00	39,12
CLEANER									
MEDIOS	95,10	9,51	142,00	43,12	13,50	4,10	28,94	28,05	
RELAVE	880,3	88,03	6,34	4,97	5,58	4,38	11,96	29,95	
ROUGHER									
CABEZA	1000	100,0	46,66	14,62	46,66	14,62	100	100,00	
CALCULADA									

Ensayes analizados en CEPROMET minera Porvenir SAC.

Fuente: Elaboración propia

- La prueba de flotación convencional que se realizó no fue satisfactoria porque se obtuvo recuperaciones generales bajas en oro **59,10 %**, con una ley de concentrado de **Au = 1078,89 g/t**.

4.1.3 Prueba de concentración centrífuga Falcon

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas más adecuadas para el presente trabajo de tesis.

Tabla 10

Parámetros del proceso concentración centrífuga Falcon.

Granulometría 55,1 % -200 mallas

Etapa	Dilución	Densidad de Pulpa	Presión de agua (PSI)	Gravedad (G)	Autopac (Hz)	pH
Falcon	2/1	1350	3	200	68	7,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Balance metalúrgico - concentrador Falcon

	PESO (g)	PESO (%)	LEYES Au (g/t)	CONTENIDO FINOS Au (mg)	% RECUPERACION % Au	RATIO
CONCENTRADO	94,00	24,87	269,33	25,32	90,97	4,02
RELAVE	284,00	75,13	5,00	1,42	9,03	
CABEZA CALCULADA	378,00	100,00	46,66	17,64	100,00	

Ensayes analizados en CEPROMET minera Porvenir SAC.

Fuente: Elaboración propia

- Para el caso del oro, con la concentración centrífuga Falcon se obtiene una recuperación total del proceso de **90,97 %** para el oro.

4.1.4 Primera prueba de concentración en mesa gravimétrica

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas más adecuadas para el presente trabajo de tesis.

Tabla 12

Parámetros del proceso mesa gravimétrica

Granulometría 55,1 % -200 mallas

Etapa	Dilución	Densidad de Pulpa	Agitación rpm	Ángulo °	Vibración G	pH
Mesa	3/1	1350	200	2	68	7,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Balance metalúrgico - mesa gravimétrica

	PESO (g)	PESO (%)	LEYES Au (g/t)	CONTENIDO FINOS Au (mg)	% RECUPERACION % Au	RATIO
CONCENTRADO	50,00	5,00	33,87	1,69	86,40	20,00
INTEMEDIO	150,00	15,00	10,34	1,55	3,32	
RELAVE	800,00	80,00	2,45	1,96	10,27	
CABEZA CALCULADA	1000,00	100,00	46,66	46,66	100,00	

Ensayes analizados en CEPROMET minera Porvenir SAC.

Fuente: Elaboración propia

- Para el caso del oro, en la mesa gravimétrica, se obtiene una recuperación total del proceso de **86,4 %** para el oro.

4.2.5 Resumen de los resultados

Se puede ver claramente en la figura 4, de los tres procesos empleados en presente estudio como la flotación, mesa gravimétrica y concentrador Falcón, las mejores recuperaciones se realizan en las pruebas empleando del concentrador centrífugo Falcon de laboratorio llegando recuperación hasta 90,97 %.

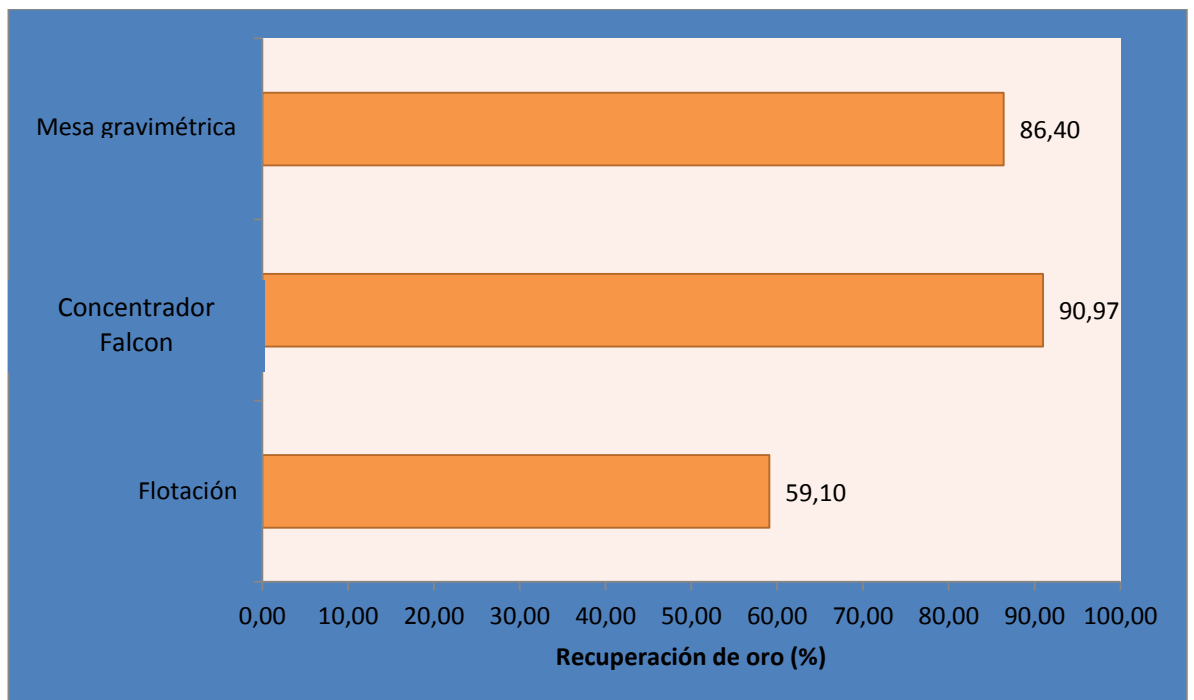


Figura 5. Métodos de procesos considerados para el tratamiento de minerales auríferos

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- El estudio del mineral utilizado para las pruebas metalúrgicas para la recuperación del oro, que está en una matriz de cuarzo simple donde se encuentra fino, diseminado y libre.
- Utilizando el concentrador centrífugo Falcon para este tipo de minerales a una granulometría de 55,1 % -200 mallas, se logró obtener resultados metalúrgicos satisfactorios en cuanto a recuperación de Au. Así se llegó a una recuperación de 90,97 %.
- En las pruebas de flotación, se presentaron bajas recuperaciones del 59,1 %, por lo que se desestimó este proceso para fines de pilotaje posteriormente.
- Se puede apreciar que el tratamiento adecuado para este tipo de minerales también responde a procesos utilizando mesa gravimétrica, obteniendo recuperaciones del 86,4 % mediante el proceso gravimétrico.

RECOMENDACIONES:

- Las pruebas metalúrgicas realizadas se han efectuado en una mínima cantidad de muestra por lo que se recomienda continuar con el estudio con mayor cantidad de mineral para realizar a nivel de pilotaje, lo que permitirá reafirmar los resultados metalúrgicos obtenidos a nivel de laboratorio.
- Los precios consultados con las empresas Shandong Xinhai Mining Technology & Equipment Inc (Mesas vibratorias) y Futura Technologies (concentradores Falcon), fueron los siguientes:

✓ Concentrador Falcon

MODELO	CAPACIDAD (t/h)	Precio (\$)
I 150	2	8 850,00

✓ Mesa vibratoria

MODELO	CAPACIDAD (t/h)	Precio (\$)
XS 7,6	2	6 800,00

Por la diferencia de precios existentes en los equipos se recomienda continuar con las pruebas y evaluaciones en la concentración de mesa gravimétrica, por resultar un equipo de menor costo.

- Realizar pruebas adicionales con el concentrador centrífugo Falcon con pequeños cambios en las variables de operación, por ser este el método con el que se obtuvo la mejor recuperación en el presente estudio.
- Considerar para otras pruebas la recuperación de la plata, aunque para este elemento sean muy bajas utilizando la concentración gravimétrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (2006). “*Tecnología de la concentración centrífuga*”. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de investigaciones en Metalurgia y Materiales. La Paz – Bolivia.
Recuperado de: <http://iimetmat.umsa.edu.bo>
- Bullion, V. (2005), *Guía sobre el oro*.
Recuperado de <https://oro.bullionvault.es/guia-oro/propiedades-del-oro>.
- Bustamante, O., y Gaviria, C. (2008). Concentración de minerales.
Recuperado de: <http://minas.medellin.unal.edu.co/>
- Eyzaguirre, C. “*Academia.edu.*”
Recuperado de: https://www.academia.edu/_Concentracion_Centrifugos
- El Comercio. (2016).
Recuperado de: <https://www.elcomercio.pe/economia/peru/peru-sexto-pais-mayores-reservas-oro-mundo>.
- Misari, F. (1994). *Metalurgia del oro*. Lima – Perú. Centro de Estudio Promoción y Centro de la Tierra (CEPETEC).
Recuperado de: <http://www.librosperuanos.com/libros/detalle/Metalurgia-del-oro>.
- LENNTECH. (2001). “*Oro – Au*”.
Recuperado de: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/>

- Palomino, A., y Ramos, O. (2008). *“Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera Koricolqui”*.
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
Recuperado de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/2118>.
- Wikipedia. (2017). Calaverita.
Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Calaverita>.

ANEXOS

Tacna, 28 de noviembre de 2017

Ing. Raúl Tolomeo Soto Pérez

Director de Escuela de Ingeniería Metalúrgica – UNJBG - Tacna

Me presento ante usted para solicitar de fe y conformidad a las pruebas que realice para el desarrollo de mi trabajo de tesis, el cual tiene por nombre **“EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES PROVENIENTES DE LA ZONA DE LECHEMAYO – SAN GABÁN REGIÓN DE PUNO”**, dichas pruebas se realizaron en el laboratorio de la escuela de ingeniería metalúrgica de la UNJBG – Tacna, en la fecha de 31/01/17 a 22/01/17 con el debido permiso.

A continuación menciono las pruebas realizadas.

- Prueba de flotación y análisis de resultados de la misma.
- Prueba de concentrador Falcon y análisis de resultados de la misma.
- Prueba con mesa gravimétrica y análisis de resultados de la misma.

Agradecería visar el presente documento como prueba firme de la realización de las pruebas en los ambientes ya mencionados.


Ing. Raúl T. Soto Pérez




Bach. Edwin M. Mamani Huanca

Documento de conformidad de pruebas en laboratorio de la escuela de ingeniería metalúrgica – UNBJG – Tacna.