



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero
Nambija “Condominio Sur”

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Cabrera Carrión Santiago Israel

DIRECTOR: Sanmartín Gutiérrez Víctor Aurelio Mgs-Ing.

LOJA-ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Victor Sanmartín Gutiérrez.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija Condominio Sur, realizado por: Cabrera Carrión Santiago Israel, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por tanto se aprueba la presentación del mismo. .

Loja, octubre 2014

f) _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Santiago Israel Cabrera Carrión declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija Condominio Sur, de la Titulación de Ingeniero en Geología y Minas, siendo Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f) _____

Santiago Israel Cabrera Carrión

1900706183

DEDICATORIA

A mis amados padres y apreciados abuelitos.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que de una u otra forma siempre estuvieron brindando su apoyo a lo largo de esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN.....	ix
ABSTACT	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	xii
GENERALIDADES	xii
1.1. Antecedentes.....	xiii
1.2. Justificación.....	xiv
1.3. Objetivos	xvi
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	xvi
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	xvi
CAPÍTULO II.....	17
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRÁFICAS DEL DISTRITO MINERO NAMBIJA “CONDominio SUR”	17
2.1 Localización geográfica y acceso	18
2.2 Clima y vegetación	19
2.3 Relieve	20
CAPÍTULO III.....	21
MARCO GEOLÓGICO.....	21
3.1 Geología regional	22

3.2 Geología local	28
CAPÍTULO IV	29
MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA.....	29
4.1 Mesa vibratoria	30
4.2 Concentrador centrifugo Knelson.....	32
CAPÍTULO V	34
METODOLOGÍA.....	34
5.1 Muestreo	35
5.2 <i>Preparación de la muestra</i>	35
5.2.1 Trituración.....	35
5.2.2 Homogenización y cuarteo	36
5.3 Caracterización del mineral	36
5.3.1 Peso específico del mineral	36
5.3.2 Determinación del tiempo de molienda para la liberación de oro.....	37
5.4 <i>Análisis granulométrico</i>	38
5.5. <i>Análisis mineralógico</i>	38
5.6. <i>Análisis químico</i>	39
5.7. Concentración gravimétrica con mesa vibratoria	41
5.8. Concentración gravimétrica Knelson	42
5.9. Combinación de procesos	44
CAPÍTULO VI	45
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.1 Caracterización del mineral.	46
6.1.1 Peso específico.....	46
6.1.2 Granulometría inicial	46
6.1.3 Mineralogía del mineral	49
6.1.4 Análisis químico de cabeza	51

6.2	Tiempos de molienda para la liberación de oro.....	52
6.2.1	Curvas granulométricas de molienda: <i>Ensayo concentrador centrifugo KNELSON</i> ...	53
6.2.2	Curvas granulométricas de molienda: <i>Ensayo Mesa de concentración gravimétrica</i> ..	55
6.3	Mesa de concentración gravimétrica.....	56
6.3.1	Rendimiento	56
6.4	Concentrador centrifugo Knelson.....	57
6.4.1	Rendimiento Etapa I.....	58
6.5	Combinación de procesos	60
CAPÍTULO VII		62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		64
BIBLIOGRAFÍA.....		65
ANEXOS.....		66
Anexo 1: Parámetros de molienda.		67
Anexo 2: Balance metalúrgico: Mesa de concentración gravimétrica		68
Anexo 3: Balance metalúrgico: Concentrador centrifugo Knelson.		69
Anexo 4: Recálculo de ley: Malla #180.....		70
Anexo 5: Balance metalúrgico: Combinación de procesos mesa de concentración gravimétrica.....		71
Balance metalúrgico: Combinación de procesos concentrador centrifugo Knelson.....		72
Concentrado de relaves (1PSI).....		73

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es aplicar métodos gravimétricos para la concentración de oro: Mesa de Concentración y Concentrador Centrífugo Knelson; al material del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”.

La mineralogía se determinó empleando el análisis microscópico con luz polarizada donde se obtuvo: Pirrotina 41%, Esfalerita 22%, Pirita 13%, Calcopirita 3% y Ganga con un 12%.

Para los ensayos con mesa concentradora se consideró como variable el tamaño de grano, obteniéndose los mejores resultados a malla #125 con un rendimiento del 37,78%.

Para los ensayos del concentrador centrífugo Knelson se tomó en consideración: tamaño de grano y presión; se realizó una segunda alimentación empleando los relaves del primer proceso con lo cual se procedió al recalcado de leyes; el tamaño de grano óptimo fue a malla #180 con una presión de 1PSI se consiguió un rendimiento del 61,47%.

El desarrollo de la combinación de procesos fue en secuencia, al concentrado obtenido en la mesa concentradora se lleva a molienda hasta obtener el tamaño de grano adecuado; finalmente se empleó el concentrador centrífugo Knelson obteniendo como resultado un rendimiento del 87,95%.

Palabras Claves: Tamaño de grano, Presión, Gravimetría, Nambija.

ABSTACT

The aim of the present research is to apply the gravimetric methods for the gold concentration, to be more specific in concentration table and knelson centrifugal concentration from material of Nambija "south condominium".

The mineralogy was determined using the polarized light microscopic analysis which was obtained: 41% pyrrhotite, 22% Sphalerite, 13% Pyrite, 3% Chalcopyrite and Ganga with 12%.

For the realization of the test whit concentration table, we consider the grain size, obtaining the better results using a number 125 mesh aim with a performance of 37,78%.

For the knelson centrifugal concentration test, we apply; size of grain and pressure, also performed a second feed, it using the first process tailingsthus proceeded to recalculation of grain size with wich the highest values using a number 180 mesh, and using too a 1PSI pressure, we obtain a better performance of 61,47%.

The development procees combination was in secuence that us used first in the concentration table, then the concéntrate grinding took to set the size of appropriate grain and finally using the knelson centrifugal concentration, we obtain a better performance of 87,95%.

Keywords: size of grain, pressure, gravimetry, Nambija.

INTRODUCCIÓN

La extracción y recuperación de oro dentro del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur” se ha venido desarrollando desde décadas anteriores con técnicas rudimentarias afectando al medio ambiente de toda la zona y principalmente afectando a la salud de las personas que subsisten de la actividad minera.

El presente estudio se desarrolla en siete capítulos, los cuales se describen en forma breve a continuación:

En el capítulo uno constan “Generalidades”, un repaso a las investigaciones previas, así como la descripción de los objetivos planteados dentro presente trabajo.

Dentro del capítulo dos “Características Físicas-Geográficas”, se describe aspectos geográficos significativos del Distrito minero tales como localización, acceso, clima y relieve.

En el capítulo tres “Marco Geológico”, hace referencia a todo el contexto geológico regional y local, además también describe todas las características estructuro-formacionales más relevantes presentes en la zona, tal como el Batolito de Zamora, Cinturón y Skarn de Nambija, entre otros.

En el capítulo cuatro “Métodos de Concentración Gravimétrica” se describe los métodos y equipos que se utilizan dentro del desarrollo del presente trabajo, además de un análisis de las ventajas que trae el uso de estos equipos y su posible implementación dentro de la minería artesanal, principalmente dentro de la zona de estudio.

En el capítulo cinco “Metodología”, da a conocer todos los aspectos del desarrollo del presente estudio, entre los cuales están: Trabajo de campo con la recolección y posterior tratamiento del material. Análisis de laboratorio con el empleo de los equipos de concentración gravimétrica y al final la interpretación y discusión de resultados.

En el capítulo seis “Discusión de Resultados”, presenta toda información que se obtuvo con los ensayos y análisis realizados en el laboratorio que están en relación directa con los objetivos planteados al principio de la investigación.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La actividad minera en Nambija se remonta a la época de la Colonia donde fue explotada por los ingleses, las minas contribuyeron al desarrollo de Zamora de los Alcaldes y fueron abandonadas conjuntamente con la ciudad.

Fueron redescubiertas en la década de 1980 por colonos de la provincia que realizaba actividades rústicas de recuperación de oro en el río Nambija; los cuales iniciaron su rápida explotación para la extracción del precioso mineral.

Los mineros construyeron gigantescas cavernas siguiendo al mineral que se distribuye por todo el frente del cerro Nambija, generando inestabilidad y riesgo de deslizamientos.

En el año de 1993 el Estado Ecuatoriano realizó un estudio que concluyó con la división de los derechos del todo el sector en dos: Condominio Norte (401 mineros) y Condominio Sur (232 mineros), cubriendo estos dos un total de 69 hectáreas.

En el año de 1996, la empresa canadiense “Canuc Resources Corporation” adquiere los derechos de la mayoría de las organizaciones mineras; completando un 85% de la totalidad de las concesiones.

En la actualidad dentro de Nambija se encuentran realizando actividades de explotación: mineros informales, grupos de mineros organizados y miembros de la Compañía “Canuc”; aún sin una normativa oficial y una regulación por parte del Estado.

1.2. Justificación

La minería artesanal en nuestro país y especialmente en la Provincia de Zamora Chinchipe ha sido una actividad transmitida generacionalmente que sirve de sustento a muchas familias; pero hoy se presenta como una actividad conflictiva que requiere políticas nacionales para su regulación, control y mejora de las condiciones que le rodean, de tal manera que los procesos de extracción minera artesanal sean lo menos contaminantes posible, seguros y cuenten con tecnología adecuada.

Durante muchos años se ha venido utilizando químicos para recuperar el mineral, principalmente el mercurio.

El mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas en las que se encuentra, este se adhiere al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro.

Cuando esto se hace los vapores de mercurio escapan al aire y son inhalados por los mineros, sus familias y demás personas que se encuentren cerca. Esta práctica produce emisiones atmosféricas de mercurio de alrededor de 300 toneladas métricas anuales en todo el mundo.

El Distrito minero Nambija, ha sido el primer productor de oro del Ecuador desde mediados de los años 80 hasta mediados de los 90 y, aunque su actividad ha disminuido en los últimos años, continúa siendo una de las principales áreas mineras del país.

Como resultado de esta actividad que ha sido realizada durante muchos años y que actualmente la siguen efectuando los mineros artesanales con técnicas rudimentarias; han provocado en la zona un alto índice de contaminación hacia al ambiente, principalmente a los afluentes.

Es por ello que este proyecto se basa en el análisis y estudio de nuevas técnicas de recuperación y aprovechamiento del mineral como son los métodos gravimétricos (Mesa Vibratoria y Concentrador Centrifugo KNELSON). Estos métodos reducen significativamente el vertido de desechos contaminantes hacia el ambiente y además lo más importe para los

pequeños mineros es que aumenta el porcentaje de recuperación de mineral por cada tonelada procesada de material.

La concentración gravimétrica es esencialmente un método para separar partículas minerales de diferente peso específico, por las diferencias de movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad u otras fuerzas, como la hidráulica y de fricción; es el método más sencillo y económico de todos los métodos de concentración.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Recuperación de oro mediante la aplicación de métodos gravimétricos: Mesa Vibratoria y Concentración Centrífuga Knelson; estimando los porcentajes de rendimiento.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Análisis mineralógico de la mena mediante sección pulida.
- ✓ Análisis químico de cabeza.
- ✓ Análisis granulométrico.
- ✓ Evaluar el rendimiento en concentrador por Knelson.
- ✓ Evaluar el rendimiento en concentrador por Mesa Vibratoria.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRÁFICAS DEL DISTRITO MINERO NAMBIJA “CONDOMINIO SUR”

2.1 Localización geográfica y acceso

El Distrito Minero Nambija “Condominio Sur” se localiza en la Provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, parroquia de San Carlos de las Minas, sector Nambija (Figura 1).

El acceso se realiza desde la ciudad de Zamora, siguiendo la troncal amazónica en dirección a Yanzatza por carretera asfaltada hasta la población de Namirez. Desde esta población cruzando el puente sobre el río Zamora, se sigue por carretera lastrada hasta la población de San Carlos. Desde aquí se sigue por carretero público lastrado de tercer orden hasta el asentamiento de Nambija.

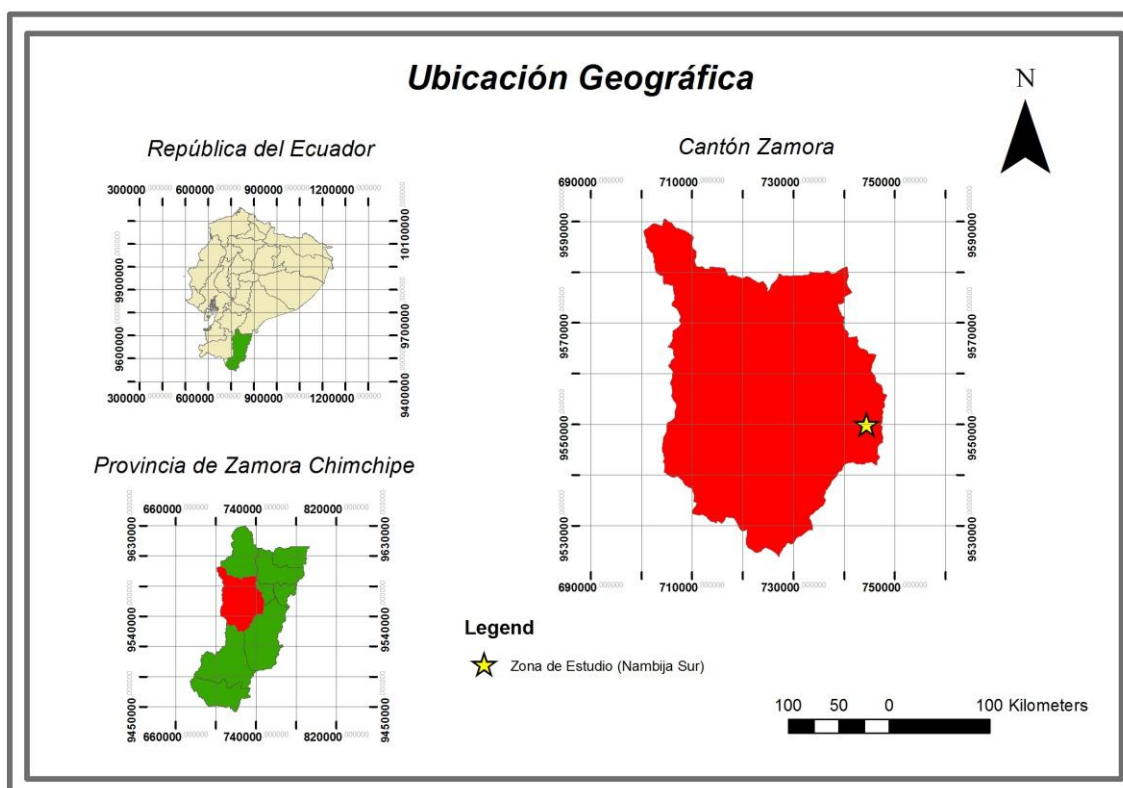


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: El Autor.

2.2 Clima y vegetación

La zona de estudio en general cuenta con un clima húmedo subtropical cuya temperatura media anual está entre 18 y 22°C. Los meses de menor temperatura promedio son junio, julio, agosto y septiembre, y los meses de mayor temperatura son: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo.

La temporada de lluvia está presente durante casi todo el año, promedian entre 2000 y 3000 mm, con un descenso en los meses de julio y agosto, esporádicamente existen veranillos durante estos meses, que puede llegar inclusive hasta el mes de diciembre. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2012).

La zona, se ubica en la base oriental de la cordillera andina, por lo cual se caracteriza por un bosque húmedo verdoso (Bosque de Neblina Montano) (Fotografía 1).



Fotografía 1: Vegetación verdosa característica de la zona.

Fuente: El Autor.

2.3 Relieve

Dentro del distrito minero Nambija, predomina un paisaje montañoso muy disectado, marcado por formaciones empinadas y abruptas en su mayoría compuestas por rocas intrusivas volcánicas. La red hidrográfica es densa, poco jerarquizada, típica de las regiones con disección sobre rocas.

CAPÍTULO III
MARCO GEOLÓGICO

3.1 Geología regional

El Distrito minero de Zamora está localizado en el sector NE de la Provincia de Zamora Chinchipe al SE de la Provincia de Morona Santiago y comprende parte de la región morfoestructural de la Cordillera del Cóndor.

Ambiente tectónico

El Distrito minero de Zamora está definido por la extensión del batolito de Zamora, el cual está emplazado dentro del cratón Guayanés al Este (Cordillera Real). El lado Oeste del Cratón Guayanés está definido por la falla de cabalgamiento Palanda y más al Norte por la falla regional Casanga.

El batolito de Zamora es una estructura alargada, indeformada y no meteorizada de intrusiones granitoides con edad jurásica, el cual ocurre sobre el Cratón Guayanés formando el cinturón sub andino, el cual está asociado con las rocas volcánicas de la Unidad Misahualli. (Litherland, 1994)

Litologías pre-a sin-batolíticas

Durante el paleozoico el Cratón Guayanés fue el lugar de deposición de las indeformadas formaciones Pumbuiza y Macuma (*Levantamiento Cutucu*) y de la Unidad metamórfica Isimanchi dentro del distrito Zamora.

- Unidad Piuntza (Triásico) se presenta como un techo colgante limitado en el subdistrito de Cumbaratza del Batolito de Zamora. Esta esencialmente constituida por una secuencia indeformada buzando con bajo ángulo de volcanosedimentos continentales/marinos los cuales sobreyacen discordantemente a la Unidad Isimanchi. Litológicamente la Unidad Piuntza comprende calizas, una variedad de lutitas calcareas, limonitas y areniscas con componentes tobaceos/volcanoclasticos tobas granudas a finas, flujos volcánicos y brechas de composición andesito-basálticas a cuarzo-dacitas.
- Unidad Chapiza (Jurásico-Cretácico) comprende una sucesión de sedimentos clásticos no metamórficos de tipo continental buzando con bajo ángulo los cuales forman la

cordillera de Cutucu. Esta unidad también ocurre en el campo minero Pachicutza donde irregularmente esta sobreyacida por los volcánicos Misahualli.

Es una típica secuencia de capas rojas de lutitas, areniscas, conglomerados con evaporitas delgadas y limonitas tobáceas localmente depositados.

- Unidad Misahualli comprende principalmente rocas volcánicas calco-alcalinas, las cuales están relacionadas con los principales Batolitos Jurásicos de la zona sub Andina. Litológicamente la unidad consta de basaltos, lavas andesíticas-dacíticas y piroclásticas con pocos sedimentos interestratificados, pero en muchos lugares asociados con intrusiones porfídicas subvolcánicas (Figura 2).

Batolito de zamora

El batolito de Zamora tiene alrededor de 200 km de largo y 50 km de ancho, siendo segmentado en tres por las fallas de La Canela y Nangaritza con dirección N-S. Este comprende un complejo de intrusivos multifase predominantemente constituido por series de magnetita de granodioritas hornblendíticas-biotíticas y dioríticas hornblendíticas.

Granodioritas hornblendíticas con megacristales de feldespato potásico y cuarzomonzodioritas con megacristales de perita rosa son comunes en el área de Guaysimi-Pachicutza. Existen también intrusivos subvolcánicos finamente granulados los cuales pueden estar asociados comagmáticamente con los volcánicos Misahualli. Las fases más desarrolladas incluyen stocks de monzogranitos y cuarzomonzonitas con biotita y muscovita las cuales son raramente tardías y están mineralizadas localmente.

Litologías post-batolíticas

- Formación Hollín (Albiano-Aptiano) presenta las características areniscas blancas y cuarcitas las cuales sobreyacen discordantemente al Batolito de Zamora, a la Unidad Misahualli y otras unidades antiguas.
- Formación Napo (Albiano-Maestrichtniano) comprende calizas grises oscuras, lutitas negras y areniscas con una potencia de entre 200-600 m.

- Formación Tena comprende capas rojas fluviales a lacustres con una potencia entre 250 a 1000 m y representa el retiro del océano y el inicio de un ambiente continental de deposición derivado de la cordillera andina durante el Maestrichtiano Tardío a Paleoceno (Wilkinson, 1982). Estas secuencias de cobertura son virtualmente imperturbadas sobre el cratón plegado, fallado y foliado en el cinturón subandino. En el área del Batolito de Zamora las rebanadas tectónicas de la foliada Formación Napo ocurren a lo largo de la falla Canela.
- Unidad Chinapintza es una nueva unidad comprendida por volcánicos silíceos a intermedios con intrusivos subvolcánicos relacionados en el campo minero de Pachicutza.

Estructura

La estructura del distrito está dominada por la falla regional de cabalgamiento Palanda, la cual define el frente subandino y las fallas biseladas con tendencia N-S (*La Canela y Nangaritza*) las cuales subdividen el batolito, Las fallas regionales de Palanda y Cosanga definen el límite este del tectonometamorfismo Andino caracterizado por fabricas penetrativas y asociaciones metamórficas. El Cratón Guayanés y la secuencia de cobertura al Este de esta línea exhiben una distribución heterogénea del esfuerzo, caracterizada por la zona de cizalla y falla de cabalgamiento entre las cuales la deformación ha sido limitada por un suave plegamiento, acompañado por fallamiento en bloques.

El batolito está limitado por fallas hacia el Este (falla El Cóndor) donde esta yuxtapuesto contra los volcánicos Misahualli y los similares lineamientos subparalelos de fallas con dirección N-S continúan hacia el Este tan lejos como el frente Cutucu-Galeras en el lado Este de las sierras subandinas.

Una de las principales características del distrito es la ocurrencia del graben o semi graben con dirección NS como tipifican los cinturones de Nambija y María Elena, donde las rocas de edad pre a sin batolítica son preservadas de techos colgantes parcialmente skarnificada, limitada por fallas. Diques a lo largo de las fallas del graben con edad Cretácica media indican que existió una fase tectónica entre el evento colisional de peltetec y el cese de la deposición de las formaciones Napo y Tena coincidentes con la acreción del terreno Piñón y levantamiento de la Cordillera real.

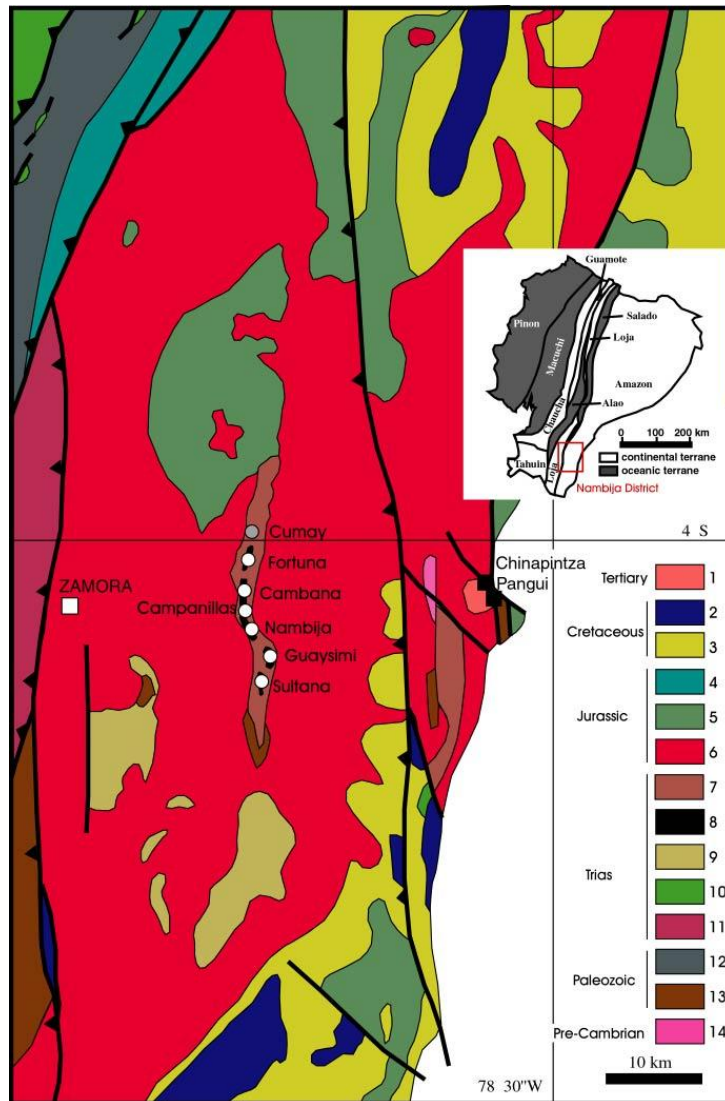


Figura 2: Geología regional del Distrito aurífero de Nambija.

Fuente: (slightly modified from Litherland et al., 1.994).

1. Intrusivos	2. Formación Napo
3. Formación Hollín	4. Unidad Alao-Paute
5. Unidad Misahualli	6. Batolito de Zamora
7. Unidad metamorfizada Piuntza	8. Skarn (schematic)
9. Unidad Piuntza	10. Metagranito (Tres Lagunas)
11. Unidad Sabanilla	12. Unidad Chiguinda
13. Unidad Isimanchi	14. Gneis migmatico;

Mineralización metalífera

Ocurrencias minerales en Distrito minero de Zamora están directamente relacionadas con la actividad magmática y el fallamiento. Diferentes tipos de depósitos han sido documentados (Goossens 1972, Gemuts et al 1992; Litherland et al 1994; Paladines y Rosero, 1996; Prodeminca) ellos incluyen:

1. Mineralización tipo pórfido Cu-Mo

Las mejores ocurrencias conocidas yacen en el cinturón de Nambija y en el extremo Norte del Batolito de Zamora; otros indicadores de pórfido de Cu-Mo identificados en las partes centrales y Sur del Batolito son especialmente asociadas con los techos de la Unidad Piuntza y las volcanitas Misahualli.

2. Mineralización de tipo porfídica de Cu-Au/Mo

Existe un número de prospectos de Porfidos de cobre donde oro/plata están asociados con el cobre o presentes en la envoltura exterior de la mineralización exocontacto. Estos incluyen el pórfido Tumi (Cerro Colorado) en el sector Sur del cinturón de Nambija, y los pórfidos de El Hito-Santa Barbara en los campos mineros de Pachicutza.

3. Depósitos de skarn cupríferos

Estos depósitos mayormente ocurren en los techos colgantes de los volcánicos Misahualli (Maria Elena, Namirez) y dentro de los volcánicos de la Unidad Piuntza en la mitad septentrional del cinturón de Nambija (Zumbi y Campanillas Oeste). Estos skarn pueden también portar menores cantidades de oro.

4. Depósitos epitermales de baja sulfuración alojados en skarn

Este grupo está casi enteramente alojado en sedimentos tobaceos y calcáreas variablemente skarnificadas del cinturón de Nambija. La mineralización es principalmente estratoligado a pesar de la localización de mena, esta estructuralmente controlada. Este grupo de depósitos de "skarn de oro oxidado" hecho famoso por los skarns auríferos de Nambija el cual fue extensamente explotado y todavía quedan reservas substanciales. Existen cuatro grupos principales de depósito en el cinturón, nominados: Nambija (el Arco, el Playon, el Diamante, El Tierrero y Mapasingue Goldstar) en el sector central Oeste del cinturón, Nambija Sur (Tumi y Sultana del Cóndor), Guaysimi alto que incluye los prospectos de cerro Banderas y la Escondida en la

porción Este central y Nambija Norte que incluye Campanillas, Ruminahui, Camban, La Fortuna y Cumay.

5. Depósitos epi-mesotermales transicionales relacionados con skarn

El prospecto Ana en el lado Oeste del cinturón de Nambija es el único ejemplo conocido de este tipo de mineralización. Tiene muchas semejanzas con los depósitos de “skarn aurífero reducido”.

6. Mineralización epitermal de baja sulfuración en vetas y brechas

Estos depósitos contienen significativas cantidades de Au-Ag y metales bases. Los mejores depósitos conocidos de este tipo ocurren en el campo minero de Chinapintza donde están asociados a centros volcánicos del Cretácico Medio a Tardío. Las rocas encajantes incluyen el Batolito de Zamora, intrusiones porfídicas subvolcánicas y considerable extensión lateral e incluye minas de Biche (S) y Tres Cerritos (N). Otros depósitos epitermales de este tipo incluyen Piuntza, Jardín del Cóndor y Cerro Quemado. Fallas de dirección N-S dentro el cinturón de Nambija también contiene indicios de mineralización epitermal polimetálica rica en Au-Ag. (Prodeminca, 2000).

3.2 Geología local

La geología del Distrito minero Nambija está representada por una secuencia de rocas del Jurásico inferior, constituida de argilitas, areniscas y arcillas con intercalaciones de mantos potentes de rocas andesíticas (500 m) y un paquete de cuarcitas (150 m) que hace contacto con la zona mineralizada de skarn (Paladines A. &, 2010).

Las rocas de skarn tienen estructura masiva, son de grano fino a medio, de color, algunas veces con tonalidades ladrillo (granates). En el área del yacimiento el intrusivo, está representado por una monzo-diorita de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático (Paladines A. &, 2010).

La principal y predominante mineralización es de oro; esta ocurre en vetas de cuarzo espacialmente asociado con skarn con granate. Algunas de las venas de cuarzo tienen granate deformado indicando contemporaneidad con la formación de skarn. Las inclusiones fluidas en el cuarzo son simples dos fases de inclusiones. La temperaturas de homogeneización no fueron determinadas, pero la falta de reacción retrógrada con granate, tales como la formación de epidota, sugiere que la temperatura de cuarzo vetado es relativamente alto y más allá de la gama de mineralización de tipo epitermal (Paladines A. &, 2010).

Los granos de oro se presentan en diferentes formas: isométricos, vetillas muy finitas, granos separados alotriomórficos. De acuerdo a investigaciones realizadas, la edad de la mineralización aurífera de Nambija, es de 145 ma., (Jurásico superior). (Litherland, 1994) (Paladines, 1996).

El oro contiene mezclas de mercurio (Hg) de 0.62 – 0.88% y plata (Ag) de 1.72-1.79%. La pirita contiene una mezcla promedio de 0.002% de cobalto (Co) y 0.002% de cobre (Cu). La calcopirita contiene una mezcla promedio de 0.01% de níquel (Ni), trazas de plomo (Pb) y 0.3% de molibdeno (Mo). De los análisis se deduce que el oro se presenta en forma nativa. (Paladines A. &, 2010)

CAPÍTULO IV

MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

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

4.1 Mesa vibratoria

La mesa con movimiento longitudinal vibratorio está muy difundida principalmente en la minería del estaño, wolframio y oro.

Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el proceso de concentración se lleva a cabo a la vista sobre el tablero de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambios en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente. Se pueden tomar muestras directamente durante la operación, utilizando bateas para oro, por ejemplo. Por lo tanto, la optimización de esta operación se lleva a cabo de una manera simple y puede ser realizada por operadores aprendices (Medmin, 2000).

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 sobreponen parcialmente unas sobre otras). De esta manera, uno puede separar, al realizar la regulación correspondiente, un concentrado de oro libre de alta riqueza, así como un concentrado de sulfuros; por ejemplo, un concentrado que contenga 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 (Medmin, 2000).

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).
- Manejo y supervisión relativamente simple (t/h).
- Posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañante.

Desventajas:

- Precio relativamente alto (en relación a su capacidad).
- Requiere alimentación constante.
- Requiere supervisión continua.
- Requiere motor.

Variables de operación

Entre las más importantes se mencionan:

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

Posibilidades de aplicación

Principalmente se puede usar en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas; su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso adicional (Medmin, 2000).

4.2 Concentrador centrífugo Knelson

El concentrador centrífugo Knelson, en la actualidad es uno de los equipos de concentración gravimétrica más usado en la concentración de minerales de oro, ha mostrado una separación con alta eficiencia, posee una elevada capacidad de procesamiento y sus costos de operación y mantención son relativamente bajos. (Medmin, 2000)

Es un equipo que sirve para concentrar minerales pesados por su diferencia de peso específico; Mediante la rotación a gran velocidad se crea una fuerza centrífuga del orden de 60 g, llevando las partículas de material hacia la periferia, donde las partículas mineralógicas de mayor peso tienen tendencia a entrar en los espacios inter-rifles, mientras que las partículas livianas son transportadas hacia la parte superior externa; además se emplea presión de agua (lecho fluidizado) para producir una competencia de fuerzas, el diseño de los equipos permite que sólo los materiales más pesados sean retenidos en la canastilla de concentración. (Miqueles, 2009).

Al final de un periodo de operación del concentrador Knelson, el concentrado que queda en los anillos es colectado y se retira por el fondo del cono. La duración del ciclo de concentración varía dependiendo de la aplicación que se esté realizando. (Miqueles, 2009).

Se aplica comúnmente como dispositivo primario de recuperación de metales preciosos en circuitos de molienda y plantas de tratamiento de material aluvial. Como promedio, el tamaño de las partículas aptas para este proceso varía entre 30 y 14 mm, dependiendo del tipo y modelo de centrifugadora utilizada.

La recuperación de oro libre puede ser buena bajo las siguientes condiciones:

- Clasificación del tamaño de partículas.
- Alimentación continua.
- Pulpa diluida sin presencia de grumos.
- Presencia de pocos minerales pesados adheridos

Ventajas

- Alta recuperación.
- Rendimiento de recuperación constante.
- Amigable con el medio ambiente (no necesita químicos o reactivos).
- Bajo consumo de electricidad y agua.
- Bajos costos de producción.

Una desventaja de las centrífugas con agua a inyección es su alta demanda de agua limpia. En las instalaciones de diferentes plantas de beneficio de pequeña minería se demostró que muchas veces resulta muy difícil proveer agua en la cantidad y con la presión necesaria. Especialmente para alcanzar la presión de agua requerida, muchas veces se tiene que utilizar una bomba, lo cual implica una inversión adicional. Es posible reciclar agua, pero esto requiere de instalaciones adicionales para su purificación (Medmin, 2000).

CAPÍTULO V
METODOLOGÍA

5.1 Muestreo

El proceso de recolección de muestras se llevo a cabo dentro del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”; se empleó el método de toma de muestras sistemático.

El material se lo obtuvo dentro de la concesión de la sociedad minera “CASTILLO”.

Coordenadas: X=0745444
Y=9549599
H=1811

Se tomó material obtenido de un proceso de voladura, en una cantidad aproximada de 120kg (cuatro sacos).

5.2 Preparación de la muestra

Una vez obtenido y transportado el material hacia los laboratorios y antes de proceder con los estudios y análisis previstos realizamos un acondicionamiento previo de la muestra.

Debido a que las muestras se encontraban expuestas al ambiente y por el mismo proceso de voladura es necesario secarlas, para esto empleamos una estufa a una temperatura promedio de 90°C por 24 horas.

5.2.1 Trituración

La trituración es un método de procesamiento de materiales el cual consiste en reducir el tamaño de las partículas de un material.

Para este proceso se empleó una trituradora de mandíbulas, este tipo de equipo operan fundamentalmente por el efecto de aplastamiento y, en menor grado, por la flexión; la abertura de las mandíbulas es previamente regulado para obtener el tamaño de partícula requerido en este caso 2 mm; el producto de esta trituración primaria es pasada por el tamiz ASTM #10 con la finalidad de clasificar el material, el pasante está listo para el siguiente proceso mientras que el retenido debemos someterlo a una segunda trituración.

5.2.2 Homogenización y cuarteo

La homogenización consiste en mezclar todo el material que se obtuvo del proceso de trituración hasta llegar a obtener una distribución uniforme.

Este proceso lo realizamos sobre una superficie plana donde sea posible esparcir todo el material, lo apilamos en forma cónica de manera que nos permita mezclarlo totalmente sin dejar partes muertas.

Dentro del proceso de cuarteo se busca separar las cantidades adecuadas y representativas de material para cada uno de los distintos ensayos; esto consiste en dispersar el material y formar una porción circular a la cual la dividimos en cuatro partes y tomamos las dos opuestas, repetimos este proceso hasta obtener la cantidad adecuada.

5.3 Caracterización del mineral

Esta caracterización permite conocer las propiedades físicas químicas y mineralógicas que presenta el material para comprender su comportamiento y determinar su tratamiento más efectivo.

5.3.1 Peso específico del mineral

El peso específico expresa la relación entre el peso de un mineral y el peso de un volumen igual de agua.

Para este análisis empleamos el método del picnómetro; que se resume en la siguiente expresión:

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

P1 → peso picnómetro vacío

P2 → P1 + peso de muestra

P4 → P2 + agua

P3 → P1 + agua

5.3.2 Determinación del tiempo de molienda para la liberación de oro

El proceso de molienda es la última etapa de la reducción de tamaño de partículas para la liberación de minerales con interés económico. Consiste en reducir el tamaño de 2 mm hasta obtener un pasante del 80% a través de la malla #200 (74 μm). Para esta etapa empleamos un molino de bolas Batch de laboratorio (9,8 pulg x 7,2 pulg), modelo C560394, accionado por un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ HP a 80 rpm con carga de bolas de acero.

Parámetros de molienda:

Peso Muestra: 1000 g.

Volumen de Agua: 1000 ml.

Dilución S/L: 1/1.

Carga de Molienda: 11,448 kg 40% de llenado.

Velocidad Crítica: 70-80 rpm.

Procedimiento:

Colocamos las esferas de acero dentro del molino, seguido añadimos la cantidad correspondiente tanto de mineral como de agua, cerramos la cubierta del molino y lo colocamos sobre los rodillos y procedemos a encender el equipo (Fotografía 2). El funcionamiento de este molino se da al girar a una velocidad determinada, las esferas de acero dentro del molino producen un efecto de cascada hacia abajo rompiendo las partículas de mineral, mediante impactos repetidos y continuos. Este proceso se lo llevo a cabo a distintos tiempos de molienda, tomando como referencia la granulometría.



Fotografía 2: Molino de bolas.

Fuente: El Autor.

5.4 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra. Para ello se emplea el vibrotamiz RETSH y una serie de tamices estandarizados ASTM.

La serie se detalla: N°10 (2 mm), N°18 (1 mm), N°35 (500 μm), N°60 (250 μm), N°120 (125 μm), N°200 (74 μm), N°230 (63 μm), N°325 (44 μm), N°400 (37 μm), y N°-400 Fondo.

Para realizar el tamizado por vía húmeda se emplean 250 g de muestra y la serie de tamices N°120, N°230, N°325, N°400; el material pasante se deje sedimentar durante 24 h se elimina el agua y se procede a secar y pesar; mientras que el material retenido es llevado directamente a la estufa a una temperatura de 100°C.

Una vez que el material retenido está seco se realiza el tamizado por vía seca empleando la serie completa de tamices, éstos se pesan con el material retenido y luego vacíos; con la diferencia obtenemos el peso de la muestra.

Con el porcentaje de material retenido en cada tamiz, se determina el D80 (Anexos). Esto nos determina el número de malla o el tamaño de grano en el cual se presenta el 80% de material pasante.

5.5. Análisis mineralógico

Para este ensayo las muestras fueron analizadas utilizando un microscopio OLYMPUS BH2-UMA.(Fotografía 3).

Para la fabricación de briquetas se tomó el siguiente protocolo:

- Determinamos una muestra representativa de entre 10-20 cm.
- En la máquina de corte procedemos a tallar dos cubos con dimensiones (2x2x2 cm).
- Ya obtenidos estos retazos procedemos a pulirlos aplicando una serie de lijas de 120, 240, 600 y 800.
- Una vez pulidas llevamos a la estufa por 24 h.
- Transcurrido este tiempo dejamos enfriar a temperatura ambiente por 2 h.

- Procedemos a preparar la solución en un recipiente con una adición de resina y endurecedor en relación 5:1.; vertemos esta solución sobre los moldes y dejamos secar por 72 h dentro de la cámara al vacío BUEHLER.
- Luego obtenidas las briquetas retiramos el exceso de resina presente en la cara a analizar, empleando la pulidora PETROPOL BUEHLER durante unos 10 min.
- Finalmente procedemos a analizar bajo el microscopio.



Fotografía 3: Microscopio BH2-UMA.

Fuente: El Autor.

5.6. Análisis químico

Método de ensayo al fuego

Para desarrollar este ensayo se emplearon dos hornos eléctricos de pruebas; el primero para el proceso fusión con una temperatura máxima de 1200°C y el segundo para el proceso de copelación con una temperatura de 900°C.

Fusión

Se la realiza añadiendo dentro de un crisol refractario la mezcla de reactivos (litargirio 35 g; carbonato de sodio 25 g; bórax 15 g; harina 3 g) más 25 g de muestra, luego de homogenizada se lleva al horno a una temperatura de 1000°C durante aproximadamente 60 min, para luego verter el material fundido sobre las payoneras de acero, en donde se deja enfriar la mezcla quedando como resultado en la parte inferior un régulo de plomo y en la superior escorias.

Copelación

Del material obtenido en el proceso de fusión procedemos a separar las escorias del regulo de plomo, con ayuda de un martillo procedemos a moldearlo hasta obtener una forma de cubo, se coloca dentro de la copela y se lleva al horno durante aproximadamente 180 min a 900°C o hasta que el plomo se evapore y sea absorbido como PbO por la copela, dando como resultado una perla de oro y plata.

Dilución de perlas con agua regia

Para la disolución de la perla obtenida en el proceso de copelación se debe seguir el siguiente proceso dentro de la cámara de digestión (Fotografía 4).

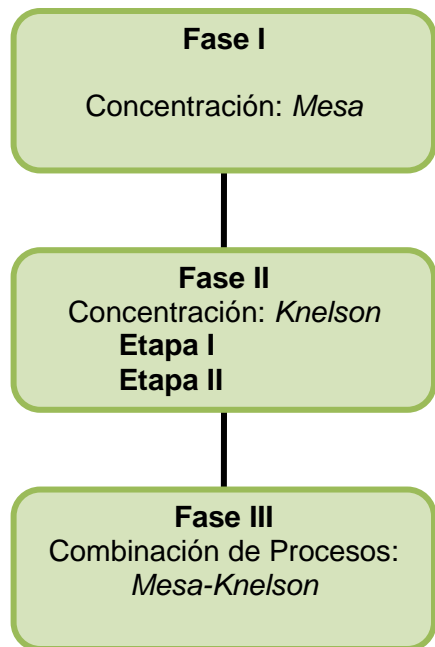
Colocamos las perlas dentro de tubos de ensayo, se añade 3 ml de ácido nítrico al 71%, se lleva a temperatura empleando una mufla hasta que la plata se haya disuelto completamente, seguido se adiciona 9 ml de ácido clorhídrico al 37%, esta disolución recibe el nombre de **agua regia** quien posee la capacidad de disolver oro, finalmente se afora en balones de 25 ml.



Fotografía 4: Cámara de digestión.

Fuente: El Autor.

Esquema desarrollo del proceso experimental para concentración gravimétrica: *Mesa Concentradora – Concentrador Centrifugo Knelson.*

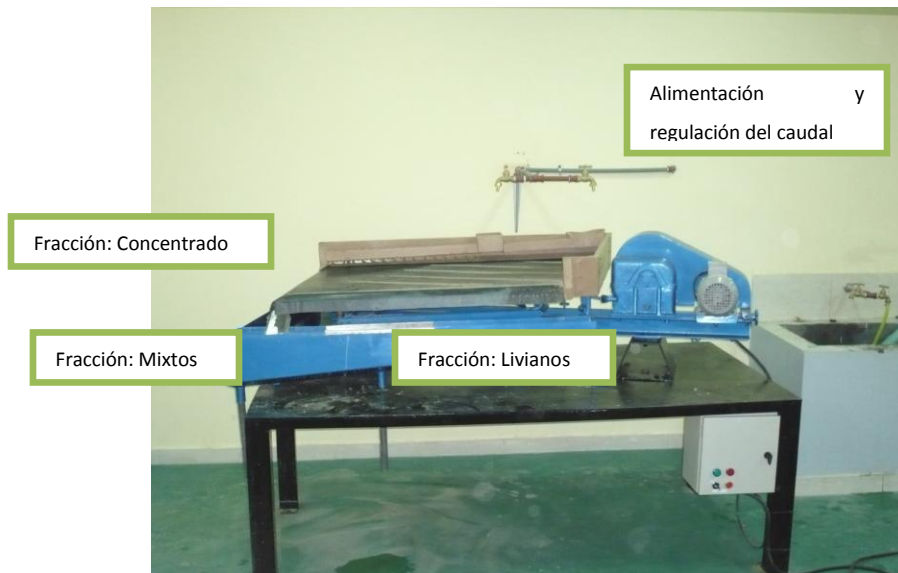


5.7. Concentración gravimétrica con mesa vibratoria

Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada (Fotografía 6). La capacidad de la mesa depende de la frecuencia, inclinación, cantidad de agua, características de la mena, densidades de las partículas útiles y de los estériles, forma de las partículas, granulometría de la alimentación.

Para la realización de este ensayo se debe seguir el siguiente proceso:

- La alimentación se la efectúa utilizando 3000 g de material formando una pulpa, su vertido dentro de la mesa debe ser constante; el caudal de agua forma una película de entre 2-3 mm con una frecuencia de sacudidas de 55 rpm.
- Una vez alimentado todo el material dentro de la mesa, debemos vigilar la separación de los diferentes productos resultantes (concentrado, mixto y liviano).
- Obtenidos los resultados dejamos sedimentar por 24 h, transcurrido este tiempo evacuamos el exceso de agua y llevamos a la estufa durante 24 h a una temperatura de 100°C.

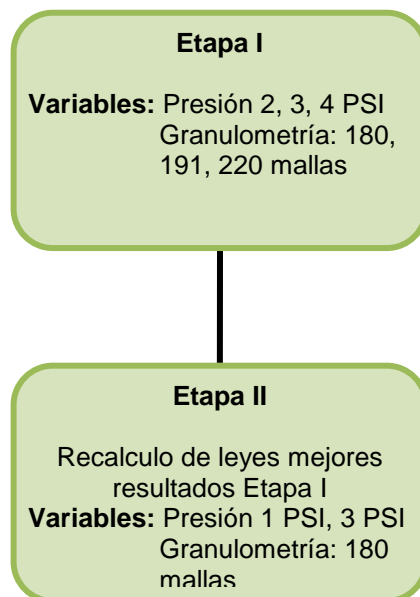


Fotografía 5: Concentrador gravimétrico KNELSON.

Fuente: El Autor.

5.8. Concentración gravimétrica Knelson

El concentrador Knelson modelo KC-MD3, (Fotografía 5); consiste de un cono perforado con anillos internos que gira a alta velocidad y su finalidad es separar las partículas de material de acuerdo a su densidad.



Para la realización de este ensayo debemos:

- Formar una pulpa empleando 1500 g de material, una vez obtenida la pulpa es alimentada al concentrador; las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas hacia las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono; en donde se retienen las partículas de mayor densidad **concentrado**; mientras que las de menor densidad son expulsadas por medio de una cañería hacia un costado **colas**.
- Una vez que obtuvimos tanto el concentrado como las colas; dejamos sedimentar por 12 h, transcurrido este tiempo evacuamos el exceso de agua y llevamos a la estufa durante 24 h a una temperatura de 90°C.

Los parámetros de operación que varían en cada ensayo son: PSI, Tamaño de grano.



Fotografía 6: Concentrador gravimétrico
KNELSON.

Fuente: El Autor.

5.9. Combinación de procesos

Esta etapa consiste en combinar los mejores parámetros de operación, y por ende los más altos rendimientos obtenidos en cada uno de los ensayos.

Como primera parte se aplica el ensayo de mesa de concentración gravimétrica, aplicando los parámetros que arrojaron los mejores resultados, luego de obtenido el concentrado se debe llevar a molienda y aplicar el ensayo de concentrador centrifugo knelson, así mismo empleando los mejores parámetros de funcionamiento registrados.

CAPÍTULO VI
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Caracterización del mineral.

Con la descripción del material se busca conocer todas sus características además de sus propiedades físicas y químicas, lo cual ayudara a definir el tratamiento más adecuado para recuperar el mineral de interés.

6.1.1 Peso específico

Como punto de partida para la determinación de las propiedades físicas se consideró el peso específico; para esto se realizaron tres pruebas (Tabla 1).

Tabla 1: Peso específico del mineral Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”.

N° Ensayo	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro + muestra (g)	Picnómetro + muestra + agua (g)	Picnómetro + + agua (g)	Peso específico (g/cm ³)
1	8,97	9,49	16,02	15,67	3,05
2	8,96	9,76	16,20	15,66	3,07
3	8,96	9,81	16,24	15,66	3,14
Promedio					3,08

Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

El peso específico del material obtenido dentro del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur” es de 3,08 g/cm³.

6.1.2 Granulometría inicial

La realización de este análisis permite conocer la distribución de tamaño de grano luego del proceso de trituración (Tabla 2).

Tabla 2: Granulometría inicial del mineral.

Tiempo de Molienda: Inicial 0 min		
N° de malla	Abertura (μm)	Acumulado Retenido
10	2000	0,60
18	1000	20,51
35	500	37,65
60	250	51,94
120	125	63,98
200	74	71,59
230	63	74,82
325	45	77,72
+400	37	77,79
-400	0	77,80
TOTAL		99,95

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor

En la gráfica 1, se observa la curva granulométrica y la determinación el D_{80} inicial del mineral, equivalente a 0 min de molienda, con un D_{80} :17 mallas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

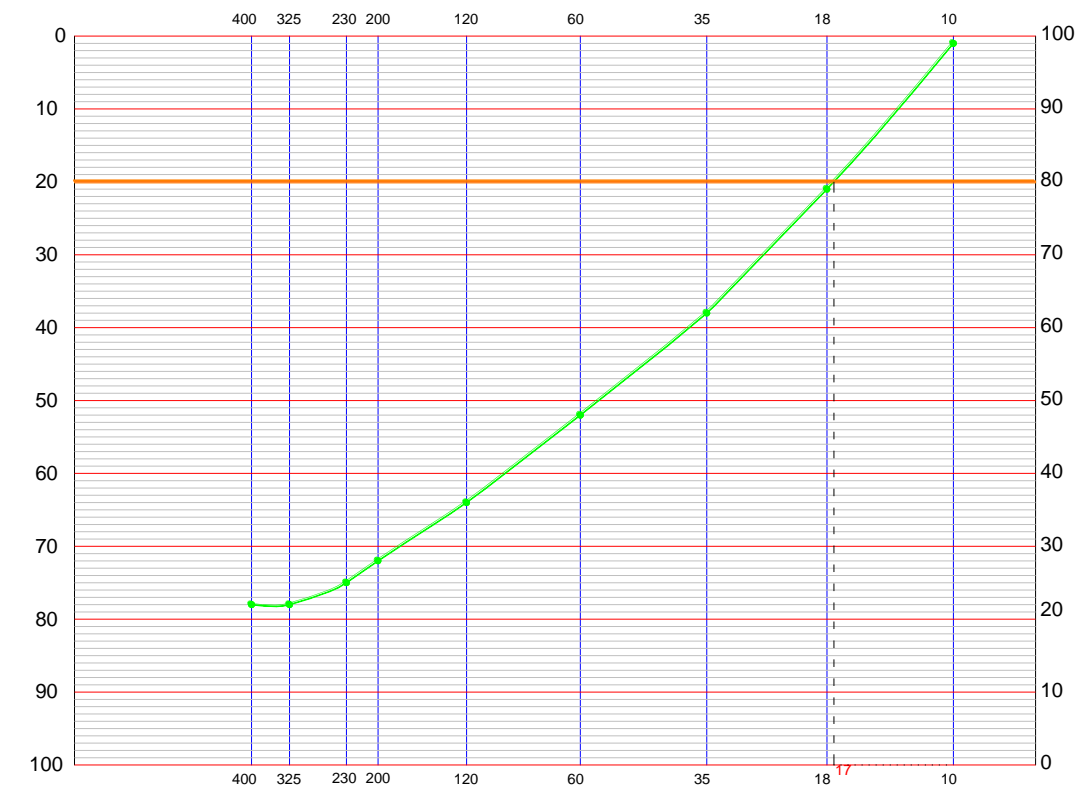
Laboratorio de Procesamiento de Minerales y Metalurgia Extractiva UCG Análisis Granulométrico Diagrama ASTM

Analista: Santiago I Cabrera C

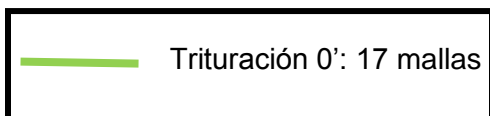
Proyecto: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija "Condominio Sur"

Ensayo: Trituración Inicial

Muestra: N° 1



Grafica 1. Curva granulométrica y determinación del D80 inicial del mineral.



6.1.3 Mineralogía del mineral

Como resultado del análisis mineralógico se determinó una asociación de sulfuros: pirita, esfalerita y pirrotina (Tabla 3).

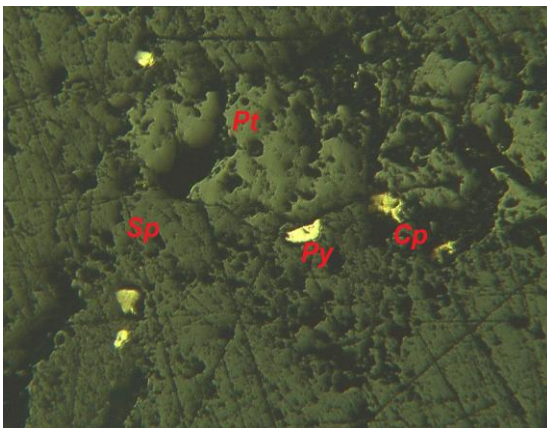
Para la caracterización mineralógica se emplearon dos métodos: análisis microscópico con luz polarizada y Difracción de Rayos X.

Tabla 3: Mineralización sección pulida.

Minerales	Contenido %
Pirrotina	40 - 43
Esfalerita	20 - 24
Pirita	10 - 16
Calcopirita	1 - 4
Ganga	10 - 13

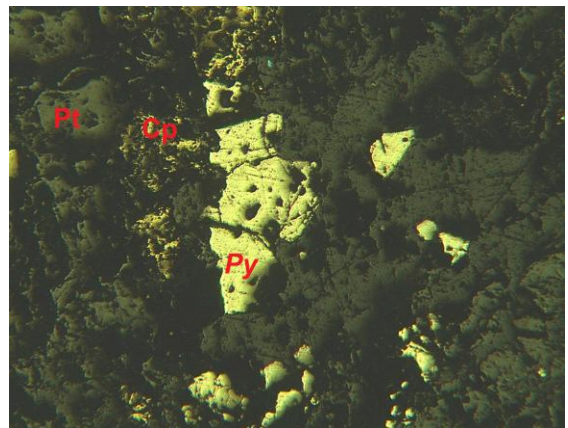
Fuente. Laboratorio de Mineralogía.

Elaboración: El Autor.



Fotografía 7: Esfalerita (Sp) con intrusiones de Pirita (Py).

Fuente: El Autor.



Fotografía 8: Pirita (Py); Pirrotina (Pt) con intrusiones de Calcopirita (Cp).

Fuente: El Autor.

El tamaño de grano correspondiente a la calcopirita oscila entre 2-10 micras, mientras que los granos de pirrotina están en el rango de 4-15 micras. Como minerales de roca se observan predominantemente: feldespatos, piroxeno, epidota, cuarzo.

La *Difractometria de Rayos X*, presenta los siguientes resultados:

Tabla 4: Resultados Difracción de Rayos X.

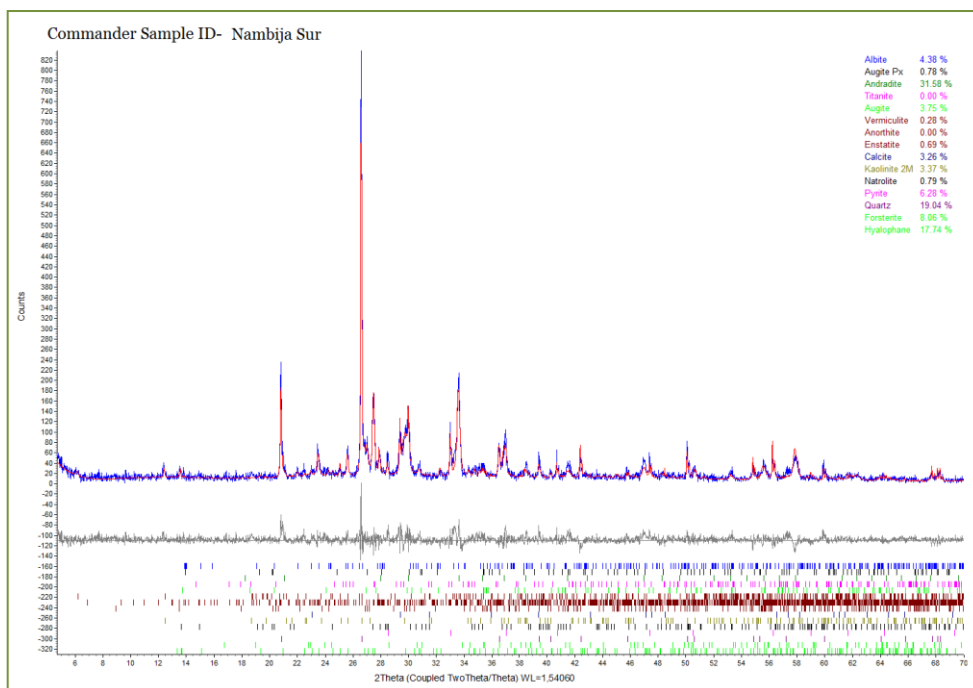
Mineral	Contenido %
Albita	4,38
Augita PX	0,78
Andradita	31,58
Augita	3,75
Vermiculita	0,28
Enstatita	0,69
Calcita	3,26
Caolinita	3,37
Natrolita	0,79
Pirita	6,28
Cuarzo	19,04
Forsterita	8,06
Hialofana	17,74

Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

Con los resultados del análisis microscópico con luz polarizada y con la Difracción de Rayos X, se determina que la roca con la cual se realiza esta investigación corresponde a un skarn.

Figura 3: Difractograma de Rayos X.



Fuente. Investigación Experimental.

6.1.4 Análisis químico de cabeza

El mineral obtenido del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur”, es analizado por el método de absorción atómica; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5: Resultados Absorción Atómica.

Elemento	Contenido (mg/kg)
Plomo	537
Cobre	1,785
Hierro	38,430
Plata	2,84
Zinc	252,2
Oro	0,262

Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

6.2 Tiempos de molienda para la liberación de oro

Se realizaron varios ensayos de molienda para determinar el tamaño de grano adecuado o cercano al ideal, se experimentó con: 20', 25' y 30' min de molienda, el material resultante de cada molienda será utilizado en el ensayo del concentrador KNELSON (Tabla 6).

Tabla 6: Tiempos de Molienda Concentrador KNELSON.

Tiempo de Molienda		20min	25min	30min
N° de malla	Abertura (μm)	Acumulado Retenido	Acumulado Retenido	Acumulado Retenido
18	1000	0,016	0,008	0,002
35	500	0,04	0,032	0,006
60	250	0,32	0,068	0,098
120	125	8,66	4,65	2,70
200	74	29,38	22,39	16,91
230	63	37,66	31,02	26,81
325	45	47,45	42,24	37,93
+400	37	49,15	44,33	39,55
-400	0	49,38	44,47	39,83
TOTAL		99,96	99,66	99,95

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor



6.2.1 Curvas granulométricas de molienda: *Ensayo concentrador centrifugo KNELSON*

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

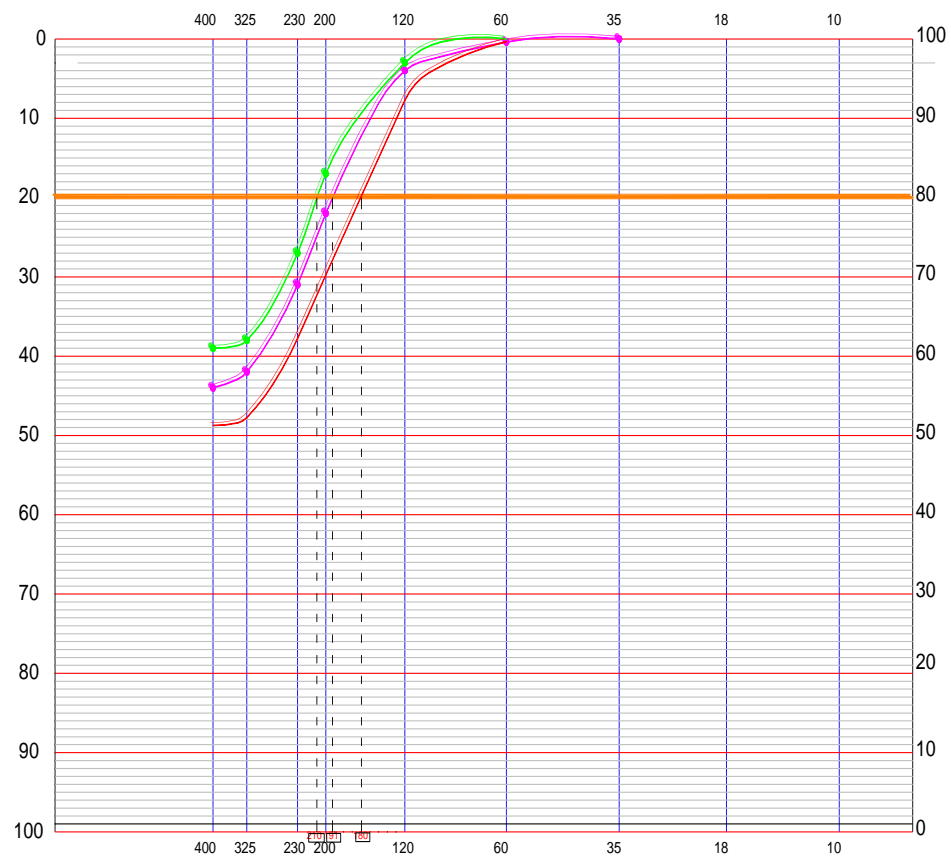
Laboratorio de Procesamiento de Minerales y Metalurgia Extractiva UCG
Análisis Granulométrico
Diagrama ASTM

Analista: Santiago I Cabrera C

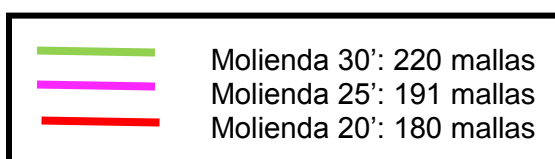
Proyecto: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija "Condominio Sur".

Ensayo: Molienda

Muestra: N° 1



Grafica 2: Curva granulométrica y determinación del D80 de moliendas.



En la gráfica 2, se observan las tres diferentes curvas granulométricas con las cuales llevamos a determinar el D_{80} , en la primera curva los datos corresponden a 30 min de molienda con un D_{80} : 220 mallas; la segunda curva representa los datos de 25 min de molienda con un D_{80} : 191 mallas; y la tercera corresponde a los datos de 20 min de molienda con un D_{80} : 180 mallas. Dentro del estudio realizado por (Prieto, 2011) se presenta el D_{80} óptimo con malla # 213,90; lo cual esta dentro del rango de nuestros resultados (malla # 180 - # 220).

De la misma manera se llevaron a cabo los ensayos de molienda para determinar el tamaño de grano adecuado o cercano al ideal, para utilizarlo en el análisis de concentración gravimétrica con mesa vibratoria obteniendo los siguientes tiempos: 15', 20' y 25' min. (Tabla 7).

Tabla 7: Tiempos de Molienda Mesa Concentradora

Tiempo de Molienda		15min	20min	25min
N° de malla	Abertura (μm)	Acumulado Retenido	Acumulado Retenido	Acumulado Retenido
18	1000	0,06	0,016	0,008
35	500	0,11	0,04	0,032
60	250	1,4	0,32	0,068
120	125	18,02	8,66	4,65
200	74	37,94	29,38	22,39
230	63	47,79	37,66	31,02
325	45	55,28	47,45	42,24
+400	37	56,38	49,15	44,33
-400	0	56,4	49,38	44,47
TOTAL		99,95	99,96	99,66

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor

6.2.2 Curvas granulométricas de molienda: *Ensayo Mesa de concentración gravimétrica*



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

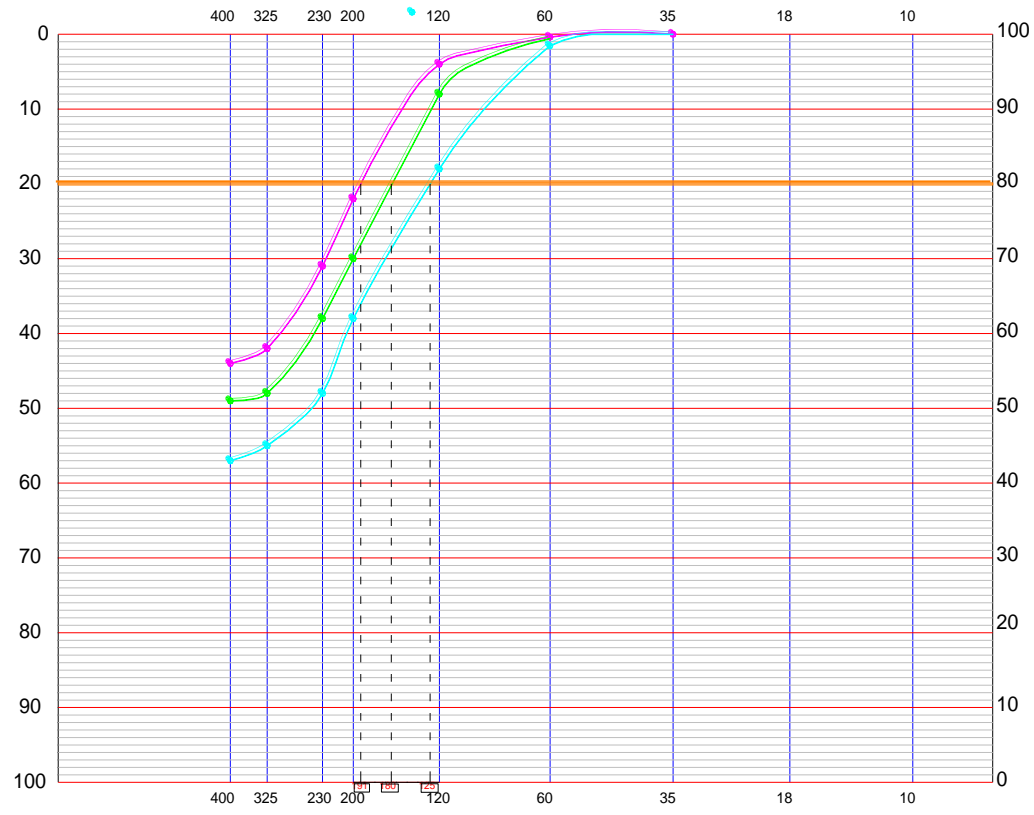
Laboratorio de Procesamiento de Minerales y Metalurgia Extractiva UCG
Análisis Granulométrico
Diagrama ASTM

Analista: Santiago I Cabrera C

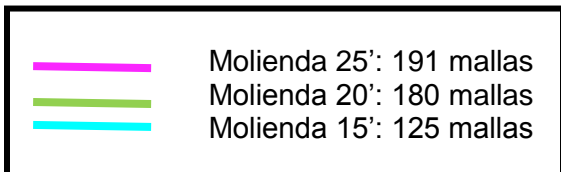
Proyecto: Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija "Condominio Sur".

Ensayo: Molienda

Muestra: N° 1



Grafica 3: Curva granulométrica y determinación del D80 de moliendas.



En la gráfica 3, podemos observar las tres diferentes curvas granulométricas con las cuales llevamos a determinar el D_{80} , en la primera curva se grafican los datos de 25 min de molienda con un D_{80} : 191 mallas; la segunda curva representa los datos de 20 min de molienda con un D_{80} : 180 mallas; y la tercera corresponde a los datos de 15 min de molienda con un D_{80} : 125 mallas.

Nuestros resultados se asemejan al estudio realizado dentro del mismo distrito Nambija (Prieto, 2011) con son siguientes datos: 20 min malla # 172,60; 26 min malla # 192,94.

Los tiempos de molienda se establecieron, considerando las condiciones de operación para el molino de bolas de acero de laboratorio tipo batch. (Ver anexo 1).

6.3 Mesa de concentración gravimétrica

Para las variables de operación se consideró el tamaño de grano: 15 min de molienda (125 mallas); 20 min de molienda (180 mallas); 25 min de molienda (191 mallas), (Tabla 8).

6.3.1 Rendimiento

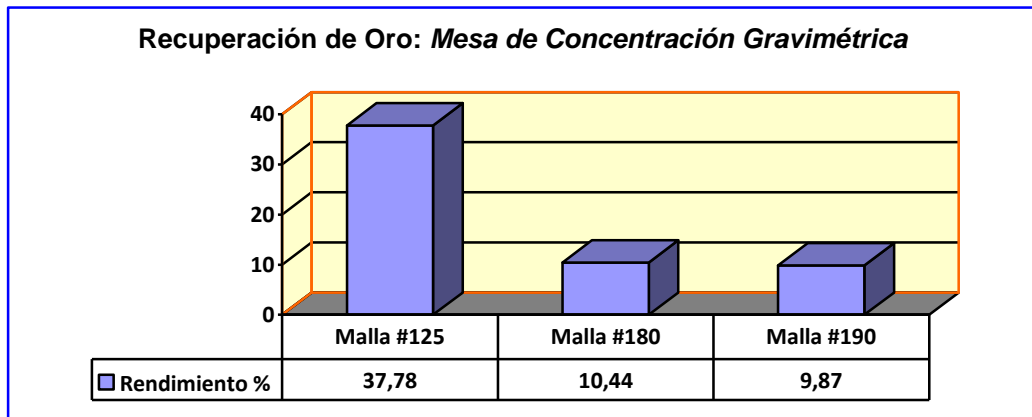
Tabla 8: Balance metalúrgico de Au para los ensayos de mesa de concentración gravimétrica.

Porcentaje de Recuperación	
# Malla	Rendimiento (%)
125	37,78
180	10,44
191	9,87

Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

Gráfica 4: Rendimiento en los ensayos de mesa de concentración gravimétrica.



Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

En el gráfico 4, se presentan los rendimientos resultantes del proceso, obteniéndose el mejor porcentaje de recuperación con (37,78%), a un tamaño de grano equivalente a malla #125. (Ver anexo 2).

Dentro del estudio realizado en el Distrito Minero Ponce Enríquez por (Rodríguez, 1996) se presenta un porcentaje de recuperación equivalente a 56,84% con una malla #100, la cual está aproximado al número de malla #125 empleado en nuestro estudio y con el cual se obtuvieron los mejores porcentajes de recuperación. Cabe recalcar, que esta comparación es netamente dirigida al número de malla, ya que la mineralogía y litología de estos dos sectores es totalmente diferente.

6.4 Concentrador centrífugo Knelson

Como variables de operación se consideró la presión del agua (PSI) y el tamaño de grano: 20 min de molienda (*180 mallas*); 25 min de molienda (*191 mallas*); 30 min de molienda (*220 mallas*). (Tabla 9).

6.4.1 Rendimiento Etapa I

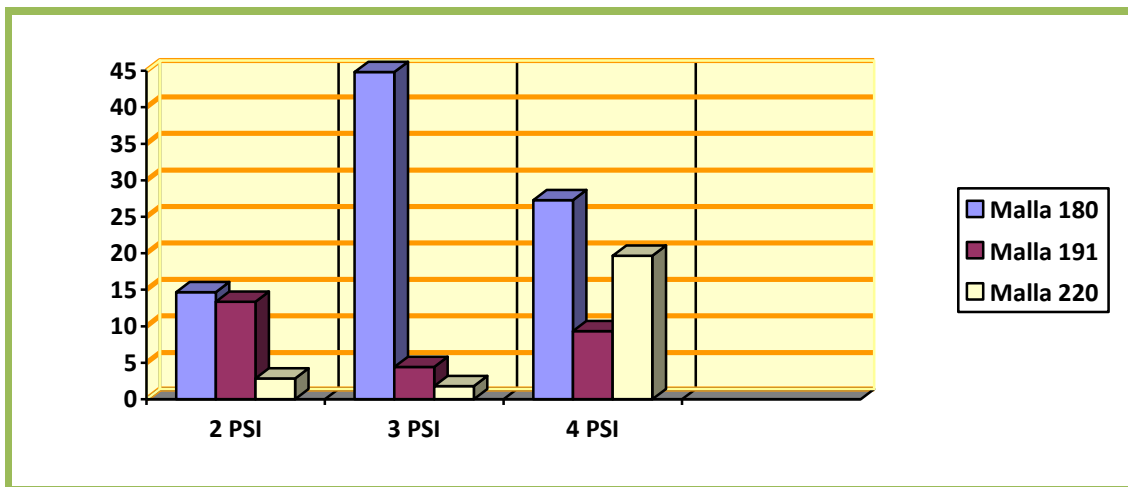
En esta etapa se analizan dos variables de operación del equipo: tamaño de grano y la presión (PSI).

Tabla 9: Rendimiento en la recuperación de Au para los ensayos del concentrador centrífugo Knelson.

Porcentaje de Recuperación			
	Malla # 180	Malla # 191	Malla # 220
2 PSI	14,67 %	13,35 %	2,83 %
3 PSI	44,84 %	4,42 %	1,81 %
4 PSI	27,29 %	9,34 %	19,65 %

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor



Gráfica 5: Rendimiento en los ensayos de concentración centrífuga.

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor

Como se observa en el gráfico 5, existe una mayor recuperación de oro dentro del tamaño de grano correspondiente a malla #180, especialmente aplicando una presión de 3 PSI, obteniendo un porcentaje del 44,84%. (Ver anexo 3).

Estos resultados se contrastan con otro estudio de concentración gravimétrica, realizado en Copiapó-Chile, (Valderrama, 2012).

El material empleado para nuestro estudio fue obtenido en escombreras con una ley de oro inicial de 0,262 ppm, sin embargo con el proceso se logra una reconcentración equivalente 9.6 veces con una ley de 2,52 ppm de Au. Esto comparado con la investigación (Valderrama, 2012) que utilizaron mineral primario de mina, en el cual presenta al inicio una ley de 6,6 ppm de Au y logran una concentración del orden de 10 veces obteniendo una ley de 66,1 ppm de Au y un porcentaje de rendimiento de 62,9%.

6.4.2 Rendimiento Etapa II

En la Etapa II se consideran los parámetros con los mejores resultados de la Etapa I. Estos son: 20 min de molienda (*180 mallas*), presión de 3 PSI, y adicionalmente se realiza un ensayo a 1 PSI.

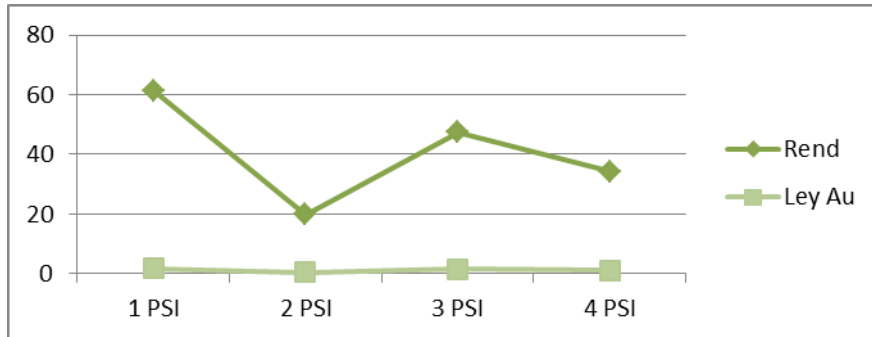
Tabla 10: Recálculo de leyes Au para los mejores resultados Etapa I.

Recalculo de ley Malla # 180		
Presión	Rend (%)	Ley Au
1 PSI	61,47	1,73
2 PSI	19,85	0,48
3 PSI	47,43	1,43
4 PSI	34,37	1,14

Fuente. Investigación Experimental

Elaboración: El Autor

Grafica 6: Recuperación de Au en relación a la ley.



Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

El gráfico 6, muestra la secuencia de porcentajes de recuperación de oro con respecto a su ley, se observa que el mayor valor se presenta a 1PSI con el (61,47%) y una ley de 1,73 ppm, se observa también que existe una marcada tendencia, al aumentar la presión se produce una disminución en la ley de Au y en porcentaje de recuperación. (ver anexo 4).

Podemos realizar una comparación de nuestros resultados con los obtenidos en estudio de (Valderrama, 2012) el cual deduce que a una menor presión de agua implica una mayor recuperación; de esta manera para la menor presión 3,04 PSI obtienen 62,3% con una ley de 13,7ppm de Au.

6.5 Combinación de procesos

Dentro de esta etapa de la investigación se consideran los mejores resultados obtenidos en los ensayos individuales, primero con mesa concentradora y luego con el concentrador Knelson. Este proceso se desarrolla en secuencia, es decir el concentrado obtenido de la mesa concentradora es alimentado al concentrador Knelson, luego de llevarlo a molienda de 5 min para que tome el tamaño de grano requerido para el ensayo de concentrador knelson.

Los parámetros y mejores resultados obtenidos en las etapas previas son: en el ensayo de mesa concentradora se obtiene un rendimiento del 37,78%, considerando una malla # 125 y 15 min de molienda. Mientras que para el ensayo del concentrador Knelson los mejores rendimientos se presentan en la Etapa II del proceso, con un rendimiento del 61,47%, considerando una malla # 180, 20 min de molienda y una presión de 1 PSI;

Tabla 11: Datos resultantes de la combinación de procesos Mesa concentradora y Concentrador Knelson.

	Mesa Concentradora	Concentrador Centrifugo Knelson
<i>Material</i>	6kg	2kg
<i>Malla</i>	#125	#180
<i>Presión (PSI)</i>	-	1 PSI
<i>Tiempo de molienda</i>	15min	20min
<i>Ley Cabeza</i>	0,262ppm	0,200ppm
<i>Ley Concentrado</i>	0,200ppm	1,57ppm
<i>Rendimiento</i>	30,66%	87,95%

Fuente. Investigación Experimental.

Elaboración: El Autor.

La tabla 11 representa la combinación de procesos, *Mesa Concentradora – Concentrador Knelson* en el cual se obtuvo un rendimiento efectivo del 87,95%, con una ley de Au de 1,57 ppm; lo cual demuestra una concentración de 7,85 veces, lo cual es aceptable. (Ver anexo 5).

Esta etapa al igual que el estudio (Valderrama, 2012) demuestra una secuencia de procesos, es decir el concentrado alimentado al equipo Knelson fue obtenido en una etapa previa, con un concentrador en espiral tipo Humphrey.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El peso específico del material obtenido dentro del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur” es de 3,08 g/cm³.
- El análisis químico de cabeza nos da una ley equivalente a 0,262 ppm de Au, 537 ppm de Pb, 1,785 ppm de Cu, 38,430 ppm de Fe, 2,84 ppm de Pt, 252,2 ppm de Zn.
- La granulometría inicial del material corresponde a un D₈₀= 17 mallas.
- El análisis mineralógico nos presenta los siguientes resultados: Pirrotina 41%, Esfalerita 22%, Pirita 13%, Calcopirita 3% y Minerales de Roca con un 12%; complementariamente a esto se realizó un análisis de difracción de rayos x en donde tenemos: Albita 4,38%, Augita PX 0,78%, Andradita 31,58%, Augita 3,75%, Vermiculita 0,28%, Enstatita 0,69%, Calcita 3,26%, Caolinita 3,37%, Natrolita 0,79%, Pirita 6,28%, Cuarzo 19,04%, Forsterita 8,06%, Hialofana 17,74%. No se logró detectar oro debido a sus bajas leyes. Con estos resultados se determina que la roca corresponde a un SKARN.
- El mejor rendimiento de concentración de oro para el ensayo de mesa vibratoria se obtiene a 125 mallas con 15 min de molienda, con una recuperación del 37,78 %.
- Con el concentrador centrífugo Knelson se obtiene un rendimiento del 61,47 % con una ley de 1,73 ppm de Au, a 180 mallas y a una presión de 1 PSI de alimentación agua.
- Como resultado del proceso de combinación de métodos Mesa Vibratoria–Concentrador Knelson, se obtuvo un rendimiento efectivo del 87,95% con una ley 1,57 ppm de Au.

RECOMENDACIONES

- Durante la trituración del material se recomienda realizar una clasificación, es decir es necesario pasar el material ya triturado por la malla # 10, el retenido debe pasar una segunda trituración y con esto, se evitara una remolienda.
- Se debe verificar dentro del proceso de molienda y antes de cada ensayo las condiciones óptimas de operación, principalmente: peso de la carga de molienda, dilución de pulpa, carga a moler y la velocidad critica.
- Para la realización del ensayo en la mesa concentradora se debe considerar: principalmente la alimentación de pulpa y caudal de agua constante; se recomienda también analizar otras variables de operación como inclinación y frecuencia de sacudidas.
- Al realizar el ensayo con el concentrador centrífugo Knelson se debe realizar una alimentación constante, es necesario también controlar en el manómetro la variación de presión.
- Se recomienda realizar análisis comprobatorios variando las condiciones de operación del concentrador centrífugo Knelson, como: presión, fuerzas G' , cono de concentración, disolución de pulpa de alimentación y tamaño de grano del Au.

BIBLIOGRAFÍA

- Gobierno Autónomo Descentralizado, S. C. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de la Parroquia san Carlos de las Minas*. Zamora.
- Litherland, M. J. (1994). *The metamorphic belts of ecuador*.
- Medmin. (2000). Concentracion Gravimetrica. *Implementación de tecnologías dirigidas a la reducción de impactos ambientales negativos causados por operaciones mineras y adecuación ambiental*.
- Miqueles, O. P. (2009). Apuntes de Concentracion de Minerales II.
- Paladines, A. &. (1996). *Zonificacion mineralogica del Ecuador*. Quito: Laser.
- Paladines, A. &. (2010). *Geologia y Yaciminetos Minerales del Ecuador*.
- Prieto, M. J. (2011). *rendimiento de recuperacion de oro y plata aplicando un proceso combinado de cianuracion y flotacion*. Loja: UTPL.
- Prodeminca. (2000). *Evaluacion de Diritros Mineros en el Ecuador, Volumen 5*.
- Rodriguez, B. (1996). *Estudio Mineralurgico de Concentracion Gravimetrica y de Flotacion para la recuperacion de oro*. Guayaquil: ESPOL.
- Valderrama, S. O. (2012). Concentración de oro grueso en concentrador centrífugo knelson. *Revista de la facultad de ingenieria*.

ANEXOS

Anexo 1: Parámetros de molienda.

La realización de estos cálculos tuvo como finalidad determinar los parámetros óptimos de operación del equipo.

Dimensiones

$$D_{\text{int}} = 18 \text{ cm (0,18 m)}$$

$$D_{\text{ext}} = 23,8 \text{ cm (0,238 m)}$$

$$\text{Altura} = 25 \text{ cm (0,25 m)}$$

Volumen

$$V = \pi R^2 H$$

$$V = \pi (0,09\text{m})^2 (0,25\text{m})$$

$$V = 0,00636 \text{ m}^3$$

Carga de Molienda

$$1 \text{ m}^3 \quad 4500 \text{ kg}$$

$$0,00636 \text{ m}^3 \quad X=11,448 \text{ kg}$$

Velocidad Crítica

$$V_c = 42,3 / \sqrt{D_{\text{ext}}}$$

$$V_c = 42,3 / \sqrt{0,238}$$

$$V_c = 86,70 \text{ rpm}$$

$$86,70 \text{ rpm} \quad 100\%$$

$$69,36 \text{ rpm} \quad 80\%$$

$$48,55 \text{ rpm} \quad 70\%$$



70 rpm Velocidad Óptima

Anexo 2: Balance metalúrgico: Mesa de concentración gravimétrica

Molienda 15 min

Entrada: 3 Kg 3 Kg (0,262 mg/kg) = 0,786 mg Au
0,262 ppm Au

Concentrado: 1,45815 Kg 1,45815 kg (0,204mg/kg) = 0,297 mg Au
0,204 ppm Au

Mixto: 0,65844kg 0,65844 kg (0,213mg/kg) = 0,140 mg Au
0,213 ppm Au

Liviano: 0,833 kg 0,833 kg (0,211mg/kg) = 0,175 mg Au
0,211 ppm Au

$0,786\text{mgAu} = 0,297\text{mgAu} + 0,140\text{mgAu} + 0,175\text{mgAu}$
 $0,786\text{ mg} = 0,612\text{ mg}$

Rendimiento:

$\text{Rend} = 0,297\text{mgAu} / 0,786\text{mgAu} * 100$
 $\text{Rend} = 37,78\%$

Anexo 4: Recálculo de ley: Malla #180

1 PSI

Ensayo	Peso (g)	Ley Au	Mg.Au	Rend (%)
A	85,60	2,62	0,224	57,14
B	98,38	0,174	0,017	4,33
A+B	138,98	1,73	0,241	61,47
R	1865,35	0,081	0,151	38,52
A+B+R	2004,33	0,195	0,392	100

$$\text{Mg.Au} = \text{Peso (LeyAu)} / 100$$

$$\text{LeyAu} = \text{Mg.Au} / \text{Peso} * 100$$

$$\text{Rend} = \text{Mg.Au} / \text{A+B+R} * 100$$

Anexo 5: Balance metalúrgico: Combinación de procesos mesa de concentración gravimétrica.

Molienda 15 min

Entrada: 6 Kg $6 \text{ Kg } (0,262 \text{ mg/kg}) = 1,572 \text{ mg Au}$
0,262 ppm Au

Concentrado: 2,413 Kg $2,413 \text{ kg } (0,200\text{mg/kg}) = 0,452 \text{ mg Au}$
0,200 ppm Au

Mixto: 1,316 kg $1,316 \text{ kg } (0,209\text{mg/kg}) = 0,275 \text{ mg Au}$
0,209 ppm Au

Liviano: 2,210 kg $2,210 \text{ kg } (0,207\text{mg/kg}) = 0,457 \text{ mg Au}$
0,207 ppm Au

$$1,572\text{mgAu} = 0,452\text{mgAu} + 0,275\text{mgAu} + 0,457\text{mgAu}$$

$$1,572\text{mg} = 1,214\text{mg}$$

Rendimiento:

$$\text{Rend} = 0,452\text{mgAu}/1,572\text{mgAu} * 100$$

$$\text{Rend} = 30,66\%$$

Concentrado de relaves (1PSI)

Entrada: 1,784 kg 1,784 Kg (0,034mg/kg) = 0,060 mg Au
0,034 ppm Au

Concentrado: 0106 Kg 0,106 kg (0,127mg/kg) = 0,013 mg Au
0,127 ppm Au

Relave: 1,253 kg 1,253 kg (0,034mg/kg) = 0,087 mg Au
0,07 ppm Au

$$0,060\text{mgAu} = 0,013\text{mgAu} + 0,087\text{mgAu}$$

$$0,060\text{mg} = 0,1\text{mg}$$

Rendimiento:

$$\text{Rend} = 0,013\text{mgAu} / 0,060\text{mgAu} * 100$$

$$\text{Rend} = 21,66\%$$

Ensayo	Peso (g)	Ley Au	Mg/Au	Rend (%)
A	104,93	3,05	0,320	81,63
B	106,21	0,12	0,012	3,75
A+B	211,14	1,57	0,332	84,69
R	1784,35	0,034	0,060	15,30
A+B+R	1995,49	0,196	0,392	100

$$\text{Mg.Au} = \text{Peso (LeyAu)} / 100$$

$$\text{LeyAu} = \text{Mg.Au} / \text{Peso} * 100$$

$$\text{Rend} = \text{Mg.Au} / \text{A+B+R} * 100$$