



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Evaluación del Factor ORG con mineral de mina en el Condominio Sur,
Nambija**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Vélez Vélez, Valeria Guadalupe

TUTOR: Sanmartín Gutiérrez, Víctor Aurelio, Mgs.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magíster.

Sanmartín Gutiérrez Víctor Aurelio.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Evaluación del Factor ORG con mineral de mina en el Condominio Sur, Nambija. Provincia Zamora Chinchipe – Ecuador realizado por Valeria Guadalupe Vélez Vélez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo de 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Valeria Guadalupe Vélez Vélez declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Evaluación del Factor ORG con mineral de mina en el Condominio Sur, Nambija. Provincia Zamora Chinchipe – Ecuador, de la Titulación de Geología y Minas, siendo Sanmartín Gutierrez Víctor Aurelio director; 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. 88 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 o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Valeria Guadalupe Vélez Vélez

Cédula: 1900541762

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi madre Martha, quien es mi fuerza y mi apoyo para salir adelante.

A mi hijo Emilio quien vino a cambiarme la vida y ser ese motivo para seguir en el camino y así poder culminar con esta importante etapa de mi vida.

A mi familia por apoyarme siempre en todo los momentos de mi vida, en especial a mi prima Alejandra.

A mis amigos Lisseth, Diego, Santiago con quienes compartí desde el primer día clases muchos agradables momentos y con quienes desarrollamos una gran amistad.

Y a mis compañeros teisitas Maria, Darwin, Richar, Cesar y demás por haberme ayudado y apoyado durante el desarrollo de mi trabajo de titulación.

AGRADECIMIENTO

Agradeciendo primero a Dios por regalarme la vida, la salud y la fuerza para culminar con esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi madre querida quien ha sido mi apoyo no solo económico sino moral y por todo el amor que me ha brindado.

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, ya que como institución me abrió sus puertas para poder formarme, educarme.

A todos los ingenieros que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo, en especial al Ing. José Arturo Guartán Medina por compartir su conocimiento y buenos consejos conmigo. Gracias ING.

Un agradecimiento muy especial para el Ing. Juan Carlos Quintuña, quien estuvo desde el inicio de mi trabajo de titulación apoyándome y guiándome.

Al Ing. Víctor Sanmartín; por haber dirigido este proyecto y por sus conocimientos impartidos.

INDICE

| | |
|--|------|
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | i |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS..... | ii |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| INDICE DE FIGURAS..... | vii |
| INDICE DE FOTOGRAFÍAS | vii |
| INDICE DE TABLAS | viii |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| CAPITULO I | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1. Antecedentes y justificación..... | 4 |
| 1.2. Objetivos. | 6 |
| 1.2.1 Objetivo general. | 6 |
| 1.2.1 Objetivo específico..... | 6 |
| CAPITULO II | 7 |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO: “SECTOR MINERO NAMBIJA - CONDOMINIO SUR” | 7 |
| 2.1. Ubicación..... | 8 |
| 2.2. Acceso..... | 8 |
| 2.4. Geomorfología e hidrología..... | 10 |
| CAPITULO III | 11 |
| CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS..... | 11 |
| 3.1 Geología Regional..... | 12 |
| 3.2 Estratigrafía Regional..... | 13 |
| 3.2.1. Unidad Piuntza..... | 13 |
| 3.2.2. Unidad Chapinza. | 14 |
| 3.2.3. Unidad Misahuallí..... | 14 |
| 3.2.4 Batolito de Zamora..... | 14 |
| 3.3 Geología y mineralogía Local..... | 15 |
| 3.3.1 Mineralización Nambija..... | 15 |
| 3.3.2 Mineralización del Skarn. | 16 |

| | |
|---|-----------|
| CAPITULO IV | 17 |
| FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETICAMENTE) Y CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA KNELSON | 17 |
| 4.1. Concentración centrífuga..... | 18 |
| 4.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente)..... | 18 |
| 4.3. Utilidad del factor ORG..... | 20 |
| 4.3.1. Uso del factor ORG..... | 20 |
| 4.4. Concentración centrífuga, Knelson..... | 21 |
| CAPITULO V | 22 |
| METODOLOGIA Y EQUIPOS | 22 |
| 5.1. Preparación de la muestra..... | 23 |
| 5.1.1. Trituración..... | 23 |
| 5.1.2. Cribado..... | 24 |
| 5.1.3 Homogenización..... | 25 |
| 5.1.4. Cuarteo..... | 25 |
| 5.2. Caracterización del material..... | 26 |
| 5.2.1. Peso específico..... | 26 |
| | 27 |
| 5.2.2. Análisis granulométrico..... | 27 |
| 5.2.3. Análisis Mineralógico..... | 30 |
| 5.2.4. Fluorescencia Rayos X..... | 32 |
| 5.2.5. Difractometría Rayos X..... | 33 |
| 5.2.6. Análisis Químico (Fusión – Copelación)..... | 33 |
| 5.3. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson..... | 38 |
| 5.3.1. Molienda..... | 39 |
| 5.3.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson. | 40 |
| CAPITULO VI | 43 |
| RESULTADOS | 43 |
| 6.1. Caracterización de la muestra..... | 44 |
| 6.1.1. Peso específico..... | 44 |
| 6.1.2. Análisis mineralógico..... | 44 |
| 6.1.3. Fluorescencia de Rayos X..... | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1.4. Difractometría de Rayos X..... | 47 |
| 6.1.5. Tiempos de molienda para prueba del factor ORG..... | 48 |
| 6.1.6. Ley de cabeza..... | 48 |
| 6.1.7. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo de concentración gravimétrica Knelson..... | 48 |
| CONCLUSIONES | 52 |
| RECOMENDACIONES..... | 54 |
| BIBLIOGRAFIA | 55 |
| ANEXOS..... | 56 |
| ANEXO 1. Peso específico..... | 57 |
| ANEXO 2. Análisis mineralógico..... | 58 |
| ANEXO 3. LEY DE CABEZA..... | 60 |
| ANEXO 4. Tiempos de Molienda..... | 61 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del Distrito Minero Nambija..... | 8 |
| Figura 2. Acceso al Distrito Minero Nambija | 9 |
| Figura 3: Mapa Geológico del Distrito Zamora..... | 13 |
| Figura 4: Diagrama que resume la metodología empleada en la investigación..... | 23 |
| Figura 5. Metodología para prueba del factor ORG..... | 38 |
| Figura 9. Distribución de concentrados ley de concentrados..... | 49 |
| Figura 10. Distribución de concentrados y ley de concentrados | 50 |

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|----|
| Fotografía 1. Geomorfología del Distrito Minero Nambija | 10 |
| Fotografía 2. Trituradora de mandíbulas RETSCH | 24 |
| Fotografía 3. Homogenización del material | 25 |
| Fotografía 4. Cuarteo del material..... | 26 |
| Fotografía 5. Ensayo del picnómetro | 27 |
| Fotografía 6. Granulometría Fase Húmeda..... | 29 |
| Fotografía 7. Granulometría Fase seca..... | 30 |
| Fotografía 8. Máquina de corte de rocas de disco adiamantado..... | 31 |
| Fotografía 9. Desecador para muestras..... | 32 |
| Fotografía 10. Equipo de fluorescencia de Rayos X..... | 33 |
| Fotografía 11. Crisoles con la muestra preparada para fusión..... | 34 |
| Fotografía 12. Régulos de plomo para copelar | 35 |
| Fotografía 13. Horno de copelación..... | 35 |
| Fotografía 14. Perlas listas para el ataque químico | 36 |
| Fotografía 15. Ataque químico..... | 37 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 16. Molino de bolas..... | 40 |
| Fotografía 17. Análisis de lámina delgada: A) Lámina analizada en Luz Polarizada no analizada,... | 44 |
| Fotografía 18. Análisis de lámina delgada: A) Lámina analizada en Luz Polarizada no analizada, vetilla de calcita (Cal) y Granate (Grt), B) Lámina analizada en Luz Polarizada analizada, vetilla de calcita | 45 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Prueba Factor ORG | 19 |
| Tabla 2. Serie de tamices | 29 |
| Tabla 3. Pesos específicos por método del picnómetro. | 44 |
| Tabla 4. Porcentajes de minerales..... | 46 |
| Tabla 5. Porcentajes de fluorescencia de rayos X | 46 |
| Tabla 6. Minerales y sus porcentajes, | 47 |
| Tabla 7. Tiempos de molienda óptimos..... | 48 |
| Tabla 8. Ley de cabeza..... | 48 |
| Tabla 9. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico #1 | 49 |
| Tabla 10. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico #2 | 50 |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el factor E-ORG (oro recuperable gravimétricamente) usando el material de mina del distrito minero Nambija – Condominio Sur, aplicando este método como alternativa a los métodos tradicionales utilizados por los mineros artesanales que no son eficientes y contaminan el ambiente por la utilización de mercurio. Para esto se realizó una prueba experimental utilizando el concentrador Knelson KC-MD 3 siguiendo el procedimiento estandarizado por el profesor LAPLANTE 1996, que consto de tres etapas de molienda progresiva y de recuperación secuencial, bajo los siguientes parámetros, presión de agua 1PSI, fluidización del agua 3.5l/m y fuerza de rotación 60Gs. El mineral utilizado para la prueba es un skarn cuyo peso específico es de 3.28 g/cm³ con una mineralogía de granate (69%), piroxeno (12%), cuarzo (10%), calcita (7%), apatito (1%) y opacos (1%) y con ley de oro de 2.68gr/Ton.

Se realizó dos pruebas en las obtuvimos una recuperación promedio del 79%, obteniendo más liberación de oro en las primeras etapas de la prueba con un material relativamente grueso.

Palabras clave: Metalurgia, oro, recuperación

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the E-ORG factor (gravimetrically recoverable gold) using the mine material of the Nambija-Condominio Sur mining district, applying this method as an alternative to the traditional methods used by artisanal miners that are not efficient and pollute the environment by the use of mercury. For this, an experimental test was performed using the Knelson KC-MD 3 concentrator following the procedure standardized by Professor LAPLANTE 1996, which consisted of three stages of progressive grinding and sequential recovery, under the following parameters: 1PSI water pressure, Water 3.5l / m and rotation force 60Gs. The mineral used for the test is a skarn whose specific weight is 3.28 g / cm³ with a mineralogy of garnet (69%), pyroxene (12%), quartz (10%), calcite (7%), apatite) And opaque (1%) and with gold law of 2.68gr / Ton. We performed two tests in which we obtained an average recovery of 79%, obtaining more gold release in the first stages of the test with a relatively thick material.

Key words: Metallurgy, gold, recovery.

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes y justificación.

La minería es una actividad que consiste en la extracción de minerales específicos como oro, plata y otros recursos minerales que existen en la corteza terrestre, obteniendo beneficios económicos, esta extracción se realiza por distintos métodos.

El Distrito Minero de Nambija fue descubierto en 1980 y pronto se transformó en un centro de “fiebre de oro “con más de 20.000 personas trabajando allí. Las rocas del área consisten en rocas volcano-sedimentarias con intrusiones de granodiorita, las mineralizaciones están relacionadas con las intrusiones y aparecen en la andesita como yacimientos irregulares de sulfuro-skarn o como sulfuros en vetas de cuarzo (PRODEMINCA, 2000).

En la actualidad, Nambija se desenvuelve como un distrito minero pequeño denominado ASONAMBILE (Asociación de Producción Miera Nambija Legendaria). La minería en este sector es de tipo artesanal, la recuperación de oro es deficiente.

La fácil disposición de los recursos en este sector ha sido una causa para una explotación irracional y anti técnica utilizando métodos deficientes y sobretodo perjudicial tanto para el ser humano como para el medio ambiente.

Dentro de las normativas públicas en Ecuador, está la eliminación de mercurio como método para la recuperación de oro, por lo cual este proyecto está encaminado a hacer énfasis en la recuperación de oro por medio de métodos que no utilicen químicos perjudiciales para los seres humanos como para el medio ambiente.

La concentración por gravimetría es la más simple y económica de todos los métodos de procesamiento de minerales. Se la utiliza de forma satisfactoria para la separación de minerales con mucha eficiencia y sin el manejo y utilización de químicos.

La utilización de estos métodos en la minería reducirá considerablemente el deterioro ambiental y sobretodo el de la salud de los habitantes de los sectores mineros en este caso del sector Nambija.

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la cantidad de oro de mina recuperable, empleando la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (oro recuperable gravimétricamente). La prueba ORG está basada en el tratamiento de una muestra usando un concentrador Knelson de laboratorio (KC-MD3). Este tipo de método ofrece alternativas aplicables de concentración de minerales a los pequeños mineros y a su vez es amigable con el medio ambiente.

1.2. Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

- ✓ Determinar el Factor ORG (Oro recuperable Gravimétricamente) con mineral de mina en el Condominio Sur, Nambija

1.2.1 Objetivo específico.

- ✓ Caracterizar el material de estudio
- ✓ Determinar los tiempos de molienda para la prueba ORG
- ✓ Analizar y evaluar el factor ORG usando el concentrador Knelson de laboratorio (KC-MD3)

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO: "SECTOR MINERO NAMBIJA - CONDOMINIO SUR"

2.1. Ubicación.

El sector Nambija se encuentra ubicado en la parroquia San Carlos de las Minas en el cantón Zamora de la Provincia de Zamora Chinchipe (Ver Figura 1). Forma parte de la región morfo-estructural en la cordillera de Nanguipa la misma que es parte de un ramal ubicado entre la Cordillera Real y la Cordillera del Cóndor. En este lugar se encuentra localizado uno de los yacimientos auríferos más sobresalientes de la provincia de Zamora Chinchipe.

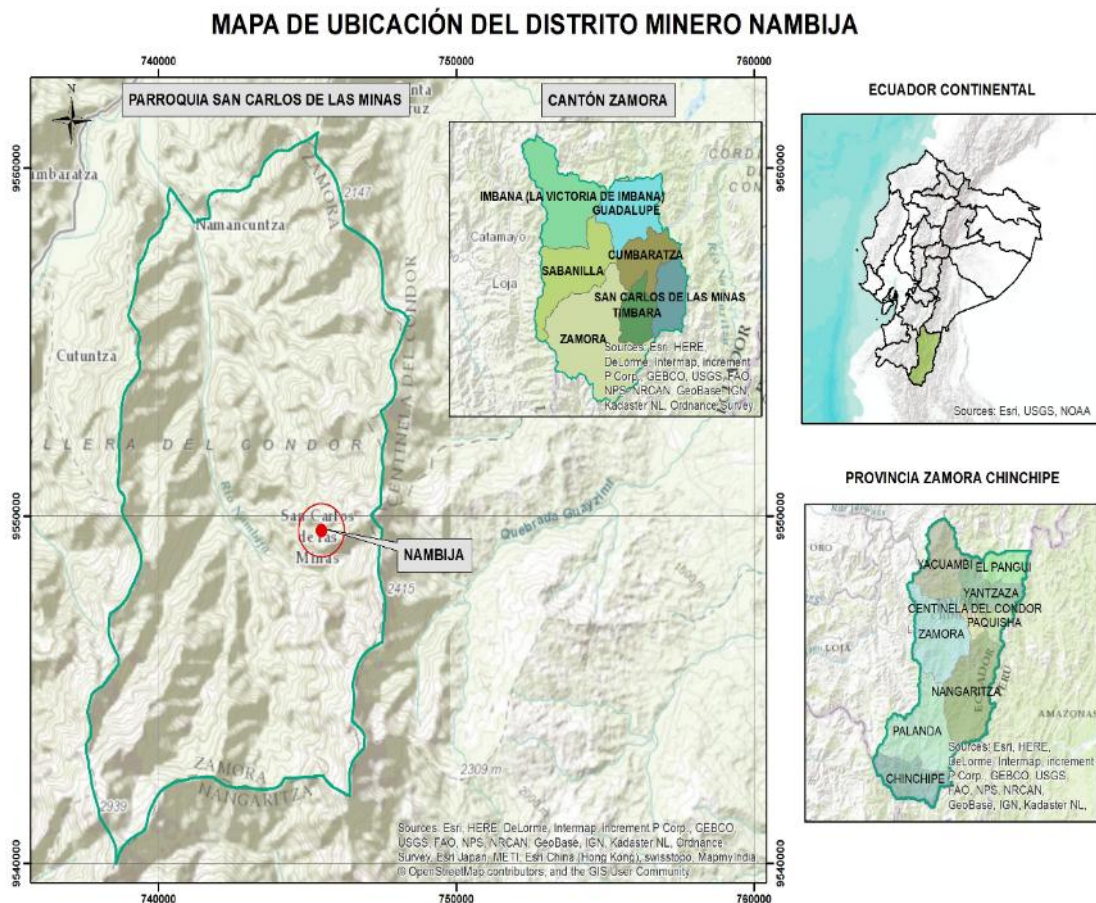


Figura 1. Ubicación del Distrito Minero Nambija

2.2. Acceso.

Para poder acceder hasta el sector Nambija desde la ciudad de Loja existen aproximadamente 140km de distancia, este recorrido consiste en trasladarse de la ciudad

de Loja al sector Namírez ubicado en la ciudad de Zamora en vía de primer orden, luego a partir de este punto se desvía por una carretera de segundo orden que atraviesa San Carlos de las Minas hasta llegar a Nambija. El desplazamiento desde la ciudad de Loja tiene un tiempo de duración de 3 horas aproximadamente. (Ver figura 2)

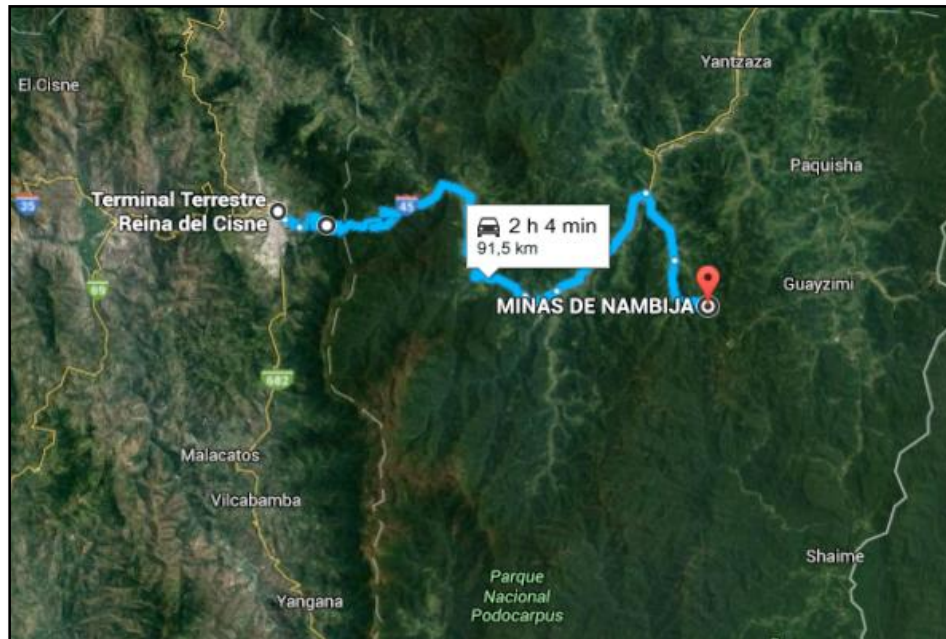


Figura 2. Acceso al Distrito Minero Nambija

Fuente: Google Maps.

2.3. Clima y vegetación.

De acuerdo con los datos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente (MAE) y los mapas de Isotermas e Isoyetas del INAMHI (2013) la zona tiene una temperatura entre 16 a 18 °C, que corresponde a un clima templado con variaciones menores a lo largo del año. La precipitación alcanza valores entre los 2500 mm a 3500 mm anuales, siendo los meses de febrero y julio los más lluviosos y noviembre el mes más seco.

La alta precipitación favorece al crecimiento de vegetación, según la consultora Carlos Granja (Plan de Gestión Integral de Nambija, 2011) manifiesta en su informe base que Nambija presenta dos tipos de bosque: Bosque de Neblina Montano y Matorral Húmedo Montano Bajo.

Estos consisten en bosques húmedos densos con árboles altos del orden de 10 a 15 metros y densa cobertura rastrera; razón por la cual el trabajo geológico de reconocimiento es difícil.

2.4. Geomorfología e hidrología.

Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra en medio de una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas produciéndose la formación de cascadas y valles profundos en “V”. La altimetría regional varía entre los 1600 msnm y los 2300 msnm. Sectores planos son escasos y las abundantes lluvias causan frecuentes derrumbes. (Ver fotografía 1)

El patrón de drenaje en Nambija es dendrítico y consiste de varias quebradas muy rápidas y frecuentemente con cascadas. Las quebradas De Fierro, Del Hierro, Cambana y Calisto son tributarias del Río Nambija, el cual forma parte del sistema amazónico. (Kellaway, 1994).



Fotografía 1. Geomorfología del Distrito Minero Nambija

CAPITULO III
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

3.1 Geología Regional.

El distrito minero de Zamora está localizado en el sector NE de la provincia de Zamora Chinchipe y al SE de la provincia de Morona Santiago y comprende parte de la región morfoestructural de la Cordillera del Cóndor. (PRODEMINCA, 2000)

El distrito minero de Nambija está localizado en la Zona Sub-Andina, es el lado plegado de la Cuenca Marginal Pre-Andina, y en ella se hallan yacimientos como Nambija , Guayzimi, Sultana del Cóndor, Campana y La Fortuna, que en su mayoría son estructuras tipo graben con orientación Andina y mineralizaciones en roca de tipo Skarn. Los skarn de Nambija, son una zona de enclaves de roca volcano-sedimentaria e intrusivas hipoabisales, ubicados en la parte central del Subdistrito Cumbaratza del Batolito de Zamora que data del Jurásico, tiene una dirección N-S y una extensión cercana a los 50km de largo por 20km de ancho. (PRODEMINCA, 2000)

Las rocas de skarn del sector presentan estructura masiva, con un tamaño de grano que va de fino a medio, su color por lo general es amarillo verdoso con tonalidades color ladrillo por la presencia de granates. Se encuentra localizada en la zona de contacto de las rocas volcánicas de la Formación Puntza con el batolito de Zamora y los pórfidos post-batolíticos del jurásico superior. En el área del yacimiento el intrusivo está representado por rocas monzo-dioritas de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático. (PRODEMINCA, 2000)

El sistema estructural de Nambija consiste de: 1) fallas NS que delimitan zonas metalogénicas; 2) fallas NE-SW con mineralización; 3) fallas NW-SE que cortan a las NE-SW; 4) fallas subhorizontales paralelas a la estratificación; y 5) fallas transversales EW posteriores. Todo el sistema relatado a un campo de esfuerzos NE-SW. (PRODEMINCA, 2000)

La mayor parte de Cinturón de Nambija comprende la Unidad Piuntza del Triásico Superior, caracterizada por volcanitas andesíticas y sedimentos volcanoclásticos y epiclásticos calcáreos. La componente volcánica y, en cierta medida, la componente calcárea de los sedimentos de interflujo parece incrementarse hacia el techo de la secuencia, lo que en una sección longitudinal se transforma en un incremento general del componente volcánico de Sur a Norte (Ver figura 3). (PRODEMINCA, 2000)

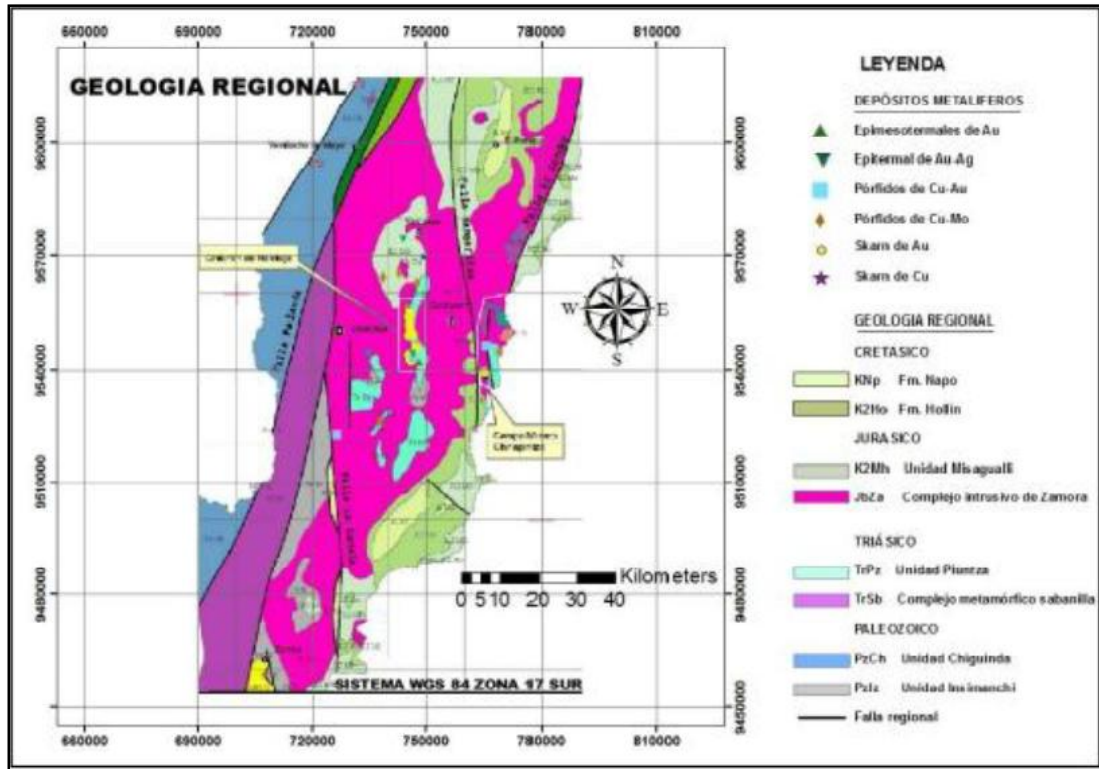


Figura 3: Mapa Geológico del Distrito Zamora

Fuente: PRODEMINCA, 2000

3.2 Estratigrafía Regional.

3.2.1. Unidad Piuntza.

Es catalogada como la primera unidad litológica aflorante de edad Triásico, presentándose como techos colgantes dentro del batolito de Zamora. Litológicamente consiste de secuencia volcano-sedimentarias de origen continental y marino (calizas, una variedad de lutitas calcáreas, areniscas, tobas de grano fino, flujos de lava, brechas de composición andesítica a dacítica) (Litherland y otros, 1994). Parcialmente relacionado al contacto con el batolito de Zamora se generan cuerpos skarnificados, de Oeste a Este como: Piuntza, Nambija y María Elena, que tienen una potencia de 300 m en las minas de Nambija y Campanillas). Fósiles encontrados en una secuencia de limolitas calcáreas skarnificadas (Litherland y otros, 1994).

3.2.2. Unidad Chapinza.

Con edad Jurásica a Cretácica Inferior comprende una secuencia 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 de Misahuallí.

Es una típica secuencia de capas rojas de lutitas, areniscas y conglomerados con evaporitas delgadas y limolitas tobáceas localmente depositadas (PRODEMINCA, 2000).

3.2.3. Unidad Misahuallí.

Está compuesta principalmente por rocas volcánicas calco-alcalinas, sobreyacen a la Formación Santiago, está debajo de la formación Hollín. Comprende traquitas verdes a grises, tobas y brechas tobáceas violetas a rosadas, lutitas rojas, areniscas y conglomerados. Se han reportado estructuras de pillows en basaltos al este del Río Nangaritza (Litherland y otros, 1994).

En la Unidad Misahuallí se han emplazado numerosos diques, pequeños stocks e intrusiones más jóvenes de edad cretácica a cenozoica.

3.2.4 Batolito de Zamora.

El Batolito de Zamora rodea y subyace al cinturón de Nambija, este tiene una composición diorítica-granodiorítica de edad jurásica, es considerado como el responsable de la skarnificación de las rocas de la unidad Piuntza; tiene forma elongada y un tamaño aproximado de 200km de largo por 50km de ancho. Sin embargo, varios cuerpos de pórfido de cobre más jóvenes han sido descubiertos.

En Nambija se pueden encontrar rocas intrusivas como: dioritas, microdioritas, cuarzo cuarzomonzondioritas, cuarzomonzonitas, granodioritas, riocitas, leucogranitoides, etc.

3.3 Geología y mineralogía Local.

La geología está representada por una secuencia de rocas del Jurásico Inferior, constituida de argilitas, arenisca y arcilla con intercalaciones de mantos potentes de rocas andesíticas. La potencia de este paquete alcanza 500m sobre el cual descansa un paquete de cuarcitas con un espesor de 150m que hace contacto con la zona mineralizada de skarn, que tiene una potencia de 100 – 120m sobre la cual descansa discordantemente una capa de arcilla de color rojo (Paladines, 2010)

Las rocas skarn que tienen una estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo – verdoso, algunas veces con tonalidades ladrillo por presencia de granates. El intrusivo está representado por una monzo – diorita de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático (Paladines, 2010)

3.3.1 Mineralización Nambija.

En Nambija las mineralizaciones auríferas están contenidas dentro de las vetas de cuarzo localmente acompañadas por carbonatos, feldespatos potásicos, clorita y epidota. En ciertos casos aparecen cantidades secundarias de pirita, menores de calcopirita y trazas de pirrotina, magnetita, esfalerita, galena y teluros; sulfuros cuyos porcentajes no sobrepasan el 1% del total y que no se encuentran asociados a las mineralizaciones auríferas. (PRODEMINCA, 2000)

Los principales minerales que podemos encontrar son: cuarzo, granate (andradita, grosularita e hidrogrosularita), clinopiroxeno (salita), feldespato potásico, sericita, epidota, clinozoicita, clorita, calcita, esfena y pregnita. Los cliropiroxenos y cloritas son ricos en Mn. (PRODEMINCA, 2000).

3.3.2 Mineralización del Skarn.

La petrografía de los skarns de Nambija muestra una diferenciación desde rocas monominerales de granate a protolito inicialmente skarnificados, conformado principalmente por rocas volcanoclásticas andesíticas con alteración propilítica (clorita, tremolina, actinolita, epidota, prehnita). La skarnificación es incipiente, se identifican cristales aislados de granates nucleados en vetillas de clorita-calcita y, localmente, piroxenos y grupos de epidota. Las vetas de cuarzo mineralizadas con oro y controladas por fallas, esta asociación calco-silicatada esta sobreimpresa por halos de alteración retrogresiva de cuarzo-feldespato k-escapolita y granates euhedrales de grosularia-andradita (internos) y epidota-calcita-clorita (externos). (PRODEMINCA, 2000)

El tipo de Skarn presente en la zona es de tipo exoskarn en rocas sedimentarias de origen calcáreo.

Según Meinert (2000), el skarn en el cinturón de Nambija es del tipo de oro cálcico oxidado, el principal tipo de skarn en Nambija constituye un skarn de granate café que consta de granate de grano grueso con mayor o menos contenido de piroxeno.

CAPITULO IV
FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETICAMENETE) Y
CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA KNELSON

4.1. Concentración centrífuga.

Los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado 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 oro grueso. También existen muchas aplicaciones en plantas industriales en la minería aurífera aluvial. (Pavez, 2013)

Separadores centrífugos fueron desarrollados en la Unión Soviética en los años 50 y también fueron empleados en China por 20 años para el tratamiento de relaves de mena de estaño y tungsteno, ya después se le prestó importancia en el occidente. (Pavez, 2013)

La utilización de concentradores centrífugos para el beneficio de mena auríferas fue una novedad tecnológica introducida en la década de los 80 en el occidente. Fueron empleados inicialmente con menas de aluviones, posteriormente tuvieron su aplicación extendida a menas primarias. La versatilidad de los concentradores centrífugos incluye.

- Modelos de capacidad variable
- Porcentaje de sólidos en peso de la alimentación que varía de 20% a 40%
- Mayor posibilidad de recuperación de finos, si se comparan con equipamientos convencionales de concentración gravitacional
- Tiene un costo relativamente bajo de operación y mantención

Estas características asociadas al costo relativamente bajo de la operación y de la mantención, pueden explicar la larga diseminación de ese tipo de concentradores centrífugos Knelson, Falcón, el Jig centrífugo y en concentrador Multi-Gravity Separator. (Pavez, 2013)

4.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Graviméricamente).

Según López (2006) la prueba del factor ORG, es un ensayo metalúrgico que consta de tres etapas de conminución y recuperación secuencial. Se trabaja con una molienda progresiva con el objetivo de obtener un Factor ORG mucho más confiable, a la vez que se

puede tener una indicación de la distribución granulometría y la secuencia de liberación del mineral.

La determinación del factor ORG esta fundamentalmente en el procesamiento de una muestra de 20kg usando un concentrador gravimétrico Knelson de laboratorio (KC-MD3). La siguiente tabla resume el procedimiento de la prueba (ver tabla 1). (Lopez, 2006)

Tabla 1. Prueba Factor ORG

| Requerimiento de muestras | 30kg de muestra son requeridos para la prueba ORG. 20 kg usados para la prueba ORG en sí y los 10kg restantes para una prueba exploratoria previa. | | |
|---------------------------|--|---|---|
| | Tamaño de partícula requerido | Variables operacionales | Muestra a ser analizada |
| Etapa 1 | 90 – 100 % – 850µm | Flujo de alimentación: 800 – 1000 g/min. Agua de fluidización: 3.5 l/min | Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado. Ensayo al fuego a 300 g de colas. La totalidad de las colas pasan a la siguiente etapa. |
| Etapa 2 | 45 – 60 % - 75µm | Flujo de alimentación: 600 – 900 g/min. Agua de fluidización: 3.5 l/min | Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado. Ensayo al fuego a 300 g de colas. La totalidad de las colas pasan a la siguiente etapa. |
| Etapa 3 | 75 – 80 % - 75µm | Flujo de alimentación: 600 – 900 g/min. Agua de fluidización: 3.5 l/min | Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado. Ensayo al fuego a 300 g de colas. |

Fuente: Knelson Gravity Solutions (Lopez, 2006)

Los materiales óptimos para ser ensayados mediante esta prueba son:

- Testigos de perforación
- Productos de la trituración en el caso de que sea suficientemente fino para tomar una muestra representativa.
- Descarga de molino primario, con la precaución de que no incluya material de carga circulante.

Para realizar los cálculos de la recuperación de cada etapa se utiliza los resultados de los ensayos correspondientes en cada etapa, mientras que para la recuperación total se utiliza los tres concentrados y colas de las tres etapas.

El resultado final es un porcentaje acumulado del total del oro recuperado durante las tres etapas de la prueba. Un factor ORG menos a 20% representa una respuesta poco favorable mientras que, un factor igual o superior al 80% es muy favorable. Por lo general la tendencia a obtener valores intermedios. (Lopez, 2006)

4.3. Utilidad del factor ORG.

4.3.1. Uso del factor ORG.

Es una prueba muy dinámica que puede ser aplicada tanto a circuitos existentes, proyectos de adición, así también en proyectos en desarrollo. En los dos últimos, la prueba será decisiva en la instalación o no de un circuito gravimétrico y determinar sus beneficios económicos, mientras que en circuitos existentes se usa para optimizar el sistema. (Lopez, 2006).

Aplicabilidad de la prueba:

Cuando se obtiene un factor muy bajo, es un indicador que nos ayuda a descartar el uso de la concentración gravitacional como opción para el procesamiento. Es de gran importancia que la prueba nos ayude con este resultado ya que no necesariamente la concentración gravimétrica será rentable en todos los materiales existentes.

La prueba puede ayudarnos a controlar el buen funcionamiento de un circuito metalúrgico de recuperación, mediante ella podemos identificar diversas fluctuaciones que pueden ser

ocasionadas por el cambio de la mineralogía o el funcionamiento en sí del proceso. El continuo análisis puede ayudar a identificar los factores que están afectando a la recuperación gravimétrica. (Lopez, 2006).

4.4. Concentración centrífuga, Knelson.

El principio básico de operación en concentradores está basado en el aumento de la fuerza gravitacional, proceso que busca elevar la eficiencia al momento de trabajar con partículas finas.

Datos generales relacionados al equipo Knelson:

- El tamaño de las partículas de oro que pueden ser recuperadas por el equipo van desde $\frac{1}{4}$ de pulgada hasta aproximadamente de 1 micrón.
- El problema de compactación del material a concentrar se logró solucionar acoplando un sistema que inyecta agua a presión que equilibra la fuerza centrífuga que existe en el cono de concentración.
- Durante el proceso de concentración se puede controlar la fuerza G que actúa sobre el material en el que se está trabajando, pudiendo utilizar una fuerza G igual a 60 Gs que permite recuperar partículas muy finas. (Lopez, 2006)

CAPITULO V
METODOLOGIA Y EQUIPOS

La metodología utilizada se resume en el siguiente esquema. (Figura 4)

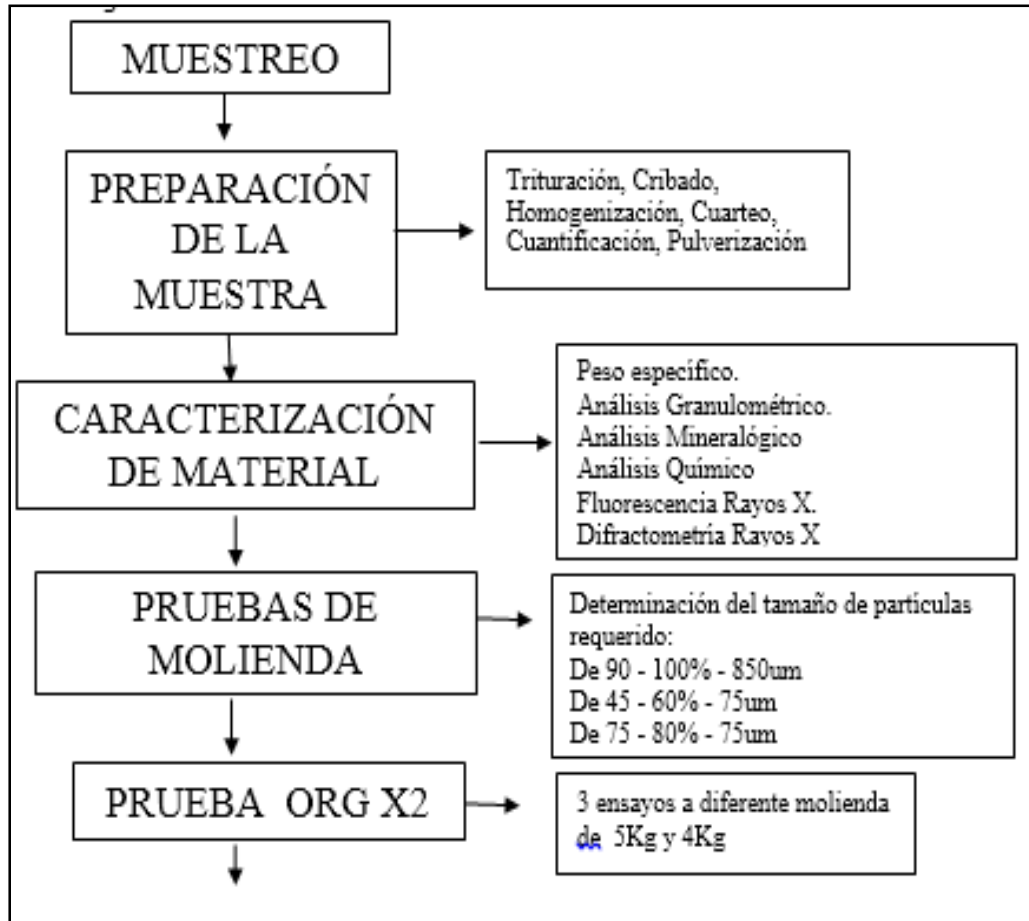


Figura 4: Diagrama que resume la metodología empleada en la investigación

5.1. Preparación de la muestra.

5.1.1. Trituración.

Consiste en reducir el tamaño del material y así tener una granulometría uniforme ya que la homogeneidad depende del tamaño de las partículas. Para este proceso se utilizó una trituradora de mandíbulas, marca RETSCH modelo BB200 (ver fotografía 2). La trituración se la realiza de la siguiente manera:

- Se preclasifica el material manualmente, separando los fragmentos de roca de tamaño mayor y se las rompe con el fin de evitar atascamientos en la máquina

- Con ayuda de la pala o mano metálica se alimenta la trituradora. El proceso se realizó con aberturas descendentes: 20, 10 y 1mm.



Fotografía 2. Trituradora de mandíbulas RETSCH

5.1.2. Cribado.

Es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual a través de su aceptación o rechazo por una superficie, generalmente una malla estándar. En nuestro caso se utilizó malla de corte igual a 100% malla 10#.

Proceso:

- Dejar caer el material triturado sobre la malla de corte (malla 10#). El material que pasa se recolecta y el retenido vuelve a la fase de trituración hasta lograr el tamaño óptimo para pasar por esta malla.
- Se repite el proceso hasta que el 100% de la muestra pase la malla 10#.

5.1.3 Homogenización.

Representa el grado de distribución de una propiedad a través de todo el material. La homogenización del material se realiza con el fin de mezclar muy bien el material, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se coloca todo el material triturado y cribado sobre un plástico limpio.
- Se mezcla sucesivamente y por varias veces todo el material, jalando desde las esquinas del plástico hacia el centro. Esta técnica de homogenización se denomina Roleo. (ver fotografía 3).



Fotografía 3. Homogenización del material

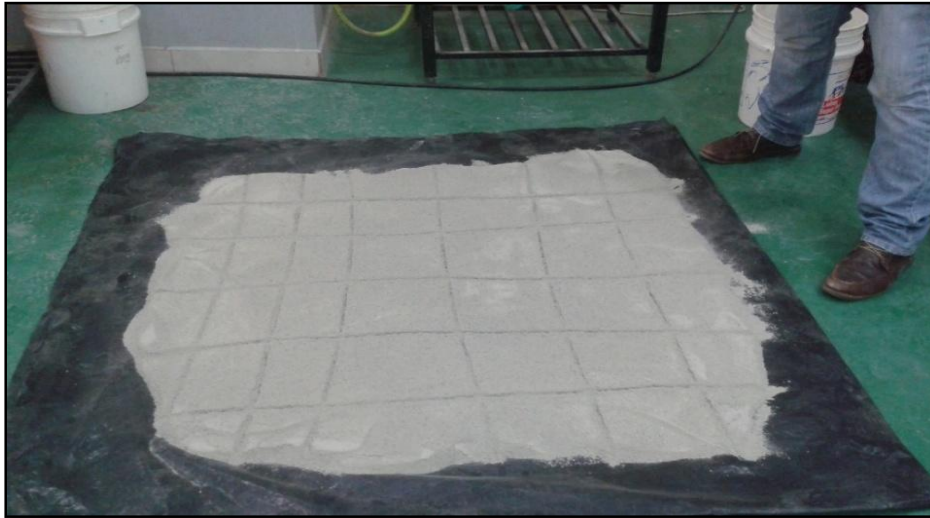
5.1.4. Cuarteo.

Técnica que permite reducir la muestra en porciones similares con características iguales. El cuarteo del material se realizó por roleo utilizando un plástico que varía de tamaño de acuerdo con el volumen de la muestra a cuartear,

Con el fin de sacar una muestra representativa de toda la fracción de material, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Esparcir uniformemente la muestra sobre un plástico. (ver fotografía 4)
- Entre dos personas se agarran los dos extremos, haciendo rodar el material de una esquina a otra. La operación se repite durante varios minutos.
- Sobre la capa de muestra esparcida se traza una cuadrícula de tamaños más o menos iguales su largo y su ancho.

- Se toma una porción similar de cada recuadro de la cuadrícula hasta obtener el peso que se necesita en este caso 1000g
- Se coloca en bolsas plásticas, se etiqueta y se almacena.



Fotografía 4. Cuarteo del material

5.2. Caracterización del material.

5.2.1. Peso específico.

Es la relación que existe entre el peso y el volumen de un mismo material. Este parámetro se utiliza para determinar los porcentajes sólidos y realizar balances de materia.

Para determinar este valor se utiliza el método del picnómetro, que consiste en la utilización de un envase de vidrio de 5ml, una pequeña porción de muestra, agua y una balanza de precisión. (Ver fotografía 5)

Este ensayo se lo realiza de la siguiente manera:

- Se limpia el picnómetro y se pesa
- Se introduce una porción de muestra y se toma el peso
- Añadimos agua al picnómetro hasta el borde, lo tapamos, limpiamos el exceso de agua y se pesa
- Se desecha la muestra y el agua, se eliminan los residuos; se llena con agua, se pesa

- Finalmente se realizan los cálculos.
- El ensayo se repite 3 veces con el fin de realizar un análisis comparativo.

La fórmula para los cálculos es:

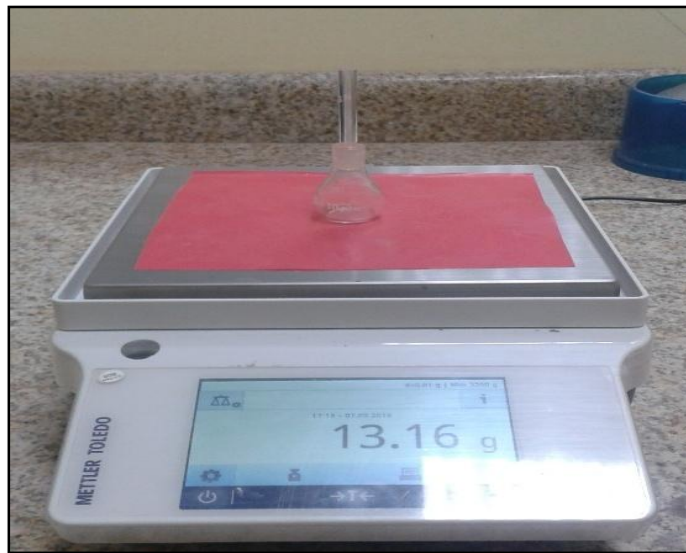
$$\gamma = \frac{P2 - P1}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$$

P1: Peso del picnómetro vacío.

P2: Peso del picnómetro más muestra.

P3: Peso del picnómetro más agua.

P4: Peso del picnómetro más muestra y agua



Fotografía 5. Ensayo del picnómetro

5.2.2. Análisis granulométrico.

Sirve para determinar el tamaño de grano y conocer la distribución de las partículas en el material a ver. En nuestra investigación se realizó un análisis granulométrico por tamizado en dos fases:

Fase húmeda (deslamado), nos permite separar la porción más fina del material (lomas, arcillas y limos) y obtener una curva granulométrica exacta, se la realiza de la siguiente manera. (Ver fotografía 6)

- Se toma 250g de muestra

- Los tamices a utilizar en esta fase son 35# - 120# - 200# - 230# - 325# - 400# los cuales están normalizados (ASTM), se colocan en el vibro tamiz RETSCH junto con la muestra.(Ver tabla 2)
- Se enciende la máquina y se la configura, aproximadamente 5 minutos o hasta que el agua que sale este totalmente limpia o clara.
- El material pasante se denomina lamas (-400#) y se recolecta en un recipiente.
- El retenido en todos los tamices se pesa y cuantifica y pasa a la siguiente granulometría.
- El pasante es secado, etiquetado y cuantificado.

Fase seca, en esta fase se obtendrán los datos para realizar los cálculos y la graficas correspondientes. Este análisis se lo realiza de la siguiente manera: (ver fotografía 7)

- El material que se utiliza en esta fase es el material retenido en la fase anterior.
- Los tamices a utilizar en esta fase son 10# - 18# 35# - 60# - 120# - 200# - 230# - 325# - 400# los cuales están normalizados (ASTM), se pesa los tamices.
- Se colocan en el vibro tamiz RETSCH junto con la muestra.
- Se enciende la máquina y se la configura en 10 minutos.
- Se vuelve a pesar los tamices ahora con el material retenido en cada uno de ellos
- Finalmente con los datos obtenidos de los pesos se realizan los cálculos para determinar la distribución granulométrica.

Tabla 2. Serie de tamices usados y sus aperturas (ASTM)

| Nº de malla | Tamaño en μm |
|-------------|-------------------------|
| 10 | 2000 |
| 18 | 1000 |
| 35 | 500 |
| 60 | 250 |
| 120 | 125 |
| 200 | 75 |
| 230 | 63 |
| 325 | 45 |
| 400 | 38 |

Fuente: ASTM, 2016

Elaboración: Vélez, 2016



Fotografía 6. Granulometría Fase Húmeda



Fotografía 7. Granulometría Fase seca

5.2.3. Análisis Mineralógico.

Se realiza el análisis microscópico con lámina delgada.

Lamina delgada.

La lámina delgada se utiliza para analizar las rocas en especial minerales claros.

Para realizar la lámina delgada utilizamos los siguientes equipos:

- Máquina de corte de rocas de disco de marca ISOMET LAPRO 18 (ver imagen).
- Máquina de lijado de briquetas marca METASRV
- Máquina de pulido de muestras
- Y finalmente el microscopio OLYMPUS BH-2

Procedimiento realizado:

- Elegimos una muestra de la roca que presente características representativas en donde podamos observar su mineralización con más claridad.
- Se procede a cortar la roca con una medida de 4cm x 2,5cm x 1cm (ver fotografía 8), tomando en cuenta el diámetro del porta briquetas que vamos a utilizar con el fin de que coincida perfectamente al momento de la elaboración de la lámina.
- Se deja secar la muestra en la estufa.

- Se realiza el lijado de la muestra utilizando papel de lija con numeración (120, 240, 400, 600 y 800), el lijado tiene como objetivo eliminar las rayas e igualar las caras de la briqueta.
- Se prepara la resina y el endurecedor con una dilución 5:1 y se coloca en la cara de la briqueta que vamos a pegar para rellenar los poros.
- Se seca la briqueta en un desecador (ver fotografía 9) por siete días aproximadamente.
- Cuando ya está seca y firme se procede a realizar los cortes a la briqueta y a desbastar hasta conseguir una lámina aproximadamente de 0.3mm de grosor. Para obtener el grosor óptimo nos ayudamos con paños espaciales.
- Finalmente se procede a analizar la lámina en un microscopio de luz transmitida.



Fotografía 8. Máquina de corte de rocas de disco adiamantado.



Fotografía 9. Desecador para muestras.

5.2.4. Fluorescencia Rayos X.

La fluorescencia de rayos X es un método que nos permite identificar la composición química de un material. Para realizarlo se utiliza la pistola Bruker modelo S1 de fluorescencia de rayos X.

El proceso es el siguiente.

- Se pulveriza una cierta cantidad de muestra. Entre 10 y 20 gramos.
- Se coloca en el recipiente, el mismo que será colocado en la parte superior de la pistola de rayos X (ver fotografía10).
- Configuramos el equipo con el programa Mining Ligth Elemenets.
- Se procede a leer y extraer los datos arrojados por el equipo.
- Anotamos el número de ensayos que indica el equipo.



Fotografía 10.Equipo de fluorescencia de Rayos X.

5.2.5. Difractometría Rayos X.

Para identificar las diferentes fases del material se procedió a realizar un análisis de difracción de rayos X (DRX) en el equipo DRX marca Bruker modelo 8 advance, el cual se realiza colocando una porción de muestra de material de cabeza para su posterior análisis. El resultado se presenta en forma de difractograma el cual es analizado por el software llamado EVA y lo cuantificamos por medio de un programa con el nombre TOPAS.

5.2.6. Análisis Químico (Fusión – Copelación).

Esta técnica se utiliza para cuantificar los metales preciosos oro y plata.

El procedimiento que se realizó en los ensayos al fuego fue el siguiente:

Fusión:

- Se coloca en los crisoles 25 gramos de muestra, previamente pulverizada y se adiciona 90 gramos de flux, 2.5 gramos de harina y 1,5 gr de bórax (Ver fotografía 11).

- Procedemos a ingresar los crisoles etiquetados y ordenados al horno de fundición, a una temperatura 1000°C por un tiempo de 60 minutos.
- Sacamos los crisoles del horno y se coloca su contenido en las lingoteras.
- Dejamos enfriar y separamos el plomo de la escoria.
- Por ultimo formamos un regulo de plomo para su posterior copelación.

Copelación:

- Se prepara el horno de copelación
- Se coloca los régulos de plomo en las copelas las mismas que deben estar etiquetadas y ordenadas para ingresar al horno. (ver fotografía 12)
- La copelación tiene una duración de dos horas aproximadamente a una temperatura de 900°C , todo dependerá de la calidad del material. (ver fotografía 13)
- Luego de este tiempo se saca las copelas y se deja enfriar
- Se lamina las perlas que quedan en las copelas (ver fotografía 14)
- Finalmente se proceder a cuantificar el peso de las perlas laminadas para el posterior análisis químico.



Fotografía 11. Crisoles con la muestra preparada para fusión.



Fotografía 12. Régulos de plomo para copelar



Fotografía 13. Horno de copelación



Fotografía 14. Perlas listas para el ataque químico

Ataque Químico:

Con el ataque químico conseguimos eliminar la plata contenida en los dorés, para cuantificar únicamente el oro.

Se lo realiza de la siguiente manera:

- Limpiamos y etiquetamos los crisoles que vamos a utilizar para el proceso.
- En los crisoles colocamos los dorés laminados y se taca con el ácido nítrico, anteriormente diluido con agua a: 1:7. 1:5 y 1:1. El ataque químico consiste en colocar el ácido en cada crisol y ponerlo al fuego en una plancha calentadora por un tiempo de 20 minutos (ver fotografía 15). Lo que nos indica que la plata ya se ha eliminado es el cambio de color del doré que pasa de color plata a amarillo.
- Finalmente se cuantifica el peso de los dorés y se realiza el cálculo para obtener la ley del oro.



Fotografía 15. Ataque químico

Digestión para absorción atómica:

Cuando el rango no es cuantificable en la balanza DISCOVERY se procede a realizar una digestión química con agua regia para luego realizar una absorción atómica.

- Limpiamos y etiquetamos los crisoles que vamos a utilizar para el proceso.
- En los crisoles colocamos las perlas de oro y agua regia, la misma que es una solución de ácido nítrico y ácido clorhídrico con una relación 1:3, calentamos por un tiempo de 20 minutos o hasta que se disuelva el botón de oro en la solución.
- Ayudándonos de un embudo se vierte la solución en un balon y se afora con agua destilada hasta los 25ml. Posteriormente se coloca en un recipiente adecuado y se etiqueta.
- Finalmente se realiza la lectura en el equipo de absorción atómica para luego proceder a realizar el cálculo de las leyes de oro.

5.3. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson.

La metodología y procedimiento que utilizamos es tomada del protocolo del equipo (ver figura 5).

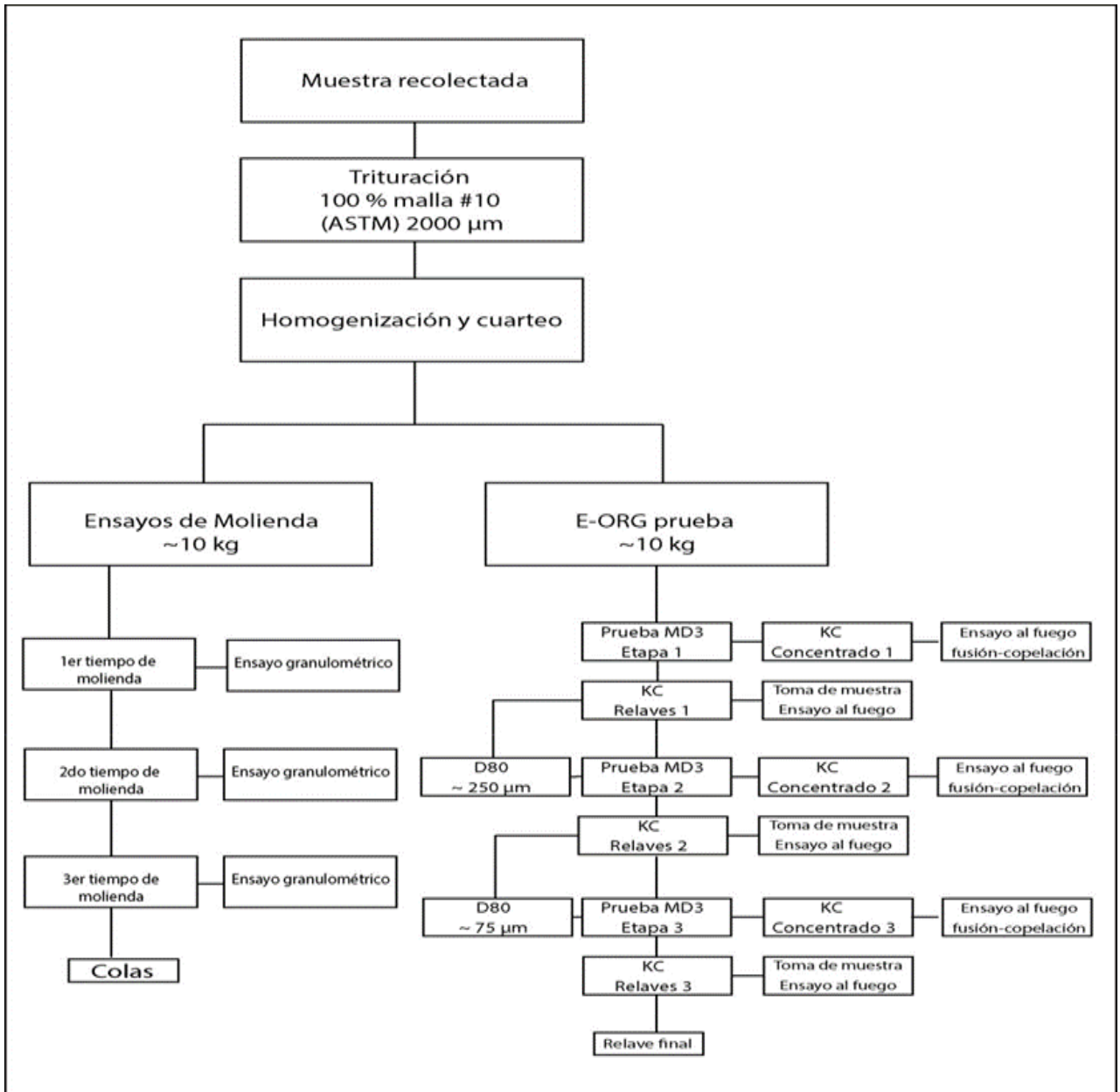


Figura 5. Metodología para prueba del factor ORG.

Fuente: FL Smith, 2015

5.3.1. Molienda

Para las pruebas de molienda se trabajó con 10kg de muestra previamente. Debido a la capacidad del molino de bolas se realizó ensayos con 1000g de cada uno.

Parámetros molino de bolas:

- Peso muestra: 1000g
- Volumen de agua: 1000ml
- Dilución S/L: 1/1
- Carga de molienda (peso de las bolas de acero): 11.3 kg
- Velocidad Critica (tc): 72 rpm

Procedimiento:

- Limpiar el molino
- Introducir en el molino la carga de molienda (bolas de acero).
- Introducir los 1000g de muestra y 1000ml de agua, obteniendo una relación de pulpa 1:1 y luego tapar.
- Se coloca el molino sobre los rodillos que lo hará girar (ver fotografía 16)
- La muestra es molida en diferentes tiempos (en nuestro caso 3, 4, 6,7, 13, 23,30y 35 minutos).
- Al terminar la molienda se descarga el equipo y se extrae el material en un recipiente (balde).
- Se seca la muestra, luego se la homogeniza, cuartea y se extrae 250g para realizar el análisis granulométrica.
- Se realiza los cálculos y la curva granulométrica utilizando el software Moly Cop tolos, versión 3.
- Las moliendas exploratorias se las realizaron con el fin de encontrar el tamaño de grano útil para nuestro análisis.



Fotografía 16. Molino de bolas

5.3.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson.

Se utiliza esta prueba para determinar la recuperación de oro de un determinado material en el concentrador KC-MD3 Knelson.

Los protocolos a seguir antes de comenzar con la prueba fueron:

- Lavar el cono de concentración y las líneas de descargue de relaves.
- Verificar que el equipo este en buen estado y con todas sus piezas.
- Hay que recalcar que; para las pruebas se planifico realizar dos corridas metalúrgicas para un posterior análisis comparativo.

Procedimiento para la primera etapa:

- Colocar la muestra molida (Primera etapa: 7 minutos) en el agitador a una velocidad de 350 rpm y adicionar agua a una relación 2:1 (dos liquido; uno solido), por un lapso de 10min.
- Se ajusta los parámetros del equipo con los que a trabajar: rotación del cono de concentración igual 60 fuerzas G y 3.5l/min de fluidización de agua.
- Alimentar el material desde el agitador hacia el concentrador con un caudal constante.

- Cuando el material termine de pasar, limpiar las paredes y fondo del tanque agitador.
- Cancelar la fluidización de agua, apagar el quipo y remover y lavar el cono concentrador, secar, pesar y analizar.
- Los relaves son secados, cuantificados y homogenizados, luego se los cuartea para obtener una muestra representativa de 200 gramos para análisis al fuego y el restante de la muestras pasa a la siguiente etapa.

Procedimiento segunda etapa.

- En esta etapa se utiliza los relaves de la primera etapa previamente molidos al segundo tiempo óptimo (Etapa 2: 13 minutos;).
- Se coloca la muestra molida en el agitador a una velocidad de 350 rpm y adiciona agua a una relación 2:1 (dos líquido; uno solido), por un lapso de 10mim.
- Se ajusta los parámetros del equipo con los que se va a trabajar: rotación del cono de concentración igual 60 fuerzas G y 3.5l/min de fluidización de agua.
- Se alimenta el material desde el agitador hacia el concentrador con un caudal constante.
- Cuando el material termine de pasar, limpiar las paredes y fondo del tanque agitador.
- Cancelar la fluidización de agua, apagar el quipo y remover y lavar el cono concentrador, secar, pesar y analizar.
- Los relaves son secados, cuantificados y homogenizados, luego se los cuartea para obtener una muestra representativa de 200 gramos para análisis al fuego y el restante de la muestras pasa a la siguiente etapa.

Procedimiento tercera etapa.

- En esta etapa utilizamos los relaves de la segunda etapa previamente molidos al tercer tiempo óptimo (Etapa 3: 23 minutos;).
- Se coloca la muestra molida en el agitador a una velocidad de 350 rpm y se adiciona agua a una relación 2:1 (dos líquido; uno solido), por un lapso de 10mim.
- Se ajusta los parámetros del equipo con los que se va a trabajar: rotación del cono de concentración igual 60 fuerzas G y 3.5l/min de fluidización de agua.
- Se alimenta

- el material desde el agitador hacia el concentrador con un caudal constante.
- Cuando el material termine de pasar, limpiar las paredes y fondo del tanque agitador.
- Cancelar la fluidización de agua, apagar el quipo y remover y lavar el cono concentrador, secar, pesar y analizar.
- Los relaves son secados, cuantificados y homogenizados, luego se los cuartea para obtener una muestra representativa de 200 gramos para análisis al fuego y el restante de la muestras pasa a la siguiente etapa.

CAPITULO VI
RESULTADOS

6.1. Caracterización de la muestra.

6.1.1. Peso específico.

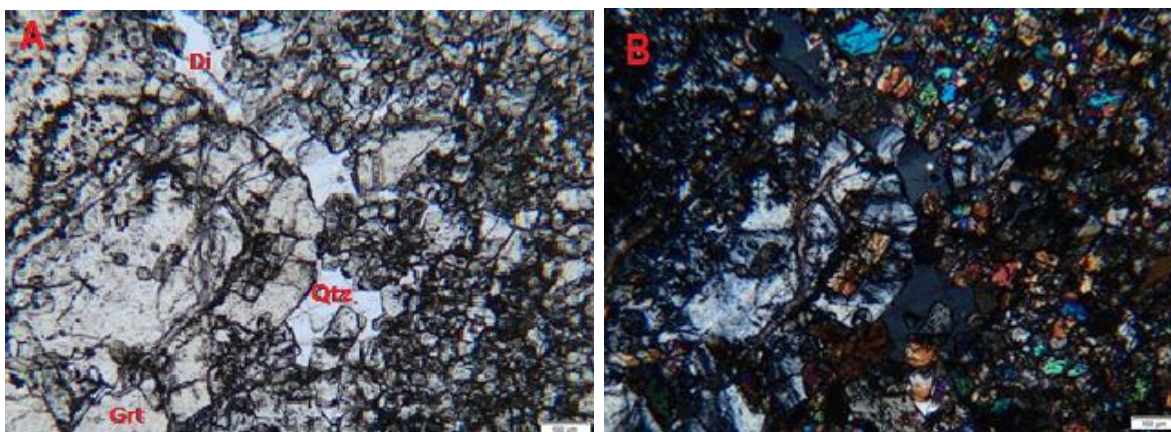
Para determinar el peso específico se utilizó el método del picnómetro, se realizaron tres ensayos y finalmente se promedió para determinar el peso específico, que en este caso es de 3.28 (ver tabla 3 y anexo 1).

Tabla 3. Pesos específicos por método del picnómetro.

| Ensayos con picnómetro (g/cm ³) | Peso específico |
|--|-----------------|
| 3.21 | 3.28 |
| 3.72 | |
| 2.93 | |

6.1.2. Análisis mineralógico.

El análisis mineralógico se lo realiza mediante lámina delgada y se utiliza el microscopio OLYMPUS BHSM, NUMERO DE SERIE 202443 (ver fotografía 17 y anexo 2).



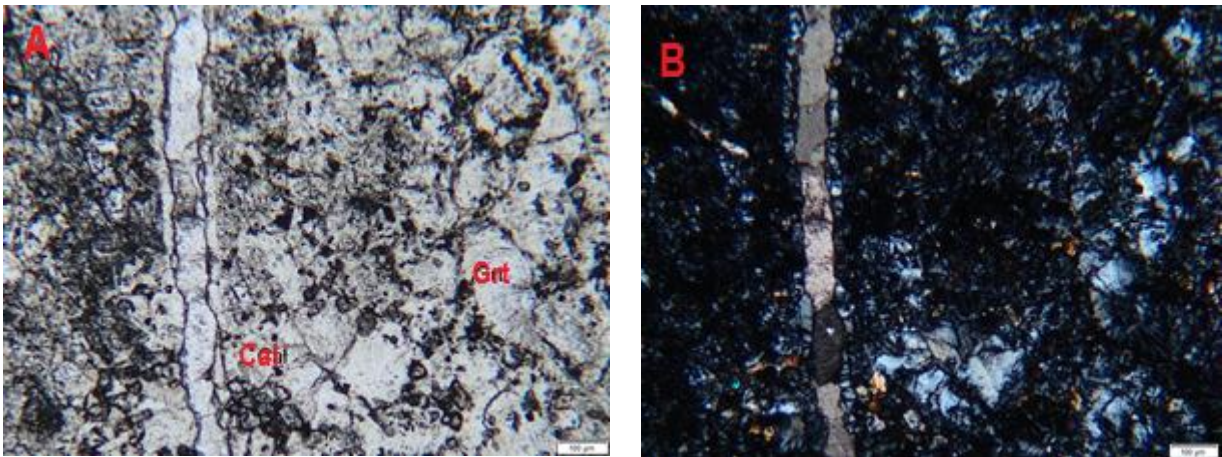
Fotografía 17. Análisis de lámina delgada: A) Lámina analizada en Luz Polarizada no analizada, Cuarzo (Qtz), Granate (Grt), Diópsido (Di). B) Lámina analizada en Luz Polarizada analizada.

En la fotografía A) en Luz Polarizada no analizada y fotografía B) en Luz Polarizada analizada a 50 aumentos. Se puede apreciar la textura granoblástica de la roca. Los granates tienen anisotropía anómala y por eso aparecen en color gris de primer orden (LPA). Los piroxenos se ven de colores llamativos de segundo orden, son de la variedad diópsido (LPA).

Piroxeno.- en la lámina analizada se presenta incolora, de relieve alto, con clivaje en una dirección perfecta visible de 90° , un habito prismático - prismas cortos, una elongación positiva y un ángulo de extinción de 34 a 45 grados.

Granate.- en la lámina analizada se presenta incoloro a amarillo pálido, de relieve alto, los minerales presentan anisotropía anómala, un habito equidimensional y un color de interferencia gris de primer orden.

Cuarzo.- en la lámina analizada se presenta en vetas, incoloro, con relieve medio y fracturaciones.



Fotografía 18. Análisis de lámina delgada: A) Lámina analizada en Luz Polarizada no analizada, vetilla de calcita (Cal) y Granate (Grt), B) Lámina analizada en Luz Polarizada

En la fotografía A) en Luz polarizada no analizada y en la fotografía B) en Luz polarizada analizada a 50 aumentos. Se puede apreciar una vetilla de calcita (ver fotografía 18).

Calcita.- en la lámina analizada se presenta en vetas, relieve bajo, y colores de interferencia de cuarto orden.

A continuación se presenta la distribución en porcentajes de los minerales encontrados en la lámina delgada analizada (ver tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de minerales.

| Mineral | Porcentaje % |
|----------------|---------------------|
| Granate | 69% |
| Piroxeno | 12% |
| Cuarzo | 10% |
| Calcita | 7% |
| Apatito | 1% |
| Opacos | 1% |
| Total | 100% |

6.1.3. Fluorescencia de Rayos X.

La técnica de Fluorescencia de Rayos X se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X.

Esta técnica nos permitió realizar una comparación con los resultados del análisis mineralógico.

A continuación los porcentajes de los elementos encontrados en la fluorescencia (ver tabla 5).

Tabla 5. Porcentajes de fluorescencia de rayos X

| Elementos | Porcentaje% |
|--------------------------------|--------------------|
| MgO | 4.58% |
| Al ₂ O ₃ | 11.40% |
| SiO ₂ | 43.40% |
| P ₂ O ₅ | 1.82% |
| CaO | 22.70% |
| MnO | 1.03% |
| Fe ₂ O ₃ | 11.40% |

| | |
|--------------------------------|-------|
| Sb ₂ O ₃ | 1.30% |
| Otros | 2.37% |
| Total | 100% |

6.1.4. Difractometría de Rayos X.

El análisis por este método entrega los contenidos de los minerales presentes en el material.

En la tabla 6, se muestra los valores obtenidos en el ensayo de difractometría.

Tabla 6. Minerales y sus porcentajes, proporcionados por el programa EVA.

| Mineral | Porcentaje % |
|--------------|--------------|
| Cuarzo | 4.29 |
| Calcita | 3.21 |
| Grosulario | 30.24 |
| Hedenbergite | 0.87 |
| Diopsido | 7.15 |
| Magnetite | 0.09 |
| Albita | 5.60 |
| Anortita | 25.54 |
| Andradite | 22.28 |
| Apatite | 0.49 |
| Penninite | 0.24 |

Fuente: Vélez, 2016

6.1.5. Tiempos de molienda para prueba del factor ORG.

Para determinar los tiempos de molienda óptimos para prueba del factor ORG, se realizaron varias moliendas a distintos tiempos hasta obtener los tiempos requeridos para la prueba es decir el D_{80} adecuado. Se realizó ocho pruebas de molienda en total, de los cuales tres fueron los requeridos en la prueba (ver tabla 7 y anexo 4).

Tabla 7. Tiempos de molienda óptimos

| Tiempos de molienda óptimos | D 80 |
|------------------------------------|-------------|
| 7 minutos | 288 |
| 13 minutos | 125 |
| 23 minutos | 82 |

6.1.6. Ley de cabeza.

La ley de cabeza de Au del mineral se determinó con el método de ensayo al fuego, se realizó dos ensayos al fuego y los datos obtenidos se promediaron (ver tabla 8). La ley de cabeza promedio de Au es 2.82 g/ton. (Ver anexo3)

Tabla 8. Ley de cabeza.

| Ensayos | Ley de Au g/ton | Promedio |
|----------------|------------------------|-----------------|
| 1 | 2.97 | 2.82 g/ton |
| 2 | 2.66 | |

6.1.7. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo de concentración gravimétrica Knelson.

Se realizó dos pruebas para determinar el factor ORG y obtuvimos se obtuvo los resultados.

Primera prueba

Tabla 9. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico #1

| NAMBIJA CONDOMINIO SUR | | | | | | |
|------------------------|--------------|---------|-------|-----------|---------------|--------------|
| | Producto | Masa gr | % | Oro gr/tn | Unidades | Distribución |
| P90=850um | Cc | 66.67 | 1.85 | 70.02 | 129.74 | 43.31 |
| | Colas | 200 | 5.55 | 1.65 | 9.16 | 3.06 |
| P45=75um | Cc | 55.76 | 1.55 | 53.78 | 83.23 | 27.78 |
| | Colas | 200 | 5.55 | 0.81 | 4.50 | 1.50 |
| P75=75um | Cc | 27.88 | 0.77 | 39.55 | 30.60 | 10.22 |
| | Colas | 200 | 84.72 | 0.5 | 42.36 | 14.14 |
| | Total cabeza | 3603.03 | | | | |
| | Concen K | 150.4 | | | | |
| | | | | | 81.30% | |

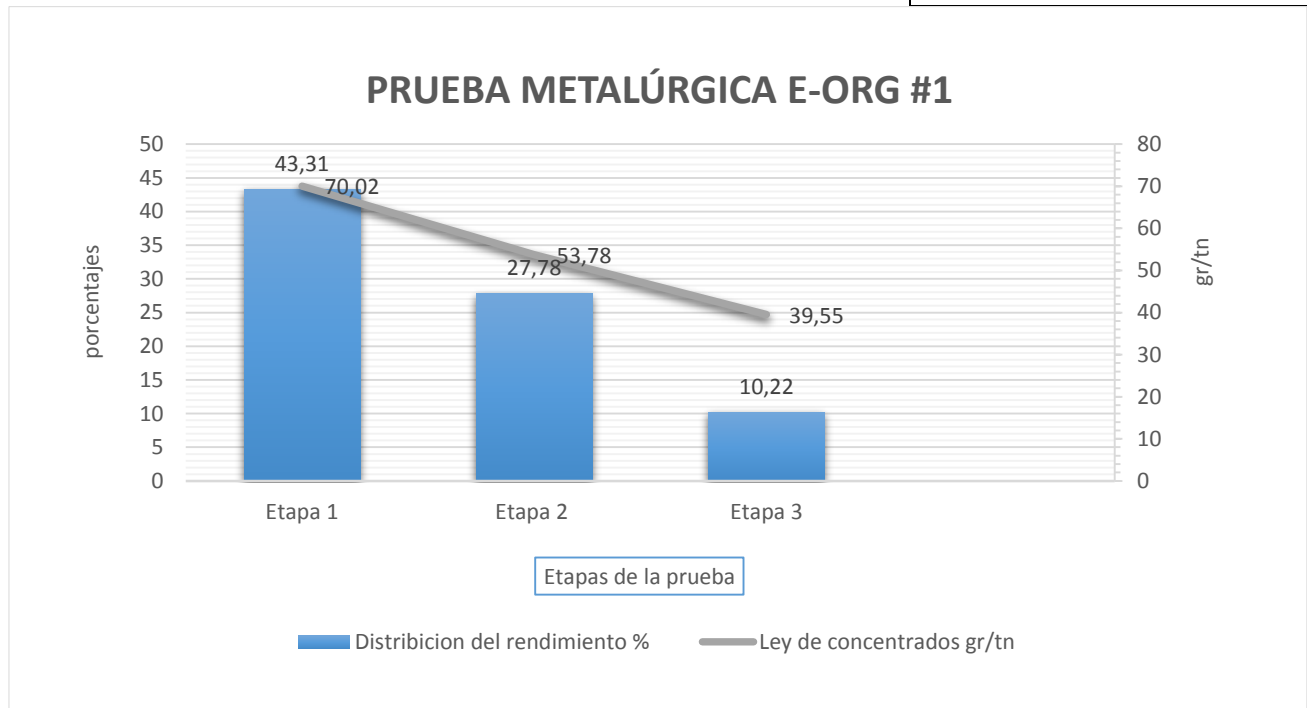


Figura 6. Distribución de concentrados ley de concentrados

Segunda prueba.

Tabla 10. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico #2

| NAMBIJA CONDOMINIO SUR | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------|----------|------------------|-----------------|---------------------|
| | Producto | Masa gr | % | Oro gr/tn | Unidades | Distribución |
| P90=850um | Cc | 45.20 | 1.29 | 99.33 | 128,58 | 45.55 |
| | Colas | 200 | 5.75 | 1.5 | 8.63 | 3.06 |
| P45=75um | Cc | 33.02 | 0.95 | 63.61 | 60.40 | 21.40 |
| | Colas | 200 | 5.55 | 0.92 | 5.29 | 1.87 |
| P75=75um | Cc | 23.08 | 0.66 | 40.93 | 27.16 | 9.62 |
| | Colas | 2976.65 | 85.59 | 0.61 | 52.21 | 18.50 |
| | Total cabeza | 3603.03 | | | | |
| | Concen K | 150.4 | | | | |
| | | | | | | 76.57 % |

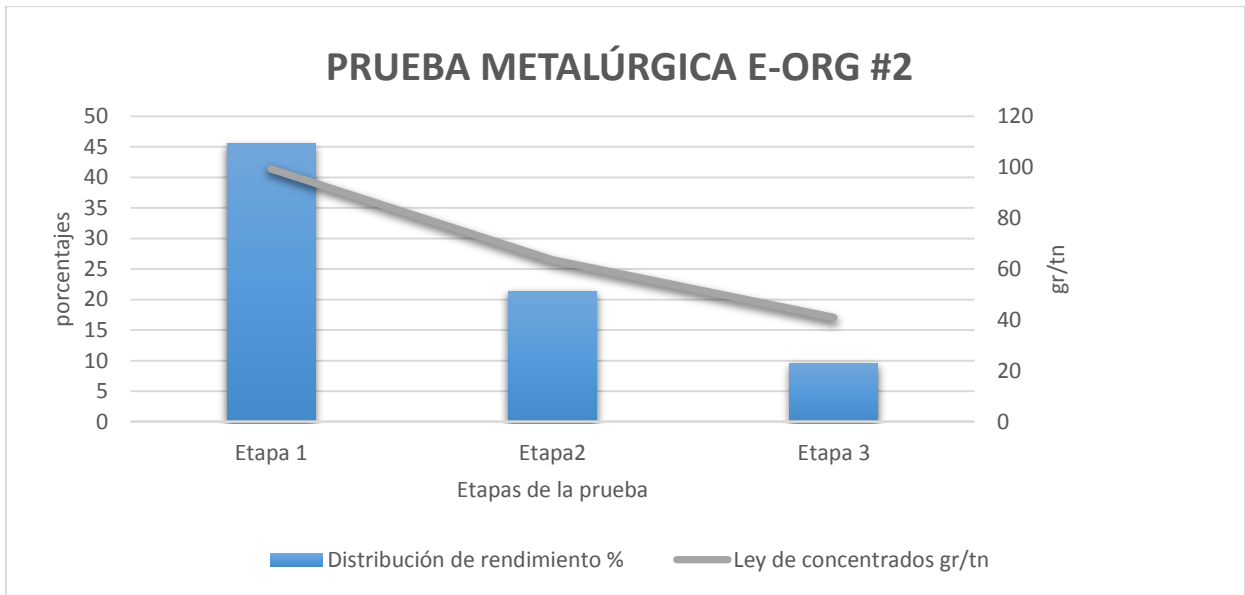


Figura 7. Distribución de concentrados y ley de concentrados

En los gráficos se ha representado la distribución del rendimiento, así como también la ley de los concentrados en cada una de las etapas.

La recuperación en la primera prueba fue de 81.30% y en la segunda prueba de 76.57%. El promedio alcanzado es de 79% de recuperación de oro.

El primer grafico corresponde al ensayo #1 de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG, se describe con barras la distribución de los concentrados y con una línea la ley de cada uno de los concentrados en las diferentes etapas.

Se puede identificar que la distribución es descendente, con 43.31% de distribución en la primera etapa, siendo esta la de mayor recuperación de oro con una ley de 70.02gr/ton, la segunda etapa con una distribución de 27.78% y una ley de 53.78gr/ton y la tercera etapa con 10.22% de distribución y una ley de 39.55gt/ton, lo que nos indica que a un tamaño de partícula gruesa ($D_{80}=288\mu\text{m}$) la liberación de oro es alta mientras que para un tamaño de partícula fina ($D_{80}=82$) la liberación de oro es baja.

El segundo grafico corresponde a la prueba #2 de la prueba metalúrgica y se puede observar que la distribución en las tres etapas es igualmente de manera descendente, con una distribución en la primera etapa de 45.55% y una ley de 99.33gr/ton, la segunda etapa con una distribución de 21.40% y una ley de 63.61gr/ton y en la tercera etapa con una distribución de 9.62 y una ley de 40.93gr/ton.

Tomando en cuenta los datos obtenidos y representados en los gráficos, podemos corroborar la coherencia en la distribución de las masas y de las leyes de los concentrados.

Es de importancia mencionar que las dos pruebas se realizaron bajo los mismos parámetros de operación.

Remitiéndonos a la literatura de López (2006) y a la categorización de los rangos de recuperación podemos decir que la recuperación en esta prueba es aceptable, partiendo de que una recuperación inferior a 20% es pésima y mayor o igual al 80% es excelente.

CONCLUSIONES

- ✓ La roca utilizada en los ensayos es de tipo skarn, con minerales identificados microscópicamente como: granate (69%), piroxeno (12%), cuarzo (10%), calcita (7.%), apatito (1%) y opacos (1%), a estos datos los corroboramos con DRX : grosulario (30.24%), diópsido (7.15%), cuarzo (4.29%), calcita (3.21%), albita (5.60%), Anortita (25.54%). Litológicamente el material es de tipo skarn resultado de un metamorfismo de contacto producido por la intrusión del Batolito de Zamora, correspondiente al distrito Nambija el mismo que posee importantes mineralizaciones auríferas.
- ✓ El análisis de fluorescencia de rayos X arrojó datos como: Al_2O_3 (11.40%), SiO_2 (43.40%), CaO (22.70%), Fe_2O_3 (11.40%) siendo estos los de mayor porcentaje.
- ✓ Utilizando el método del picnómetro se estableció que la muestra analizada perteneciente al Condominio Sur del Distrito Nambija tiene un peso específico de 3.28.
- ✓ Del análisis químico del material de cabeza, mediante el ensayo al fuego se determinó un ley de cabeza de 2.82 g/ton.
- ✓ De todos los tiempos de molienda experimentados se determinó que los tiempos de molienda óptimos están por debajo de los 30 minutos. Los tiempos óptimos para la prueba son:
 - Para D90 = 885um - un tiempo de 7 minutos.
 - Para D45 = 75um- un tiempo de 13 minutos.
 - Para D75 = 75um - un tiempo de 23 minutos.
- ✓ En la prueba metalúrgica para determinar el Factor ORG se obtuvo una recuperación de 81,30% en la primera prueba y 76,57% en la segunda prueba teniendo una recuperación promedio del 79%, obteniendo más liberación de oro en la primera etapa de la prueba con un material relativamente grueso.

- ✓ Finalmente tomando en cuenta el porcentaje promedio de recuperación podemos determinar que el Factor ORG es un método medianamente efectivo en la recuperación de oro en nuestro material, en función de que un Factor ORG por debajo del 20% se considera una respuesta pobre mientras que un factor igual o mayor al 80% es considerado prometedor.

RECOMENDACIONES

- ✓ Para investigaciones futuras se recomienda modificar en la Prueba Metalúrgica E-ORG las siguientes variables de operación: fuerzas Gs, PSI, rpm del tanque de agitación; con el fin de optimizarlas.
- ✓ Se recomienda tener mucho cuidado con la limpieza de equipo, así como también con las variables de operación del equipo: fluidización, presión, fuerza, esto con el fin de optimizar la recuperación del concentrador y obtener mejores resultados.
- ✓ Se recomienda modificar las fuerzas G en la tercera etapa, debido a que hay poca recuperación, considerando que mientras más pequeño es el tamaño del grano se debe elevar las fuerzas G.
- ✓ Se recomienda verificar que los tiempos de molienda sean los óptimos para la prueba para evitar una molienda excesiva o una baja, lo que nos puede ocasionar una recuperación de oro errónea.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ ACDI. (1987). *Informe de Prefactibilidad Geológico Metalogénico de la Zona Sur del Yacimiento Aurífero de Nambija*.
- ✓ Álvarez, A. (2006). *Tecnología de la Concentración Centrifuga*. La Paz-Bolivia: UMSA.
- ✓ CONADE. (1989). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Ecuador*.
- ✓ Concentrators, K. (2003). *User Manual Knelson Concentrators KC-MD3 Model*. Canada.
- ✓ Duque, P. (2002). *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*.
- ✓ Granja, C. (2011). *Plan de Gestión Integral de Nambija*.
- ✓ INAMHI. (2013). *Mapa de Isotermas e Isoyetas*. Quito.
- ✓ Kellaway, M. W. (1994). *SUMARIO TECNICO DEL PROYECTO NAMBIJA*.
- ✓ Litherland. (1994). *The Metamorphic belts of Ecuador*.
- ✓ Litherland. (1994). *The Metamorphic belts of Ecuador*.
- ✓ Lopez, C. (2006). *Metodología para Determinar el Factor ORG*.
- ✓ MAE. (2013). *Programa de reparación Ambiental y Social*. Quito.
- ✓ Meinert, L. (2000). *Golgs in skarns related to epizonal intrusions*.
- ✓ Navas, S. (2014). *Recuperación de oro por gravimetría centrifuga y flotación de los relaves provenientes de la industria artesanal de La Pangui - Chinapimza*. Loja.
- ✓ Paladines, A. (2010). *Geología y yacimientos minerales del Ecuador*. Loja - Ecuador: Editorial Universitaria UTPL.
- ✓ Pavez, O. (2013). *APUNTES DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES II*. Universidad de Atacama.
- ✓ PRODEMINCA. (2000). *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depositos Porfíricos y Epitermales relacionados con intrusiones de la Cordillera del Condor*. Quito: Vol. 5.
- ✓ Veintimilla, J. (2014). *Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador*. Loja.

ANEXOS

ANEXO 1. Peso específico.

P1= peso del picnómetro vacío

P2= peso del picnómetro + muestra

P3= peso del picnómetro + agua

P4= peso del picnómetro + muestras + agua

$$\gamma = \frac{P2 - P1}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$$

Ensayo 1

P1= 13.16 gr

P2= 15.15 gr

P3= 23.08 gr/cm³

P4= 24.45 gr/cm³

$$\gamma = \frac{15.15 \text{ gr} - 13.16 \text{ gr}}{(23.08 \text{ gr/cm}^3 - 13.16 \text{ gr}) - (24.45 \text{ gr/cm}^3 - 15.15 \text{ gr})} = 3.21 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo 2

P1= 13.16 gr

P2= 15.17 gr

P3= 23.12 gr/cm³

P4= 24.59 gr/cm³

$$\gamma = \frac{15.17 \text{ gr} - 13.16 \text{ gr}}{(23.12 \text{ gr/cm}^3 - 13.16 \text{ gr}) - (24.59 \text{ gr/cm}^3 - 15.17 \text{ gr})} = 3.72 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo 3

P1= 13.16 gr

P2= 15.18 gr

P3= 23.15 gr/cm³


P4= 24.48 gr/cm³

$$\gamma = \frac{15.18 \text{ gr} - 13.16 \text{ gr}}{(23.15 \text{ gr/cm}^3 - 13.16 \text{ gr}) - (24.48 \text{ gr/cm}^3 - 15.17 \text{ gr})} = 2.93 \text{ gr/cm}^3$$

Promedio

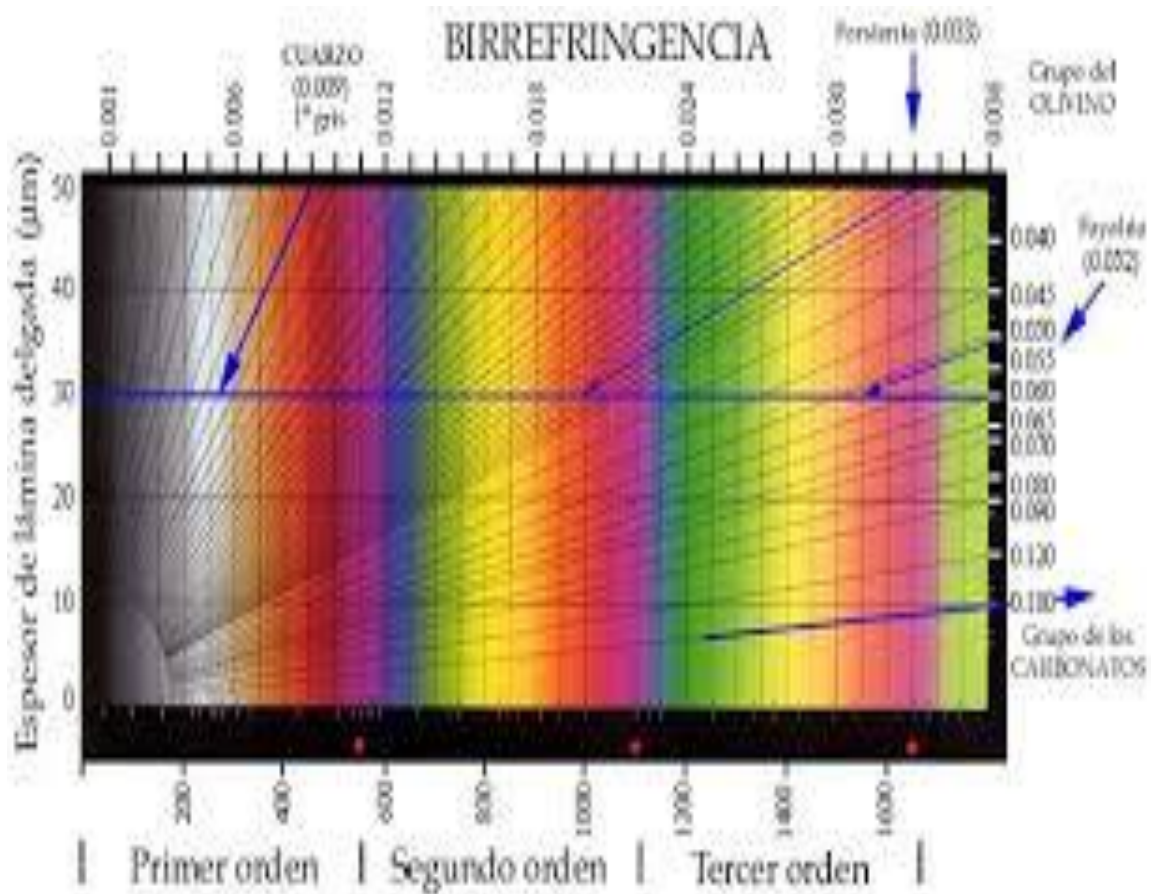
$$\gamma = \frac{3.21 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} + 3.72 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} + 2.93 \text{ gr/cm}^3}{3} = 3.2 \text{ gr/cm}^3$$

ANEXO 2. Análisis mineralógico.

| | | | |
|---|--|------------------|------------|
| UTPL  | DGMIC LABORATORIO DE MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA IDENTIFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS CON LÁMINA DELGADA | | |
| INTÉRPRETE | VALERIA VELEZ- TESISTA DAVID GONZALEZ – TECNICO DE LABORATORIO | | |
| Código de muestra | LD39 | Fecha | 02/02/2017 |
| Microscopio usado: | OLYMPUS BHSM, NUMERO DE SERIE 202443 | | |
| Análisis adicionales: | DRX, FRX | | |
| ORIGEN DE LA MUESTRA | | | |
| PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE, CANTON ZAMORA, PARROQUIA SAN CARLOS, DISTRITO NAMBIJA CONDOMINIO SUR, MINA DE LA FAMILIA MACAS. | | | |
| Coordenadas (WGS-1984) | X: 0743656 | Y:9549760 | Z:1858 |
| Formación geológica: SKARN DE NAMBIJA, FORMACION PIUNTZA | | | |
| DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA | | | |
| ROCA CALCOSILICATADA ATRAVEZADA POR BETAS DEL CUARZO, COLORACION VERDE CLARA | | | |
| DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA | | | |
| Foliación: Roca no foliada | | Fábrica: Al azar | |
| Textura: Granoblástica. Principalmente la roca se forma por granates y piroxenos que dan apariencia granoblástica a la roca. Las vetillas y vetas son abundantes. | | | |
| Estructuras: Vetillas de calcita y vetas de cuarzo | | | |
| Alteración: Ninguna | | | |
| Minerales Principales: | GRANATE 69% | DIÓPSIDO 12% | |

| | | |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| CUARZO 10% | | |
| Minerales minoritarios: | CALCITA 7% | APATITO 1% |
| | | TOTAL MINORITARIOS 8 % |
| Minerales opacos: | Magnetita 1% | |
| | | TOTAL OPACOS 1% |
| Protolito: | Roca carbonatada | |
| Tipo de metamorfismo: | Metasomático | |
| Facies/Zona : | No aplica | |
| Nombre de la roca: | Skarn de Granate – Diópsido | |

Tabla de Birrefringencia.



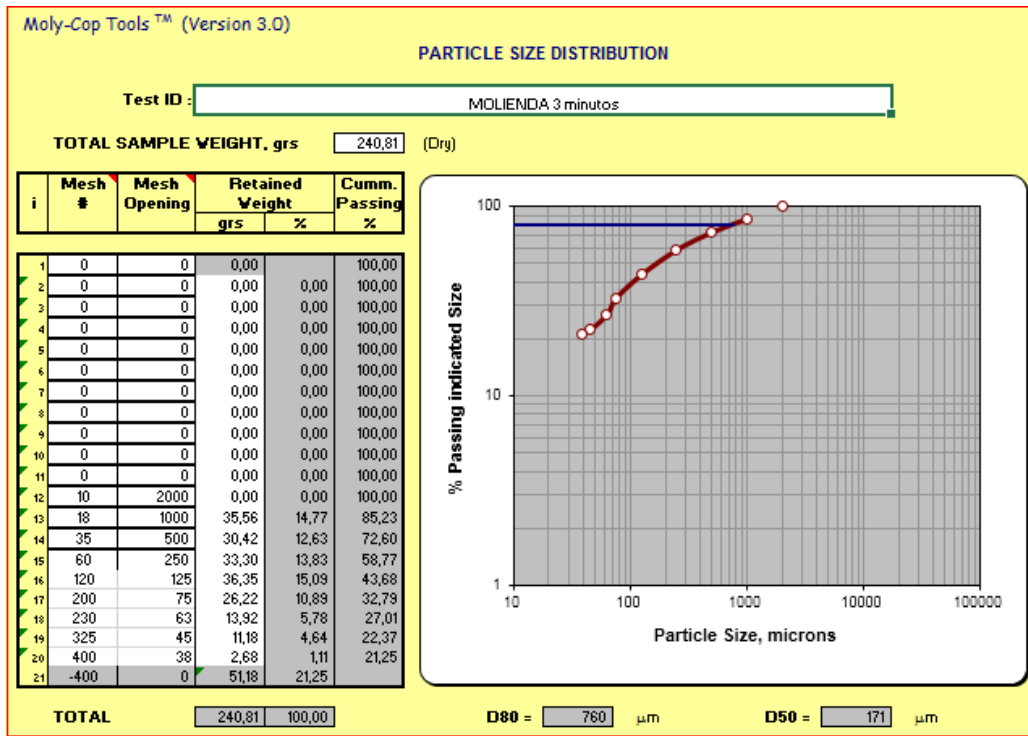
ANEXO 3. LEY DE CABEZA.

Ensayos al fuego para obtener la ley de cabeza.

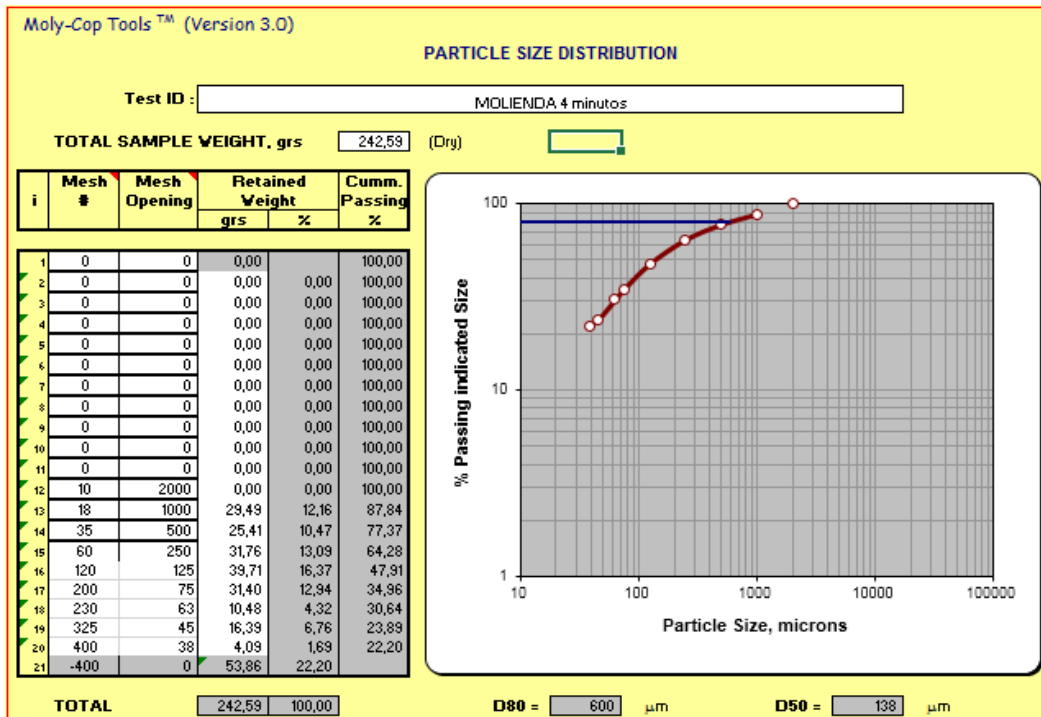
| Código muestra | Peso muestra | Peso Dore | Peso Au | Ley Au |
|-----------------------|---------------------|------------------|----------------|---------------|
| V7 | 30.22 | 0.00041 | 0.00009 | 2.97 |
| V8 | 30.05 | 0.00035 | 0.00008 | 2.66 |
| | | | Promedio | 2.82 |

ANEXO 4. Tiempos de Molienda.

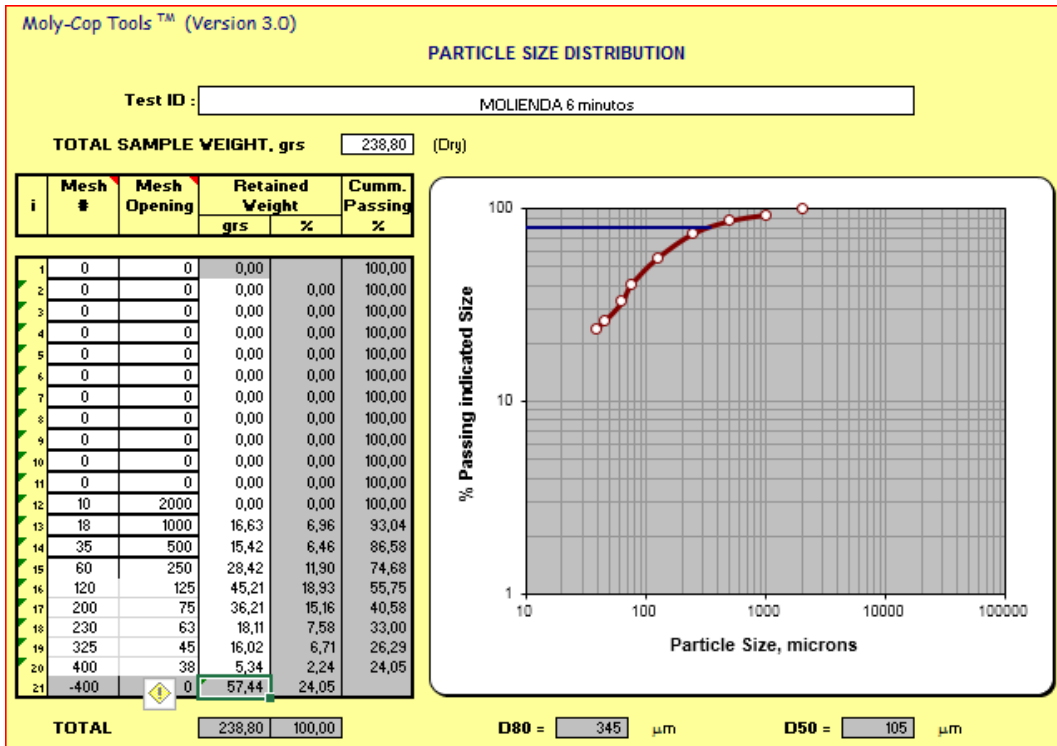
Molienda 3 minutos



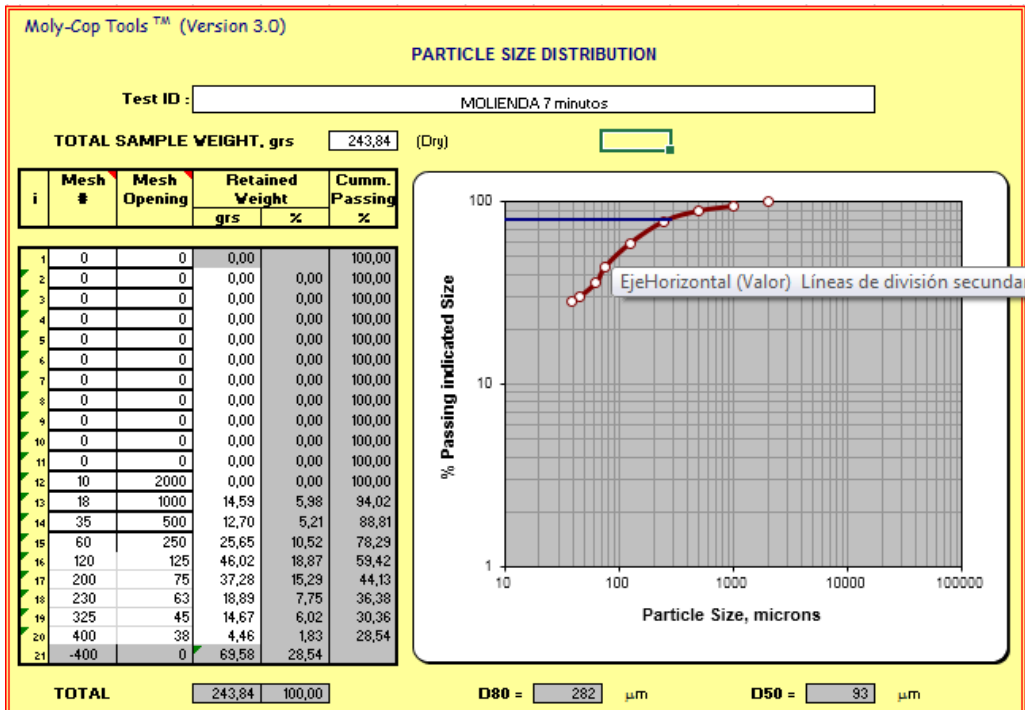
Molienda 4 minutos



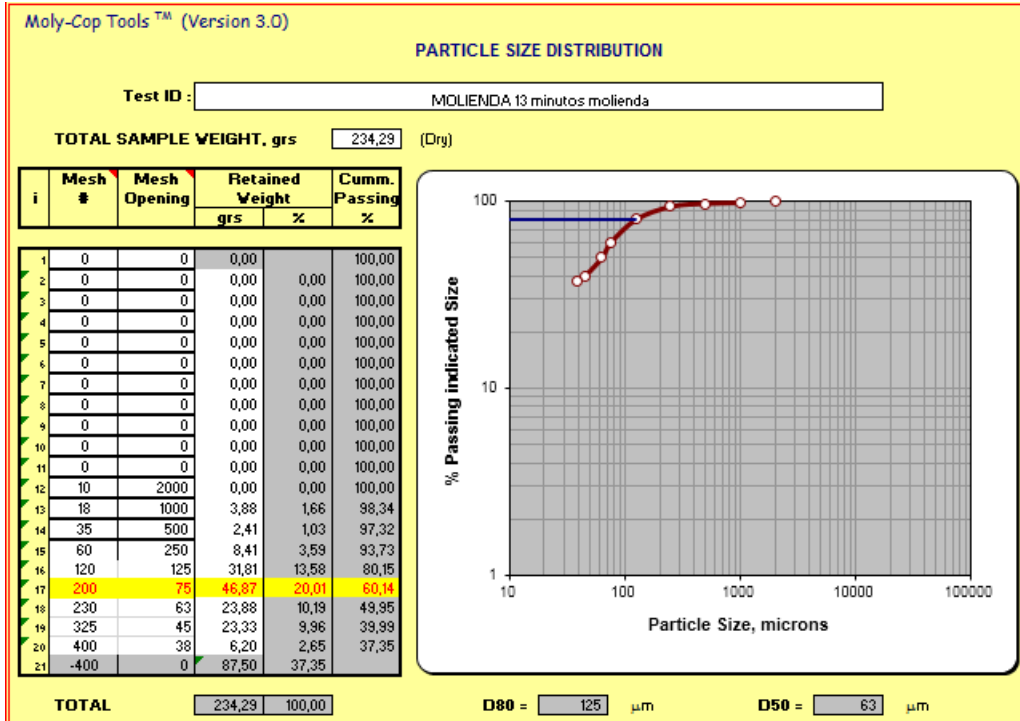
Molienda 6 minutos



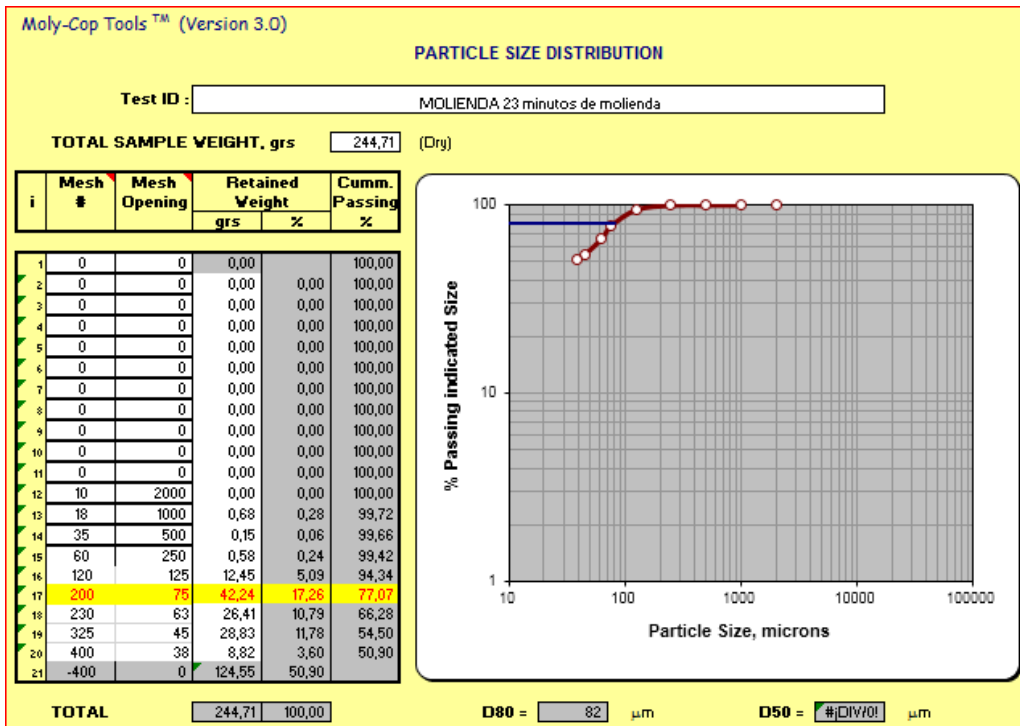
Molienda 7 minutos



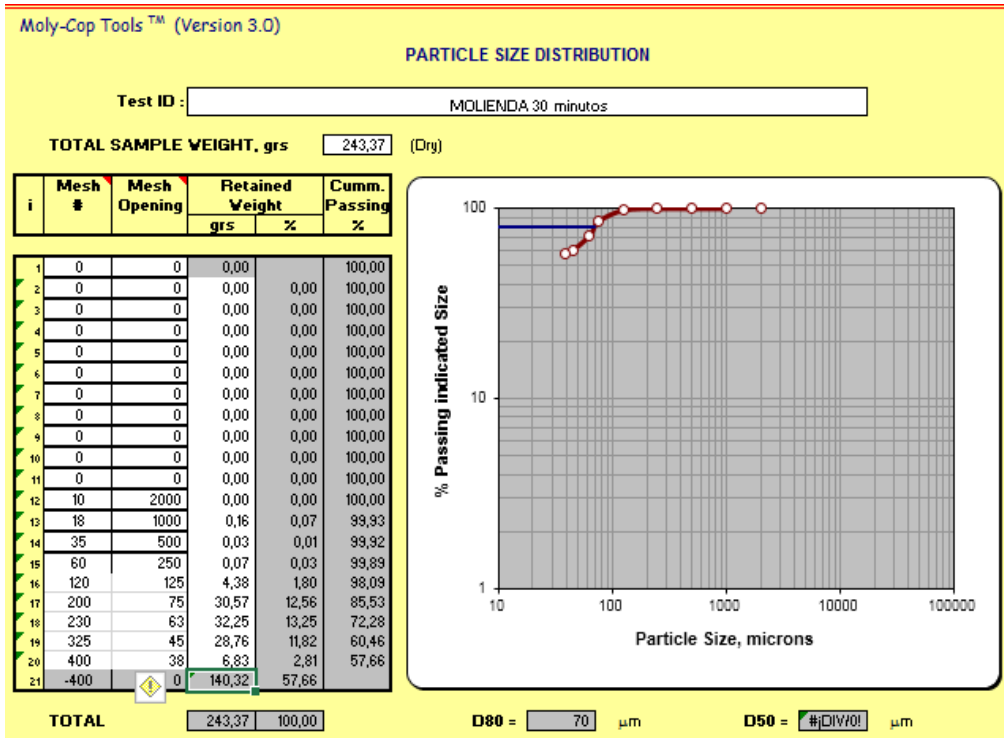
Moliendo 13 minutos



Molienda 23 minutos



Molienda 30 minutos



Molienda 35 minutos

