UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (oro recuperable gravimétricamente) en el equipo Knelson (kc-md3) con material de mina del distrito Nambija –Condominio Norte.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Jaramillo Vásquez, César Emanuel

DIRECTOR: 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

2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN.

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Prueba metalúrgica para determinar el Factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson (KC-MD3) con material de mina del distrito Nambija – Condominio Norte” realizado por César Emanuel Jaramillo Vásquez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre del 2017

f) ……

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Cesar Emanuel Jaramillo Vásquez declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Prueba metalúrgica para determinar el Factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson (KC-MD3) con material de mina del distrito Nambija – Condominio Norte, 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 posible reclamos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de 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 que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.

f) _____

Autor: César Emanuel Jaramillo Vásquez

Cédula: 1104166945

DEDICATORIA

A mis padres y a mis hermanos

por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Al culminar una de las etapas más hermosas de mi vida quiero agradecer a todos quienes hicieron posible este logro tan anhelado.

.

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la fuerza y la fortaleza para seguir adelante, a mis padres porque ellos siempre estuvieron brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona.

A todos los catedráticos por sus enseñanzas, en especial al Magister Víctor Sanmartín y al Ing. Juan Carlos Quintuña por su esfuerzo y dedicación, por sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación que han sido fundamentales para mi formación como profesional.

A mis compañeros y amigos que de una u otra forma han ayudado a mi formación y a la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
INTRODUCCIÓN 3
CAPÍTULO I 4
GENERALIDADES 4
1.1. Antecedentes. 5
1.2. Justificación. 6
1.3. Objetivos. 7
1.3.1. General. 7
1.3.2. Específicos. 7
CAPÍTULO II 8
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO: “SECTOR MINERO 8
2.1. NAMBIJA-CONDOMINIO NORTE 9
2.1.1. Ubicación. 9
2.1.2. Acceso. 9
2.1.3. Clima y vegetación. 10
2.1.4. Geomorfología e hidrología. 11
2.2. Geografía humana. 12
2.2.1. Población aspectos socio-económicos. 12
CAPÍTULO III 13
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICA 13
3.1. Geología regional. 14
3.2. Estratigrafía regional. 15
3.2.1. Unidad Piuntza. 15
3.2.2. Unidad Misahuallí. 16
3.2.3. Complejo Intrusivo de Zamora. 16
3.2.4. Unidad Isimanchi. 16
3.3. Geología local. 16
3.3.1. Mineralogía del skarn. 16
3.3.2. Mineralización de Nambija. 17
CAPÍTULO IV 18
FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) Y CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA KNELSON 18
4.1. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente). 19
4.2. Utilidad del factor ORG. 20
4.2.1. Uso del factor ORG. 20
4.2.2. Concentración centrifuga, “Knelson”. 20

CAPÍTULO V 22
METODOLOGÍA Y EQUIPOS 22
5.1. Muestreo. 24
5.2. Preparación de muestra. 25
5.2.1. Secado. 25
5.2.2. Selección. 26
5.2.2.1. Trituración. 26
5.2.2.2. Cribado. 27
5.2.2.3. Homogenización 28
5.2.2.4. Cuarteo. 28
5.3. Caracterización del material. 29
5.3.1. Peso específico. 29
5.3.2. Análisis granulométrico. 30
5.3.3. Análisis mineralógico. 32
5.3.3.1. Lámina delgada. 32
5.2.5. Difractometría Rayos X. 33
5.3.4. Análisis químico (Fusión-copelación). 34
5.3.4.1. Fluorescencia de rayos X. 38
5.4. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el quipo Knelson. 38
5.4.1. Molienda. 39
5.4.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson. 40
5.4.2.1. Condiciones de prueba. 41
CAPÍTULO VI 44
RESULTADOS 44
6.1. Caracterización de la muestra. 45
6.1.1. Peso específico. 45
6.1.2. Tiempos de molienda para prueba del factor ORG. 45
6.1.3. Análisis químico de cabeza (Ley de cabeza). 46
6.1.3.1. Ley de cabeza. 46
6.1.3.2. Fuorescencia de Rayos X 47
6.1.4. Análisis Mineralógico. 47
6.1.4.1. Análisis Macroscópico 48
6.1.4.2. Análisis microscopio. 48
6.1.4.2.1. Láminas delgadas. 48
6.1.5. Difractometría de Rayos x 50
6.2. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo de concentración gravimétrica Knelson. 53
6.2.1. Prueba No 1. 53
6.2.2. Prueba No 2. 53
6.2.3. Análisis global de la prueba del factor ORG. 54
CONCLUSIONES 57

RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA 59
ANEXOS 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicacion de Sector Nambija 9
Figura 2. Mapa de Acceso del Sector Nambija 10
Figura 3. Mapa Hidrográfico de Nambija 11
Figura 4. Mapa Geológico Distrito Zamora 15
Figura 5. Diagrama que resume la metodología empleada en la investigación. 24
Figura 6. Metodológica para la preparación de la muestra. 25
Figura 7. Curvas granulométricas. Tiempos óptimos de molienda. 46
Figura 8. Curvas granulométricas. Tiempos óptimos de molienda. 52
Figura 9. Gráfico de barras comparativo de las leyes de los concentrados. Prueba 1 y 2. 55
Figura 10. Gráfico de barras comparativo de las leyes de los relaves. Prueba 1 y 2. 55
Figura 11. Grafico comparativo de la distribución del Au y las leyes de recuperación o concentrados. Prueba 1 56
Figura 12. Grafico comparativo de la distribución del Au y las leyes de recuperación o concentrados. Prueba 2. 56

ÍNDICE DE FOTOS

Fotografía1. Muestreo de la mina de A.P.....24
Fotografía 2. Material secándose a temperatura ambiente.....26
Fotografía 3. Trituradora de Mandíbulas RETSCH. 26
Fotografía 4. Malla metálica para cribado.....27
Fotografía 5. Abertura y numeración del 27
Fotografía 6. Homogenización y cuarteo 28
Fotografía 7. Ensayo de picnómetro.....30
Fotografia 8. Serie de tamices usados 31
Fotografía 9. Vibrotamiz RETSCH 32
Fotografia 10. Máquina de corte de rocas 33
Fotografía 11. Equipo de fluorescencia de rayos x. 38
Fotografía 12. Análisis de Difractometria de rayos x.....33
Fotografia 13. Crisoles y Fusión.....34
Fotografia 14. Copelas con la perla de oro.....35
Fotografia 15. Digestion de Dore.....36
Fotografía16. Horno de fusión. 37
Fotografía17. Horno de copelación.....37
Fotografía 18. Molino de bolas. 40
Fotografía 19. Equipo de concentración (KC-MD3 y Agitador).....43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prueba Del Factor ORG 19
Tabla 2. Serie de Tamices usados y sus aperturas. (ASTM) 31
Tabla 3. Condiciones para las pruebas gravimétricas en el concentrador Knelson 41
Tabla 4. Pesos específicos de ensayo de picnómetro. 45
Tabla 5. Tiempos de molienda óptimos para ensayo metalúrgico. 45
Tabla 6. Ley de cabeza 46
Tabla 7. Minerales identificados macroscópicamente. 48
Tabla 8. Minerales analizados microscópicamente y sus porcentajes. 50
Tabla 9. Mineralogía de la muestra del sector Nambija C. Norte, mina A.P por medio de Difractomtría de Rayos X 51
Tabla 10. Porcentajes de fluorescencia de Rayos X. 47
Tabla 11.Tabla de resultados del ensayo metalúrgico. N°1 53
Tabla 12. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico. N°2 54

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Sur Oriente del Ecuador, Provincia de Zamora, Distrito Minero Nambija, Sector Condominio Norte. Se realizó con el fin de determinar el factor E-ORG (Oro recuperable por gravimetría) en material procedente de la mina A.P del distrito minero de Nambija, Condominio Norte.

Para la prueba metalúrgica se utilizó un concentrador Knelson (KC-MD3), equipo que sirve para determinar la recuperación de varios tipos de minerales, en este caso oro. Para ello se realizó, la preparación del material: trituración, molienda, análisis mineralógico, análisis granulométricos, análisis químico y el ensayo metalúrgico que se dió en 3 etapas de molienda y concentración secuencial, ya que se debe tomar en cuenta los parámetros considerados en el test los cuales son: caudal de alimentación (3,5 l/m), presión de agua (1 PSI), y fuerzas de rotación (60 Gs).

El material analizado mediante las pruebas metalúrgicas pertenece a un skarn con un peso específico igual a 2,78 g/cm^3, compuesto principalmente por granate, cuarzo y calcita.

El resultado de la prueba ORG con una ley de cabeza 2,64 (ppm) se reportó un valor promedio entre los dos ensayos como resultado 74,24% de recuperación de oro, bajo las mismas condiciones de operación (**5min** Etapa1= 499 µm, **16min** Etapa 2= 129 µm, **28min** Etapa 3= 84µm).

Palabras Clave: Knelson, metalurgia, oro, concentración, recuperación gravimétrica, centrifuga.

ABSTRACT

The current research was realized in the South Orient of Ecuador, province of Zamora, Mining District, Condominium Section. This research was done with the purpose of determining the factor E-ORG (Gold recoverable Gravimetry) the material that comes from the AP miners District of Nambija, North Condominium.

The concentrator Knelson (KC-MD3) was used for the metallurgical test, this equipment is used to determine the recovery of several types of minerals, Gold in this case. This material was prepared for this, grinding and crushing mineralogical analysis, granularity analysis, chemical analysis and the metallurgical test that was done in three stages of grinding and sequential concentration, these parameters which should be taken in consideration in the test are the base flow feed (3.5 l/m), water pressure (1 PSI), and the rotation force (60 Gs)

The material that was analyzed through the metallurgical tests belong to a skarn with a specific weight equivalent to 2.78 g/cm2 with a mineralogy granite predominant of quartz and calcite.

The result of the ORG test is the head law 2.64 (ppm) was reported with an average value of between two tests resulted in 74.24 %of gold recovery under the same conditions of operation (5min Stage 1=499 um, 16 min Stage 2=129 um, 28 min Stage 3=84 um).

Keywords: Knelson, metallurgy, gold, concentration, recovery gravimetric, centrifuge.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador, es un país rico en explotación de recursos mineros, gran parte en pequeña escala y de manera artesanal, razón por la cual los profesionales mineros se han enfocado en la recuperación y mejoría de las técnicas para un mejor aprovechamiento de los minerales explotados en el sector.

El yacimiento de Nambija es una mina aurífera en el caserío del mismo nombre ubicado en Ecuador. Es el yacimiento más grande de la provincia de Zamora Chinchipe. Se encuentra a 36 km de la ciudad de Zamora, a 2600 metros sobre el nivel del mar. Para llegar a las minas de Nambija existe servicio de rancheras desde el barrio Namírez pasando por la parroquia San Carlos.

Las montañas en las que se localizan están surcadas por numerosas galerías y cavernas donde miles de cateadores emplean métodos tradicionales de extracción, que causan graves accidentes en los que mueren cientos de personas.

"La presente investigación es la aplicación de la prueba metalúrgica para determinar el factor E-ORG, indicador que nos ayuda a tomar en cuenta la concentración gravimétrica como opción para el procesamiento de un mineral" (Lopez C. , 2006), mediante la cual se analiza el oro de mina del sector minero Nambija, Condominio Norte Mina A.P . Debido a que la Minería aurífera es considerada con la actividad más importante dentro del sector previamente escogido.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes.

La pequeña minería artesanal forma parte de una de las actividades más selectas que se practicaban y se conocían en la antigüedad, a su vez nuestro país hace referencia a estas actividades como fructíferas en los pueblos indígenas. La minería se conceptualiza como el proceso mediante el cual se utiliza principalmente instrumentos manuales, se la trabaja de manera colectiva y para que sea posible su subsistencia se recurre a la extracción para obtener volúmenes bajos de mineral.

En el área de estudio, la pequeña minería se remonta en la época de los españoles, que fueron los primeros en hallar el yacimiento y realizar la extracción de oro hasta el siglo XVIII, luego abandonaron el área. Los yacimientos fueron descubiertos por los colonos de la provincia de Zamora Chinchipe. 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 en el mismo sector. El tipo de roca del área consiste 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, los yacimientos continúan siendo explotados por la pequeña minería artesanal y se torna difícil de realizar un control en la zona de estudio. Los impactos ambientales dentro de la minería son consecuencia de la situación ilegal y ausencia en el control de las técnicas de explotación de mineral.

La extracción de oro se realiza por amalgamación al aire libre, debido al uso indiscriminado de mercurio (Hg) por los mineros artesanales y asociado a métodos descuidados de eliminación de relaves, ha causado una importante degradación ambiental.

1.2. Justificación.

Este es un componente del proyecto de vinculación del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, escuela de Geología y Minas, el mismo que pretende evaluar los procesos mineros de la pequeña minería artesanal en el distrito Nambija. En la primera parte, la cual se refiere a mi trabajo de Fin de Titulación; se pretende realizar una prueba metalúrgica utilizando la fuerza centrífuga por medio del equipo KNELSON KC-MD3 y ver el porcentaje de recuperación de Au para el mineral en la planta estudiada.

Cabe recalcar en Plan del buen vivir indica que en el 2016 se erradica el uso de Hg para recuperar los metales preciosos y propone una transformación del sector minero.

La razón primordial por la cual se ha planteado este procedimiento, es que su metodología no implica complejidad en el sistema de trabajo, ya que se utilizan las propiedades físicas de los elementos lo que facilita la investigación, teniendo como objetivo firme la recuperación gravimétrica de oro de mina mediante el Equipo Knelson.

Este proyecto busca la aplicación de procesos más eficientes para la realización de diferentes trabajos en el campo minero y un mejor manejo de los recursos que la sociedad posee, así mismo brindar nuevas iniciativas a las personas que habitan en el sector norte mediante soluciones de fácil acceso en sus labores diarias y mejorar su estilo de vida.

En el área de estudio, el sector de Nambija, la principal actividad económica es la minería, actividad que se realiza de manera artesanal. Los problemas sociales y técnicos del sector son las principales preocupaciones de sus habitantes.

Los procedimientos utilizados para la recuperación del mineral tienen bajo porcentaje de eficiencia y en general solo permiten recuperar el oro grueso. Además, se debe añadir la prohibición del uso de mercurio en las actividades mineras, incluida en la reforma a la ley minera en el año 2013 (PROMEDINCA, 2000).

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

- Determinar el factor E-ORG (oro recuperable gravimétricamente) por medio del equipo KNELSON KC-MD3 con el material de mina A.P del distrito minero Nambija Condominio Norte.

1.3.2. Específicos.

- Determinar la mineralogía por medio DRX, de la mina A.P del CN de Nambija.
- Realizar el análisis químico por medio FRX, de la mina A.P del CN de Nambija.
- Encontrar los tiempos de molienda de la mina A.P del CN de Nambija.
- Evaluar el factor E-ORG con el equipo KNELSON KC-MD3.
- Determinar el porcentaje de recuperación, mediante un Balance Metalúrgico.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO: “SECTOR MINERO

2.1. NAMBIJA-CONDOMINIO NORTE

2.1.1. Ubicación.

El Distrito Minero de Nambija está ubicado en el sureste de Ecuador, en la parroquia San Carlos, al este de Zamora (Ver Figura 1). El área minera de Nambija es de aproximadamente 1 km de largo y 100 m. de ancho y de desconocida profundidad. En la zona existe un yacimiento aurífero, el cual es considerado como el mayor en la provincia. Se ubica a 36 km de ciudad de Zamora, con una altitud de 2600 msnm. Constituye una parte de la región morfo-estructural en la cordillera Nanguipa misma que forma parte de un ramal situado entre la Cordillera Real y la Cordillera del Cóndor.

Figure 1 Mapa de ubicacion de Sector Nambija
Fuente: Google Earth
Elaborado: Google Earth

2.1.2. Acceso.

Al sector Nambija se puede acceder por vía terrestre. Desde la ciudad de Loja se realiza un recorrido de aproximadamente 135 km (ver figura 2) y la vía principal de acceso a la zona es la carretera de segundo orden que une la ciudad de Zamora con Namírez Bajo (a través de la gabarra manual) de donde parte un sendero de herradura de 26 km que llega a la zona minera. Por lo cual el único punto geográfico de penetración hacia la micro región se ubica en el sitio denominado Namírez Bajo. Este recorrido desde la ciudad de Loja se lo realiza en aproximadamente 3 horas.

Figure 2 Mapa de Acceso del Sector Nambija
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

2.1.3. Clima y vegetación.

La vegetación es del tipo floresta fluvial ecuatorial y por lo tanto muy densa, a tal punto que es necesario utilizar machetes para abrir tronchas de penetración. Los afloramientos rocosos mejor expuestos se encuentran en los arroyos, que constituyen a la vez las mejoras vías de acceso.

La vegetación de la zona es escasa, contribuyendo a la erosión rápida, producción de juntas de suelos y deslizamientos de tierra, que ponen en grave peligro a la población en la zona. Además, las condiciones de trabajo son muy rudimentarias, sin ningún tipo de servicios básicos y servicios públicos, tales como alcantarillado, agua potable y electricidad, por lo cual no habido ninguna planificación urbana.

De acuerdo a los datos climáticos tomados de la estación climática del INIGEMM desde agosto del 2012 a julio de 2013, se establece un rango de temperatura entre 11,1 ^{0}C a 25,7 ^{0}C, precipitación máxima de 21,8 mm mensuales, humedad relativa entre 25% y 99 % y velocidad del viento desde 1,2 m/s hasta 4,9 m/s

Según el informe base del Plan de Gestión Integral de Riesgos de Nambija generado por (Granja, 2011), la precipitación alcanza valores entre 2.500 mm a 3.500 mm anuales, siendo los meses entre febrero y julio los más lluviosos, lo que corresponde a un clima templado con variaciones menores a lo largo del año para el sector (MAE, 2015).

2.1.4. Geomorfología e hidrología.

Geomorfológicamente la zona de estudio se localiza a través de una zona montañosa de pendientes abruptas y relieves muy irregulares, favoreciendo valles tipo “V” y la formación de cascadas. La altimetría regional varía desde los 1600 msnm hasta los 2600 msnm (Bravo, 2016).

En cuanto a hidrografía se refiere, el sector forma parte de la cuenca alta del río Nambija, que a su vez tiene una dirección de flujo E-W, también corresponde a la gran cuenca del Rio Zamora. El drenaje principal de Nambija es dendrítico, los drenajes afluentes en su mayoría tienen una orientación perpendicular al drenaje principal coincidiendo con fallas y fracturas que tienen orientación N-S, sin embargo, algunas quebradas han sido desviadas de su curso natural con el fin de aprovechar sus aguas en las labores mineras del sector (Peñafiel, 2015, pág. 12).

Sus principales afluentes son: la quebrada de la Iglesia, quebrada Tierrero I, quebrada Tierrero II, quebrada Fierro y otros afluentes perennes y estacionarios que pertenecen al rio Nambija (Ver figura 3).

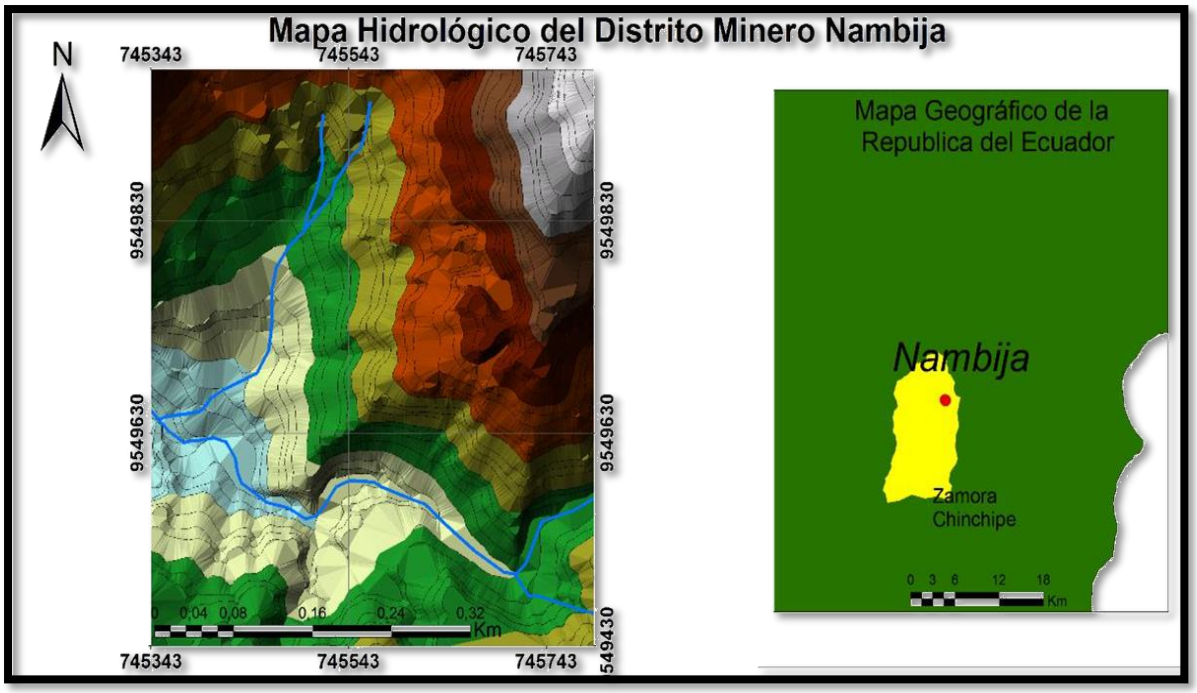


Figure 3 Mapa Hidrográfico de Nambija
Fuente: (Bravo, 2016)
Elaborado: (Bravo, 2016)

2.2. Geografía humana.

2.2.1. Población aspectos socio-económicos.

Es necesario recalcar tanto los aspectos sociales como económicos que constituyen una parte fundamental al estudiar las condiciones generales de las actividades extractivas en general, que a su vez comprenden estructuras de pensamiento y paradigmas de precepción que organizan la vida comunitaria y que permiten la obtención de diferentes actividades laborables, es decir en el trabajo en minería (Veintimilla Granda, 2014).

En la actualidad Nambija se halla parcialmente vacío, se han explotado la mayoría del mineral útil, solo permanecen pocas asociaciones pequeñas y mineros particulares.

A esta realidad económica se suma el análisis de ciertos aspectos como el mejoramiento de calidad de vida en la comunidad, la falta de empleo, mejoramiento en los indicadores del desarrollo humano en el sector, sin embargo, no se llega a cumplir a pesar del movimiento económico en el sector.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICA

3.1. Geología regional.

Al hablar de geología en el distrito minero de Nambija la principal herramienta de información es el mapa geológico del Sur del Ecuador, a escala 1:500 000 realizado por el proyecto de la Cordillera Real (Litherland, 1994).

El distrito minero de Nambija se ubica en la zona subandina, es el lado plegado de la Cuenca Marginal Preandina, sin embargo, comprende los yacimientos y depósitos de 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 (PRODEMINCA, 2000).

La zona de Skarn de Nambija pertenece a rocas volcano-sedimentarias e intrusivas hipoabisales, localizáda en la parte central del Subdistrito Cumbaratza del Batolito Jurásico de Zamora, lo cual tiene dirección N-S y cerca de 50km. de largo por 20 km de ancho.

Las rocas de skarn del sector muestran estructura masiva, con un volumen de grano que va de fino a medio, a su vez su color por lo general es amarillo verdoso con tonalidades color ladrillo por la presencia de granates. Se localizan en la zona de contacto de las rocas volcánicas de la Formación Piuntza con el batolito de Zamora y los pórfidos post-batolíticos del Jurásico Superior (Ver figura 4). En el área del yacimiento el intrusivo, está representado por rocas monzo-dioritas de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático (PRODEMINCA, 2000).

El sector de Nambija se encuentra en la región morfo estructural de la Sierra del Cóndor en la Zona Subandina.

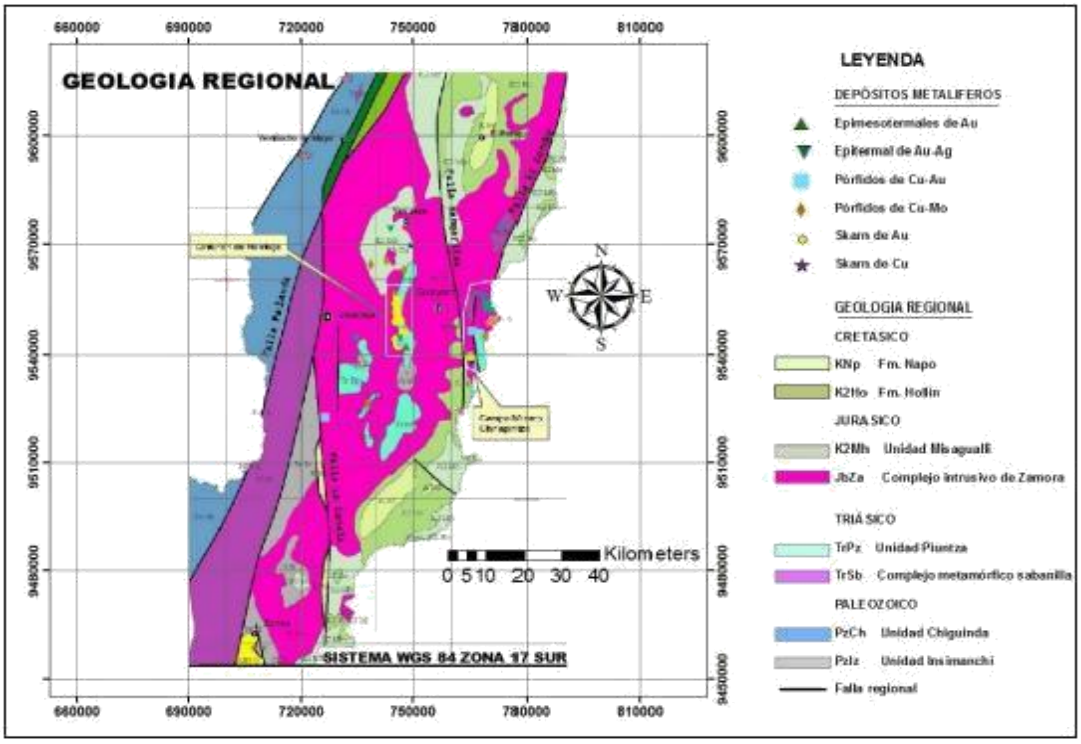


Figure 4 Mapa Geológico Distrito Zamora
Fuente: (PROMEDINCA, 2000)
Elaborado: (PRODEMINCA, 2000)

3.2. Estratigrafía regional.

3.2.1. Unidad Piuntza.

Alcanza una secuencia vulcano sedimentaria con posición sub horizontal de calizas-mármoles, pizarras calcáreas, limonitas, areniscas grauvacas y tobas de grano fino, flujos volcánicos y brechas de composición andesítico-dacítica a basáltica andesítica, teniendo un espesor aproximado de 500 m (Paladines & Rosero, 1996).

Dentro del Cinturón de Nambija la mayor parte se compone en su gran mayoría por la Unidad Piuntza del Triásico Medio Alto al Superior, Unidad que se halla conformada por rocas volcánicas de la Unidad Misahuallí al Norte. La parte basal está cubierta por Calizas y sedimentos epiclásticos, a su vez están inter-estratificados con tobas andesíticas metamorfizadas y brechas en la parte media, mientras que, la parte superior está compuesta de meta-andesitas con intercalaciones menores de sedimentos lacustres. Se pueden observar fósiles bivalvos parcialmente skarnificados y ammonitas de edad triásica (Enrriquez, 2015).

3.2.2. Unidad Misahuallí.

Sobreyaciendo la Formación Santiago y debajo de la Formación Hollín, se compone por rocas volcanicas calco-alcalinas del Jurásico-Temprano. Comprenden principalmente traquitas verdes a grises, tobas y brechas tobáceas violetas a rosadas, lutitas rojas, areniscas y conglomerados. Se ha reportado estructuras de pillows en basaltos al este del río Nangaritza (Litherland, 1994)

En las unidades Misahualli y Piunza, se han determinado numerosos diques, pequeños stocks e intrusiones más jóvenes de edad Cretácica a Cenozoica.

3.2.3. Complejo Intrusivo de Zamora.

El cinturón de Nambija está rodeado y subyacido por el Batolito de Zamora, éste tiene una composición diorítica-granodiorítica de edad Jurásica, es calificado 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 50 km de ancho. Sin embargo, varios cuerpos de pórfido de cobre más jóvenes han sido descubiertos. En el área de Nambija se pueden localizar rocas intrusivas como dioritas, microdioritas, cuarzo-dioritas, cuarzo-monzodioritas, cuarzo-monzonitas, granodioritas, leucogranitoides, etc. (Hammarstrom, 1992; (Paladines & Rosero, 1996).

3.2.4. Unidad Isimanchi.

Es un segmento de la Formación Macuma de edad Carbonífera, presenta pizarras, filitas (localmente grafitosas) y esquistos en facies de esquistos verdes y anfibolitas. Las rocas volcanicas calco-alcalinas de la unidad Misahuallí se hallan sobrepuestas en el cinturón en el extremo Norte. (Bravo, 2016)

3.3. Geología local.

3.3.1. Mineralogía del skarn.

La mineralogía en Skarn de Nambija es cartografiable en el campo sobre todo la "alteración" y sirve como la más amplia guía para encontrar un potencial cuerpo mineralizado, sin embargo, el reconocimiento de características distales de alteración puede ser de importancia crítica en las primeras etapas de exploración. Detalles de la mineralogía de skarn y zonificación puede ser usado para construir los modelos de depósitos específicos de la exploración, así como los modelos de utilidad más general en el desarrollo de programas de exploración de base o de síntesis regionales (PRODEMINCA, 2000).

La petrografía de los skarns de Nambija muestran una variación desde rocas monominerales de granate a protolito incipientemente skarnificado, compuesto por rocas volcanoclásticas andesíticas con alteración propilítica (clorita, tremolita, actinolita, epidota, prehnita). La skarnificación incipiente se identifica por cristales aislados de granate nucleados en vetillas clorita-calcita, y localmente piroxeno y grupos de epidota. Existe una gradación completa en la mineralogía del skarn, desde solo con granate o sólo con piroxeno. El sistema de Nambija es oxidado y pobre en Fe, por tanto, el mineral es abundante y existe una falta relativa de sulfuros de Fe (Enrriquez, 2015).

3.3.2. Mineralización de Nambija.

En Nambija, la mineralización se encuentra en un área extensa, es de origen hidrotermal, pero coincide con un skarn típico, sin embargo el oro aparece dentro de vetas de cuarzo localmente acompañado por carbonato, clorita, epidota y feldespato potásico, por lo tanto pueden aparecer cantidades secundarias de pirita, menores de calcopirita y trazas de pirrotina, magnetita, esfalerita, galena y teluros, frecuentemente estos sulfuros están en un contenido menor al 1% del total y no poseen una asociación fuerte con el contenido de oro (PRODEMINCA, 2000).

En el Distrito Minero Nambija la principal mineralización es de Au, pero a su vez se reportan asociaciones porfídicas de Cu-Au y Cu-Mo. El Au nativo puede presentarse en granos de diferentes milímetros hasta de tamaño macroscópico, así mismo el Au aparece generalmente libre y tiene una pureza de alrededor de 90%, con un porcentaje de plata de 7-10% (PRODEMINCA, 2000).

CAPÍTULO IV

FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) Y CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA KNELSON

4.1. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente).

La prueba del Factor ORG, es un ensayo metalúrgico que está conformado por tres etapas de molienda y recuperación secuencial. Se trabaja con una molienda creciente con el objetivo de obtener un factor ORG mucho más confiable, a la vez que se puede tener un análisis de la granulometría y la liberación del mineral aurífero en dependencia de la misma (Lopez C. , 2006).

La determinación del factor ORG está basada en el proceso de muestra de 30 kg usando un concentrador gravimétrico Knelson de laboratorio (KC-MD3). La siguiente tabla resume el procedimiento de la prueba (Tabla 1) (Lopez C. , 2006).

Tabla 1 . Prueba Del Factor ORG

Requerimiento de Muestras	40 Kg de muestra son requeridos para la prueba ORG. 30 Kg usados para la prueba ORG en sí y los10Kg restantes para una prueba exploratoria previa.		
	Tamaño de	Variables Operacionales	Muestra a ser analizadas
	Particulas		
	Requerido		
Etapa 1	90 – 100 % -	Flujo de alimentación:	
	850µm	800-1000 g/min. Agua de	Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado.
		fluidización: 3,5 l/min	Ensayo al fuego a 200 g de colas
			La totalidad de las colas pasan a la siguiente etapa
Etapa 2	45 - 60 % - 75	Flujo de alimentación:	
	µm	600-900 g/min. Agua de	Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado.
		fluidización: 3,5 l/min	Ensayo al fuego a 200 g de colas
			La totalidad de las colas pasan a la siguiente etapa.
Etapa 3	75 – 80% -75	Flujo de alimentación:	
	µm	600-900 g/min. Agua de	Ensayo al fuego sobre la totalidad del concentrado.
		fluidización: 3,5 l/min	Ensayo al fuego a 200 g de colas

Fuente: Knelson Gravity Solutions (Lopez C. , 2006)
Elaborado: Knelson Gravity Solutions (Lopez C. , 2006)

4.2. Utilidad del factor ORG.

4.2.1. Uso del factor ORG.

La prueba para determinar el factor ORG puede ser empleada tanto en circuitos existentes, a proyectos de adición, así como proyectos de desarrollo. Mediante la prueba se puede determinar si es aconsejable la instalación de un circuito gravimétrico y sus beneficios económicos, mientras en circuitos existentes se usa en estudios de optimización (Lopez C. , 2006).

Aplicabilidad de la prueba:

Cuando la respuesta del mineral es pobre, la prueba proporciona la información necesaria para descartar la concentración gravitacional con opción de procesamiento. Es necesario conocer que la prueba constituye un elemento relevante, mediante la cual se adquiere un resultado, no precisamente la concentración gravimétrica servirá a favor de los materiales existentes.

La prueba puede ayudarnos a controlar el correcto funcionamiento de un circuito metalúrgico de recuperación, mediante ella podemos identificar diversas fluctuaciones que pueden ser ocasionadas por cambio en la mineralogía o el funcionamiento en si del proceso. El continuo análisis puede ayudar a identificar los factores que están afectando a la recuperación gravimétrica (Lopez C. , 2006).

4.2.2. Concentración centrifuga, “Knelson”.

El principio esencial de la operación en concentradores centrífugos está basado en el crecimiento de la fuerza gravitacional, el cual es un procedimiento que tiene como objetivo elevar la eficiencia cuando se trabaja con partículas finas.

Datos generales relacionados al equipo Knelson:

- Los concentradores Knelson se fabrican desde tamaños de laboratorio hasta unidades de alta producción.
- El concentrador recupera partículas de oro de tamaños que van desde ¼” hasta aproximadamente 1 micrón.

- En estos concentradores el problema de compactación del mineral que pudiese originar la fuerza centrífuga, fue solucionado introduciendo agua a presión en el sistema, contrabalanceando la fuerza centrífuga en el cono de concentración.
- Durante la operación de estos concentradores todas las partículas están sujetas a una fuerza equivalente a 60 g, que es lo que permite que el concentrador pueda recuperar partículas finas.

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA Y EQUIPOS

La parte experimental de la presente investigación se la realizo en los laboratorios del departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil (DGMIC)- utpl.

- Se realizó un muestreo manual en la mina A.P.
- Se efectuó la preparación de la misma para posteriormente realizar los correspondientes análisis (ver figura 5).
- Se tomó una muestra representativa de 2Kg para realizar la caracterización.
- Se experimentó 8 tiempos de molienda con la finalidad de encontrar el tamaño de partícula necesario para realizar la prueba metalúrgica.
- Se determinó el Factor ORG en 3 ensayos a diferente molienda.
- Se realizó el cálculo del porcentaje de recuperación, mediante el balance metalúrgico.

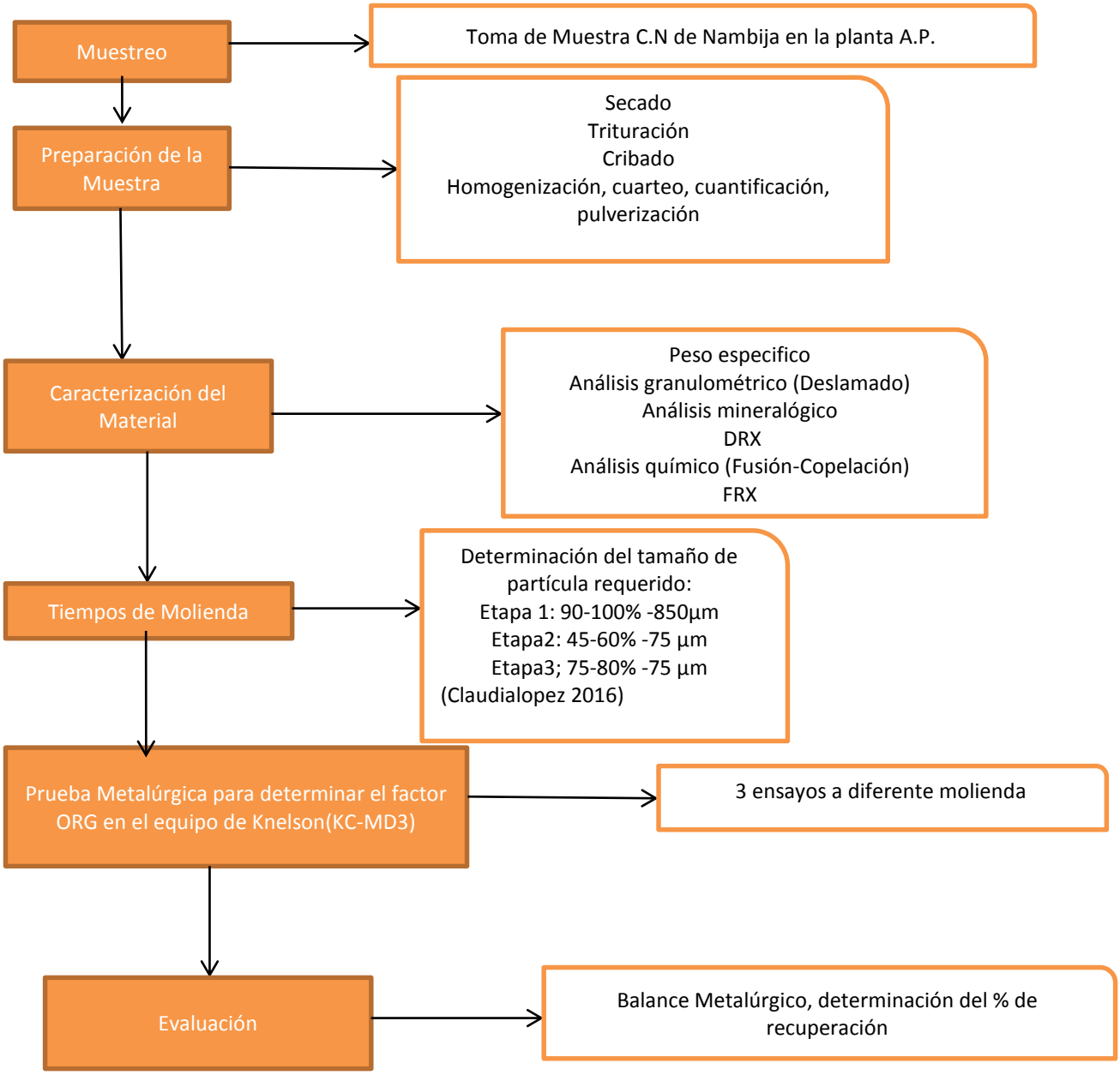


Figura 5. Diagrama que resume la metodología empleada en la investigación.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.1. Muestreo.

El muestreo se efectuó en el sector de Nambija, Condominio Norte dentro de una galería de la Asociación Minera A.P. (ver fotografía 1), cuya bocamina se halla en las coordenadas **X: 0745498 Y: 9549870, a una altitud de 1878 msnm.**

Se procedió de la siguiente manera. Para adquirir las muestras en el Condominio Norte de Nambija, se determinó un lugar viable. Se seleccionó una gran escombrera (volumen de estéril desalojado para explotar la mena) para poder realizar el muestreo.

- Ubicación de la zona de muestreo anotando las coordenadas con el GPS.
- Muestreo: Se localizó el material y de él se extrajo una muestra de roca de aproximadamente 50 kg.
- Tratamiento de muestras: Cada saco de muestras fue etiquetado con su respectivo código, luego fue transportado hasta el laboratorio y guardado en un lugar seguro.

Fotografía1. Muestreo de la mina de A.P
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.2. Preparación de muestra.

Es elemental para acondicionar el material y adquirir buenos resultados, el siguiente diagrama resume el proceso a seguir (ver figura 6).

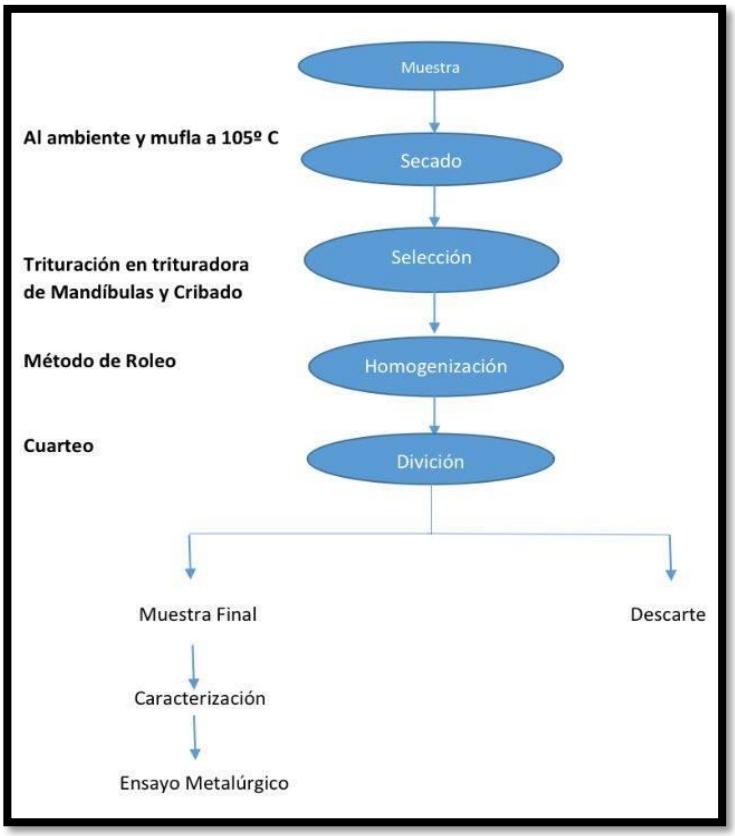


Figura 6. Metodológica para la preparación de la muestra.
Fuente: Jaramillo, 2017
Elaborado: Autor

5.2.1. Secado.

Radica en el secado de la muestra a cierta temperatura. El proceso es el siguiente:

- EL material se esparció y disgregó sobre un plástico (ver fotografía 2).
- Se secó a una temperatura ambiente alrededor de 48 horas.
- Se ubicó en bandejas de pírex con su respectiva etiqueta cada bandeja y se colocó en la estufa (POL-EKO) dentro de 24 horas a una temperatura promedio de 115°C.

Fotografía 2. Material secándose a temperatura ambiente.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.2.2. Selección.

5.2.2.1. Trituración.

Es un proceso para reducir el tamaño de partículas del material para poder obtener una granulometría uniforme, ya que se homogeniza toda la muestra en estado natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales. Para este proceso se manejó una trituradora de mandíbulas, marca RETSCH modelo BB200 (ver fotografía 3). La trituración se realiza de la siguiente manera:

- Calibrar el equipo de trituración para lograr el tamaño deseado.
- Separar los fragmentos de roca con un tamaño mayor 5 pulgadas, es recomendable fraccionar con un combo la roca a fin de evitar atascamientos en la máquina y su proceso sea más rápido.
- Con la mano metálica verter el material en la trituradora y accionar el equipo.
- Este proceso se realizó con aberturas descendentes: 20, 10 y 1mm.

Fotografía 3. Trituradora de Mandíbulas RETSCH.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.2.2.2. Cribado.

El cribado es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual es generalmente una malla estándar. En este caso el método que utilicé fue la malla de corte igual a 100% malla #10 (ver fotografía 4).

Proceso:

- Obtenemos el material para el ensayo, recogemos con la mano recolectora el material triturado para dejar caer sobre la malla de corte (Malla 10#). El material pasante se recolecta y el retenido vuelve a la fase de trituración.
- Se repite el proceso varias veces inclusive que el 100 % de la muestra pase por la malla 10# (ver fotografía 5).

Fotografía 4. Malla metálica para cribado**.**
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Fotografía 5. Abertura y numeración del tamiz (ASTM).
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.2.2.3. Homogenización

La homogeneidad depende del volumen de las partículas por lo que previamente se realiza una trituración y un cribado. Representa el grado de distribución de una propiedad a través de todo el material, sin embargo, varios son los métodos empleados, en esta ocasión se utilizó el método del roleo, mismo que consisten en:

- Colocar el material triturado y cribado sobre un plástico grande que tenga la capacidad de contener la totalidad del material (ver fotografía 6).
- Se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra en estado natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales.
- Se deja caer el material de una esquina a otra, se mezcla sucesivamente y por varias veces todo el material, esta técnica de homogenización se denomina el método de Roleo.

5.2.2.4. Cuarteo.

Técnicamente se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada según el tamaño máximo de partículas. Su procedimiento es el siguiente:

- Dispersar el material sobre un plástico tratando de formar una capa uniforme (ver fotografía 6).
- Sobre la capa se traza una cuadricula de 15cm de largo por 15cm de ancho.
- Se toma de cada recuadro una cantidad similar de muestra hasta tener aproximadamente 1000 gr.
- Se coloca en bolsas plásticas hasta obtener 40kilos, se etiqueta y almacena.

Fotografía 6. Homogenización y cuarteo
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.3. Caracterización del material.

5.3.1. Peso específico.

Es la relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia de un mismo material. Este parámetro se utiliza para la determinación de porcentajes de sólidos y realizar balances de materia.

Para determinar el peso específico del material de mina, se utilizó el método del picnómetro para lo cual, se necesitó un picnómetro de 5 ml de capacidad, una pipeta y una balanza de precisión.

El ensayo se lo realiza de distinta manera:

- Se enjuaga el picnómetro hasta que esté limpio y se pesa. (P1)
- Luego se añade una pequeña fracción de muestra y se pesa. (P2)
- Seguidamente se agrega agua al picnómetro hasta el borde, tapamos, limpiamos el exceso y pesamos cuidadosamente. (P4)
- Se separa la muestra y el agua, se elimina residuos; se llena con agua y se pesa. (P3)
- Finalmente se realizan los cálculos. (El ensayo se repite 3 veces con el fin de realizar un análisis comparativo).

La fórmula a utilizarse es:

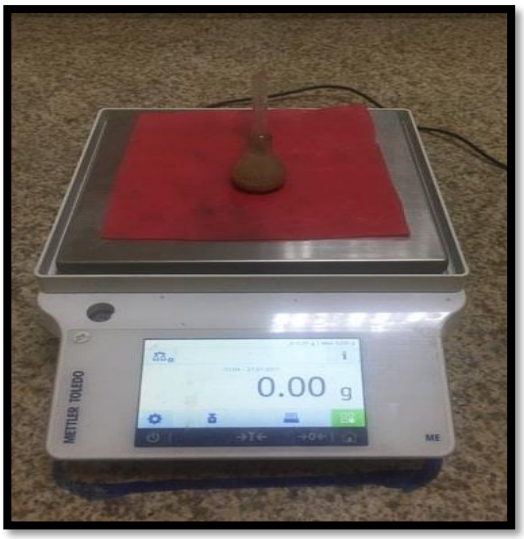
$$\gamma = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$$

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 (ver fotografía7).



Fotografía 7. Ensayo de picnómetro.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.3.2. Análisis granulométrico.

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño, y establecer forma y lotes de las partículas presentes en una muestra de suelo. En la reciente investigación se realizó un análisis granulométrico por tamizado en dos fases:

Fase húmeda (deslamado), sirve para separar la porción más fina del material (lamas: Arcillas y limos) y adquirir una curva granulométrica exacta, se realiza de la siguiente forma:

- La muestra es pasada por estos tamices, en donde la partícula solida retenida en cada tamiz es pesada.
- Luego se pesa el tamiz sin muestra. Al final, la suma de todas las muestras en los tamices debe dar el total de la muestra inicial.
- Se seleccionan, no menos de 250 g de muestra y se coloca en el vibrotamiz RETSCH.
- Se prepara la serie de tamices por donde se hará pasar la muestra, los tamices a utilizar en la experiencia, son los tamices 10, 18, 35, 60,120,230, 325, 400, Base. Esta denominación según la norma ASTM.
- Se configura la máquina y se enciende (durante 10 minutos y con intervalos de vibración de 10 segundos). El material pasante se denomina lamas y se recolectan en un recipiente.
- Los materiales: pasante y retenido, son etiquetados y secados por separado.
- Se cuantifican los pesos de los materiales secos.

Fase seca, es donde se determinarán los datos para realizar los cálculos y las gráficas adecuadas. Se realiza de la siguiente manera:

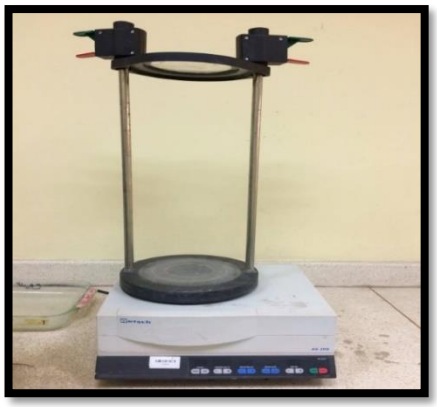
- El material retenido de la fase anterior es tamizado y cuantificado en el vibrotamiz RETSCH (ver fotografía 8) (durante 10 minutos con intervalos de vibración de 10 segundos).
- Se descarga y se cuantifica el material retenido en cada malla (ver fotografía 9).
- Finalmente se realizan los cálculos para determinar la distribución granulométrica.

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

N° 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
Elaborado: Autor

Fotografía 8. Serie de tamices usados para granulometría.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor



Fotografía 9. Vibrotamiz RETSCH
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.3.3. Análisis mineralógico.

5.3.3.1. Lámina delgada.

Son secciones delgadas que se utiliza para análisis mineralógico en rocas a nivel microscópico, en este caso nos permite identificar minerales claros.

Para su análisis y elaboración de la lámina delgada se utilizan los siguientes equipos:

- Máquina de corte de rocas de disco de marca ISOMET LAPRO 1 (ver fotografía 10).
- Pulidora para briquetas marca METASRV,
- Pulidora para secciones pulidas y láminas delgadas PETROPOL BUEHLER,
- Microscopio OLYMPUS BH-2.

Procedimiento:

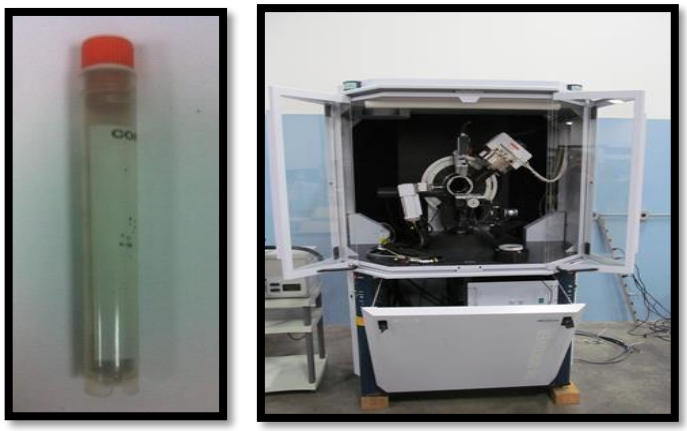
- Se busca una muestra que sea representativa.
- Se elabora una briqueta de roca 4cm x 2,5 cm x 1 cm, que a su vez esta sea colocada y pegada en la porta objetos.
- Se deja secar la muestra en la estufa para eliminar la humedad.
- Se procede a emparejar las caras de la briqueta por medio de papel de lija numerado (#120, 240, 400 rayas, 600 y 800), se debe igualar las caras y eliminar las rayas
- Se prepara una mezcla de resina y endurecedor (en una relación 5:1)
- Se esparce la cara de la briqueta que va a ser pegada para rellenar los poros.
- Se deja secar en la cámara de vacío por un par de días.

- Se pega la briqueta a la porta objetos.
- Se deja secar en un desecador por aproximadamente 3 días.
- Una vez seca y firme se puede realizar los cortes a la briqueta y desbastar hasta obtener una lámina de aproximadamente 0,3 mm de grosor.
- Finalmente se analiza la lámina delgada en un microscopio de luz transmitida.

Fotografia 10. Máquina de corte de rocas de disco de marca ISOMET LAPRO
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.2.5. Difractometría Rayos X.

Para determinar las diferentes fases del material se realiza un análisis de difracción de rayos X (DRX) en el Difractometro Marca Bruker modelo D8 advance, colocando una porción de muestra de material de cabeza para su análisis respectivo. El resultado se muestra en forma de difractograma el cual es analizado por el software llamado EVA y se cuantifica por medio de un programa con el nombre TOPAS (ver fotografía 11).



Fotografía 12. Análisis de Difractometria de rayos x
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.3.4. Análisis químico (Fusión-copelación).

El fire essay es una técnica analítica, empleada para determinar las cantidades de metales preciosos como: oro y plata por medio de la intervención de altas temperaturas y reactivos fundentes.

Fusión

Consiste en la separación de los metales preciosos de los otros componentes de la mena, con la ayuda de un metal colector (plomo), sometiéndolos a 1000°C de temperaturas. El proceso a seguir es el siguiente:

- Pesar 90 gr. de Flux básico
- Pesar 30 gramos de muestra previamente homogenizada y pulverizada.
- Agregar 2,5 gramos de harina (agente reductor).
- Mezclar en un crisol y colocar una capa de flux y bórax al final.
- Fundir en una mufla a 1000°C por un periodo de una hora.
- Terminada la fundición se retiran los crisoles y su contenido se lo coloca en las lingoteras. (Ver fotografía 13).
- Luego separamos el régulo de plomo de la escoria con ayuda de un martillo.
- Finalmente se golpea el régulo hasta darle una forma cúbica.

Fotografia 13. Crisoles y Fusión.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Copelación:

La copelación se encarga de separar el colector (plomo) de los metales preciosos a 900°C (ver fotografía 14.). El procedimiento es el siguiente:

- Preparar el horno de copelación.
- Colocar el régulo de plomo en una copela.
- Introducir la copela en una mufla por un periodo de 2 a 3 horas a una temperatura de 900ºC.
- El resultado final es el dore que está compuesta de oro y plata.
- Finalmente se procede a laminar el dore con el objetivo de aumentar su superficie, para facilitar su digestión y pesado.

Fotografia 14. Copelas con la perla de oro
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Digestión y cuantificación del oro.

Equipo utilizado

La digestión química se realiza con el propósito de separar la plata del oro. Durante el

ensayo se utilizan: una plancha térmica marca IKAMAG-RET-GS, crisoles de porcelana y una campana de extracción. (Ver fotografía 15) El procedimiento es el siguiente:

- Pesar el dore en una micro balanza.
- Realizar un ataque químico con ácido nítrico (NO_3H), en crisoles de porcelana, sobre una plancha térmica a aproximadamente 100°C.
- El ataque se realiza con 3 concentraciones de ácido nítrico diferentes (1:7, 1:3 y 1:1), que contienen una parte de ácido por siete, tres y una de agua destilada respectivamente. Cada dore permanece por un periodo de 10 a 15 minutos con cada una de las concentraciones.
- Luego se lava con agua destilada con mucho cuidado para no perder el oro y se seca a temperatura para luego proceder a pesar.

Fotografia 15. Digestion de Dore
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Digestión para absorción atómica:

Cuando no se puede cuantificar los dores en la balanza se realiza una digestión química con agua regia y se analiza mediante absorción atómica.

- Se ubica el dore en un crisol y se etiqueta.

- Previo se debe preparar agua regia, que es una solución de ácido nítrico y ácido clorhídrico con una relación 1:3, añadimos 10 ml de agua regia al crisol y se expone al calor de una plancha calentadora por 20 minutos hasta que se observe un cambio de color más claro de la solución (evitar que la solución se evapore).
- Con la ayuda de un embudo se verte la solución en un balón y se afora con agua destilada hasta los 25ml. Posteriormente se coloca en un recipiente apropiado y se etiqueta.
- Finalmente se realiza la lectura en el equipo de Absorción Atómica y se calcula las leyes de oro.

Fotografía16. Horno de fusión.
Fuente: (Jaramillo, 2017)**.**
Elaborado: Autor

Fotografía17. Horno de copelación.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.3.4.1. Fluorescencia de rayos X.

La fluorescencia de rayos x es una técnica que permite determinar la composición química de un material, por lo cual se realiza con el equipo marca Bruker modelo S1 de fluorescencia de rayos X (ver fotografía 11). Su procedimiento es el siguiente:

- Se pulveriza una fracción de muestra, entre 15 y 20 g.
- Se coloca en un recipiente apropiado para el equipo, que será colocados en un compartimento en la parte superior de la pistola de rayos X.
- Se configura el equipo en modo de medición con el programa Mining Ligth Elements.
- Se extraen los datos, se anota los números de ensayos y se compara con los análisis mineralógicos y microscópicos.

Fotografía 11. Equipo de fluorescencia de rayos x.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

5.4. Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el quipo Knelson.

La metodología y el procedimiento utilizado para prueba del factor ORG es tomada del protocolo del equipo (ver figura 7).

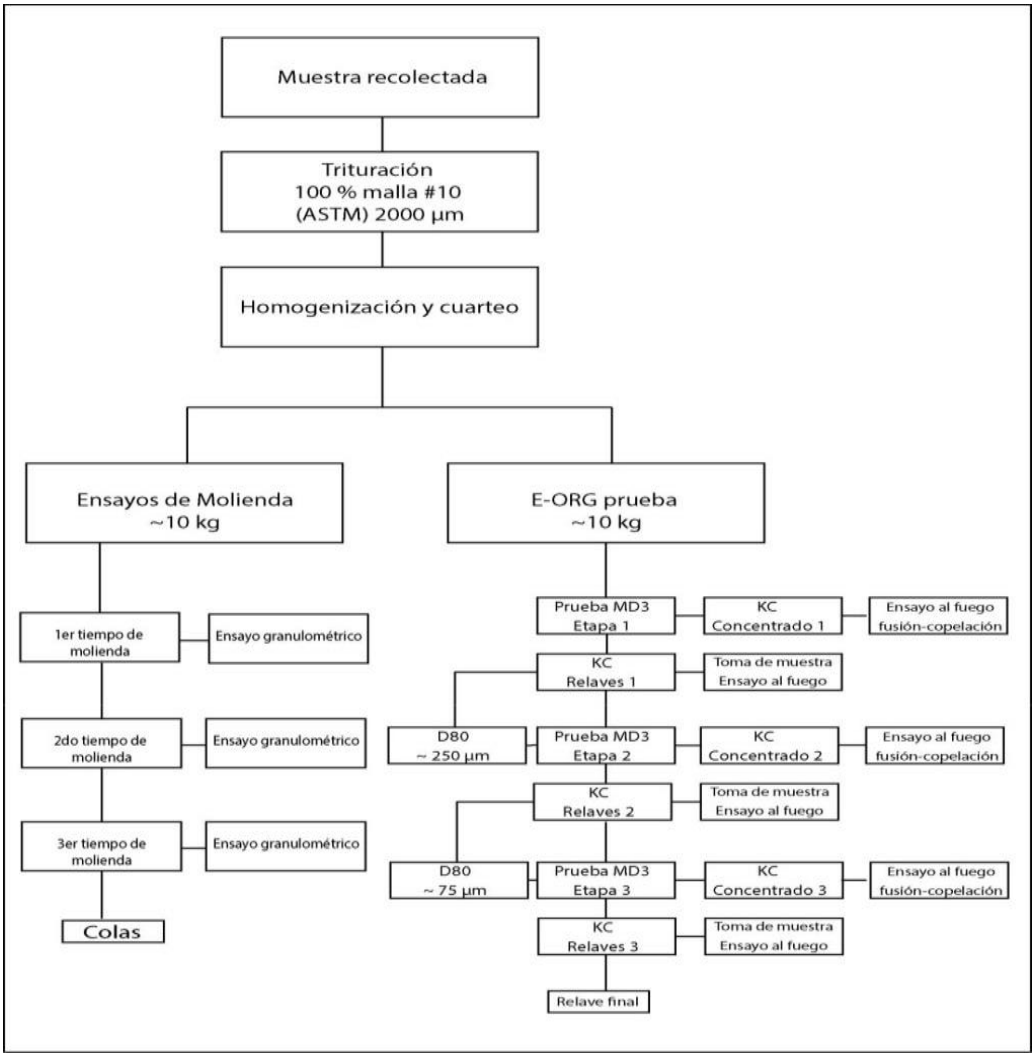


Figura 7. Metodología para prueba del factor ORG.
Fuente: (Smith, 2015)
Elaborado: (Smith, 2015)

5.4.1. Molienda.

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

Parámetros de trabajo del molino de bolas:

- Peso Muestra: 1000 g.
- Volumen de Agua: 1000 ml.
- Dilución S/L: 1/1
- Carga de Molienda (Peso de las bolas de acero): 11,3kg.
- Velocidad Crítica (tc): 72 rpm

Procedimiento:

- Limpiar el equipo de molienda.
- Meter en el cilindro la carga de molienda (bolas de acero); 40% del volumen total.
- Introducir 1000 g de muestra y 1000 ml de agua obtener una relación de pulpa 1:1. Luego colocar la tapa del cilindro y asegurarla.
- Colocar el cilindro sobre los rodillos para que gire constantemente (ver fotografía 14).
- La muestra es molida en tiempos secuenciales (5, 16, 28 minutos en nuestro caso).
- Al concluir con la molienda, se descarga el equipo y se extrae el material en un balde.
- Se seca la muestra en una estufa con una temperatura aproximada de 100°C.
- Se homogeniza, cuartea y extrae una porción de 250 g para análisis granulométrico.
- Se realiza los cálculos y las curvas granulométricas utilizando el software Moly Cop tolos, versión 3.
- Las moliendas exploratorias se las efectuaron con el fin de encontrar el tamaño de grano útil para nuestro análisis.

Fotografía 18. Molino de bolas.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

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

La prueba metalurgia ORG, es un test para determinar la eficiencia en la recuperación de oro de un determinado material en el equipo KC-MD3 Knelson.

Antes de realizar cualquier prueba de concentración se debe constatar el correcto funcionamiento del KC-MD3 Verificar que todo el equipo se encuentra en perfecto funcionamiento y que no haya presencia de residuos de ningún agente extraño en el interior ni en el exterior del concentrador.

5.4.2.1. Condiciones de prueba.

En la siguiente tabla se indica las condiciones para las pruebas gravimétricas en el concentrador Knelson (ver tabla 3).

Tabla 3. Condiciones para las pruebas gravimétricas en el concentrador Knelson

Presión de agua	1, 2, 3 y 4 PSI
Velocidad	60 G´s
Cono	Para oro libre.
Caudal	0.5 - 3 l/min

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Preparación del equipo y primera etapa:

- Colocamos la muestra molida (Primera etapa: 5 min) en el agitador (velocidad de agitación = 350 rpm) y se añade un volumen de agua proporcional para tener una relación de pulpa 2,1 (2 líquidos, 1 solido) durante el tiempo de 10min.
- Se ajusta los parámetros del equipo: rotación igual 60 fuerzas G y 3,5 litros por minuto de fluidización de agua.
- Alimentamos el material desde el agitador con un caudal constante y no muy elevado.
- Una vez vaciado el tanque de alimentación se deja al Knelson funcionando entre 10 y 20 segundos antes de apagarlo.
- Remover el cono concentrador y recolectar el concentrado.
- Al concentrado se lo debe secar, cuantificar, homogenizar y preparar para análisis al fuego.
- Los relaves se secan, se cuantifican, se homogenizan y se cuartean con el afán de obtener una muestra representativa de 200 g para análisis al fuego y el restante de las muestras se procesan para la siguiente etapa.

Etapas 2 y 3:

- Se debe moler las colas del proceso anterior con los tiempos previamente calculados (Segunda etapa: 16; tercera etapa: 28 min).
- Ajustar los parámetros del equipo: 60 fuerzas G de rotación y 3,5 l/min de fluidización de agua.

Colas de la etapa 2:

- Las colas se secan, homogenizan y se extrae una muestra representativa de entre 200 g para análisis al fuego.

Colas de la etapa 3:

- Las colas de la etapa 3, al igual que en las etapas anteriores se deben secar, homogenizar y extraer de ellas 200 g para análisis al fuego.
- Concluida la tercera etapa se da por finalizada la parte experimental de la prueba de concentración; resta realizar los balances metalúrgicos pertinentes y la interpretación de los datos.

Apagado del equipo luego de concentrar:

- Lentamente apagar la alimentación de agua y luego de 3 o 5 segundos apagar el motor.
- Cancelar la fluidización de agua, apagar el equipo y remover y lavar el cono concentrador, secar, pesar y analizar.
- Luego de realizados todos estos procesos se continua con los análisis al fuego para cuantificar los porcentajes de oro de cada etapa, de los concentrados y los relaves.

.

Fotografía 19. Equipo de concentración (KC-MD3 y Agitador)
Fuente: (Jaramillo, 2017)**.**
Elaborado: Autor

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

6.1. Caracterización de la muestra.

6.1.1. Peso específico.

Se realizó el método del picnómetro, el ensayo se repitió tres veces, con el fin de promediar los resultados y obtener el peso específico del material; 2,78 g/cm^3 (ver tabla 4 y anexo 1). que es característico de una roca tipo Skarn, en este caso de un metamorfismo de contacto.

Tabla 4. Pesos específicos de ensayo de picnómetro.

Ensayos Con Picnómetro (g/cm^3)	Peso específico (g/cm^3)
2,71	2,78
2,85	
2,79	

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

6.1.2. Tiempos de molienda para prueba del factor ORG.

Los tiempos de molienda fueron finalizados manualmente, es decir, ensayando una y otra vez hasta obtener los D_{80} deseados. Del total de 8 ensayos realizados 3 sirvieron para determinar los tiempos óptimos (ver tabla 5 y Anexo 3).

Tabla 5. Tiempos de molienda óptimos para ensayo metalúrgico.

Tiempos óptimos de Molienda	D80	D50
5 min	499	215
16 min	129	68
28 min	84	48

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En el siguiente grafico se observa las curvas granulométricas de los diferentes tiempos de molienda que se utilizaron para obtener los tamaños de grano estándar para realizar la prueba del factor ORG (ver figura 7), los tiempos a utilizarse fueron: 5 minutos con D_{80} de 499 µm, 16 minutos con D_{80} de 129 µm y 28 minutos con D_{80} igual a 84 µm.

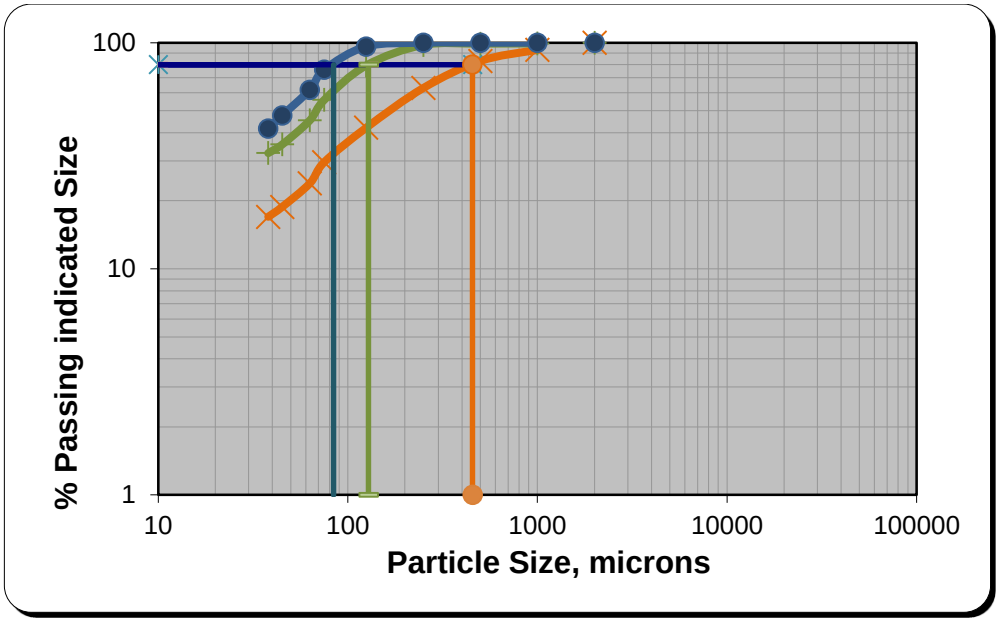


Figura 7. Curvas granulométricas. Tiempos óptimos de molienda.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

6.1.3. Análisis químico de cabeza (Ley de cabeza).

6.1.3.1. Ley de cabeza.

El análisis para determinar la ley de cabeza se realizó por medio de un ensayo al fuego. La ley de oro calculada fue de 2,64 g/tn de Au (ver tabla 6 y Anexo 2), que comparado con cualquier mineral de mina es relativamente alto.

Tabla 6. Ley de cabeza

Ley Au ensayos al fuego(g/tn)	Ley Au de cabeza (g/tn)
2,76	2,64
2,51	

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

6.1.3.2. Fuorescencia de Rayos X.

Los resultados arrojados por el equipo de fluorescencia de rayos X se determinaron para realizar un análisis comparativo con los datos obtenidos en los análisis mineralógicos visuales.

De acuerdo al análisis se determinó la alta presencia de carbonatos (CaO), sílice en alta cantidad, así mismo se destaca los porcentajes de aluminio, datos que ratifica la presencia de plagioclasas.

En la siguiente tabla se presenta los elementos encontrados con su respectivo porcentaje (Ver tabla 10).

Tabla 7. Porcentajes de fluorescencia de rayos X**.**

Fluoresencia de rayos X	
Compuesto	%
MgO	5,93
Al2O3	6,92
SiO2	32,8
P2O5	1,16
Fe2O3	24,8
CaO	22,2
MnO	1,12
Otros	5,07
Total	100

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Gracias a los datos obtenidos en el análisis de fluorescencia se pudo comprobar que los resultados contribuyen la mineralogía, que efectivamente se trata de una roca tipo skarn. Con presencia mayoritaria de minerales como granate, calcita, epidota, cuarzo, sulfuros que pueden ser comprobado por el contenido elevado de óxidos de hierro, silicio, aluminio y calcio (PRODEMINCA, 2000).

6.1.4. Análisis Mineralógico

EL análisis mineralógico se dividió en 3 etapas, análisis macroscópico, análisis microscópico.

6.1.4.1. Análisis Macroscópico

En la muestra de mano y roca triturada se pudo identificar los diferentes minerales:

Granate, Calcita, Cuarzo, Epidota, minerales opacos (Hematita, Pirita), así mismo se observó una vetilla formada por pirita (ver tabla 7).

Tabla 8. Minerales identificados macroscópicamente.

Mineral	Porcentaje
Granate	50%
Cuarzo	25%
Calcita	15%
Pirita	5%
Otros	5%

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

De acuerdo al análisis inicial se identificó la roca como tipo skarn con un gran contenido de carbonatos (calcita) y sus minerales principales son: granate, calcita, cuarzo y minerales opacos en menor cantidad (hematita, pirita) (Ver tabla 7).

En base a los análisis y los resultados obtenidos podemos concluir que verdaderamente es una roca tipo skarn con presencia de sulfuros en poca proporción y granates (Villares, 2011, págs. 24-25)**.**

6.1.4.2. Análisis microscopio.

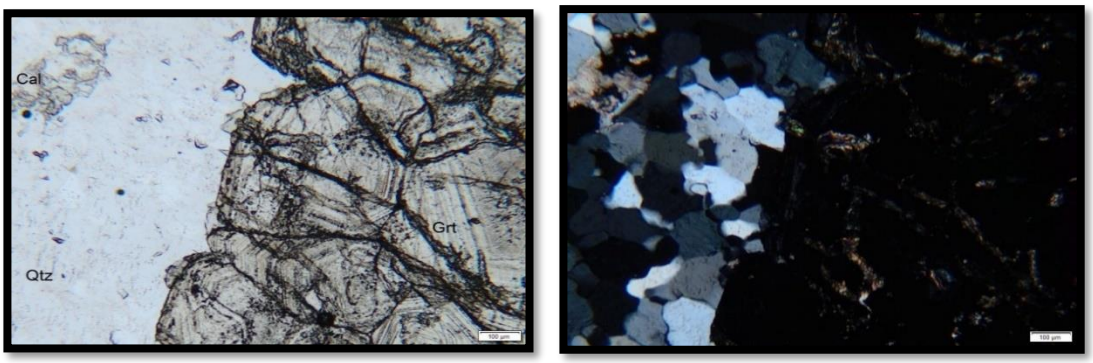
La microscopía se hizo por medio de láminas delgadas.

6.1.4.2.1. Láminas delgadas.

En el análisis de láminas delgadas se busca criterios que nos ayuden a confirmar hipótesis formulada a partir del reconocimiento macroscópico.

Los siguientes son los minerales más representativos que se pudieron observar:

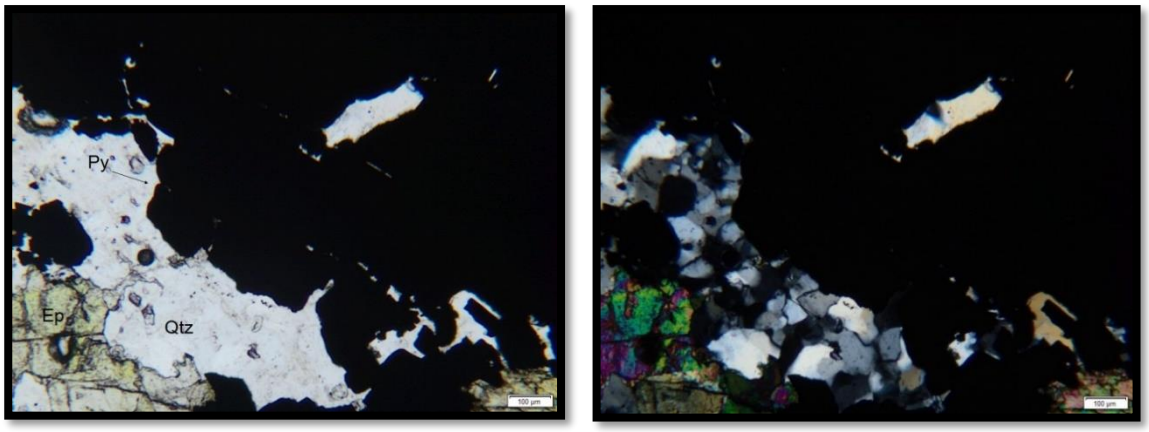
- **Calcita,** cristales romboédricos, alta birrefringencia, pleocroísmo de relieve, foliación evidente. En las fotografías tomadas en el microscopio se puede observar los cristales de calcita (Ver fotografía 19).
- **Cuarzo,** óxido de silicio que se presenta en cristales hexagonales o en masas cristalinas compactas, según la roca metamórfica tipo skarn, se puedo identificar un 20 % de cuarzo de primer orden. Identificado por medio del microscopio de luz transmitida por su birrefringencia grises o blancos (Ver fotografía 20)
- **Granate,** cristales isométricos posee un color gris de primer orden, relieve bajo, se presenta como agregados granulares en vetillas y lentes.



Fotografía 20. Muestra LD-38 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Se aprecia un lente con cristales de cuarzo de color gris de primer orden y el granate isótropo aparece en extinción (LPA).

- **Epidota,** la epidota es un componente común de las rocas, pero su origen es secundario, posee relieve medio color pistacho, pleocroísmo débil de verde a color amarillo, su habito cristalino es de cristales prismáticos o tubulares. La epidota es un componente común de las rocas, pero su origen es secundario.
- **Pirita,** forma parte del grupo de lo sulfuros, su sistema cristalino es cubico, así mismo es frecuentemente macizo, granular fino, algunas veces subfibroso radiado; reniforme, globular. Insoluble en agua, y magnética por calentamiento



Fotografía 21. Se observa una veta de la muestra LD-38 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

Se puede observar un cristal de epidota de color verde pistacho (LPNA) en la esquina inferior izquierda. El mineral opaco es pirita.

En la siguiente tabla podemos observar la distribución de los porcentajes en los minerales analizados, (Ver tabla 8).

Tabla 9. Minerales analizados microscópicamente y sus porcentajes.

Mineral	Porcentaje en lamina
Granates	60%
Cuarzo	20%
Calcita	15%
Epidota	2%
Hematita	1%
Pirita	2%

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

De acuerdo a los estudios señalados por PRODEMINCA en el 2000, según las mineralizaciones en el sector de Nambija presentan vetas de cuarzo, por lo tanto, se las puede asociar a carbonatos, feldespatos, calcita y epidota.

6.1.5. Difractometría de Rayos x

Se tomó 100 g de muestra pulverizada y procedió a analizar en el equipo de Difractometría, para completar el análisis mineralógico, los resultados se observan en la siguiente Tabla 9.

Tabla 10. Mineralogía de la muestra del sector Nambija C. Norte**,** Mina A.P por medio de Difractometría de Rayos X.

Minerales	Porcentaje%
Andradita	24,42
Melanita	31,83
Cuarzo	19,89
Ortoclasa	3,76
Pirita	2,18
Chamosita	8,77
Albita	4,25
Calcita	3,86
Otros	1,03

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En base a la lectura del Difractograma de Rayos X, se obtiene los minerales presentes en la muestra.

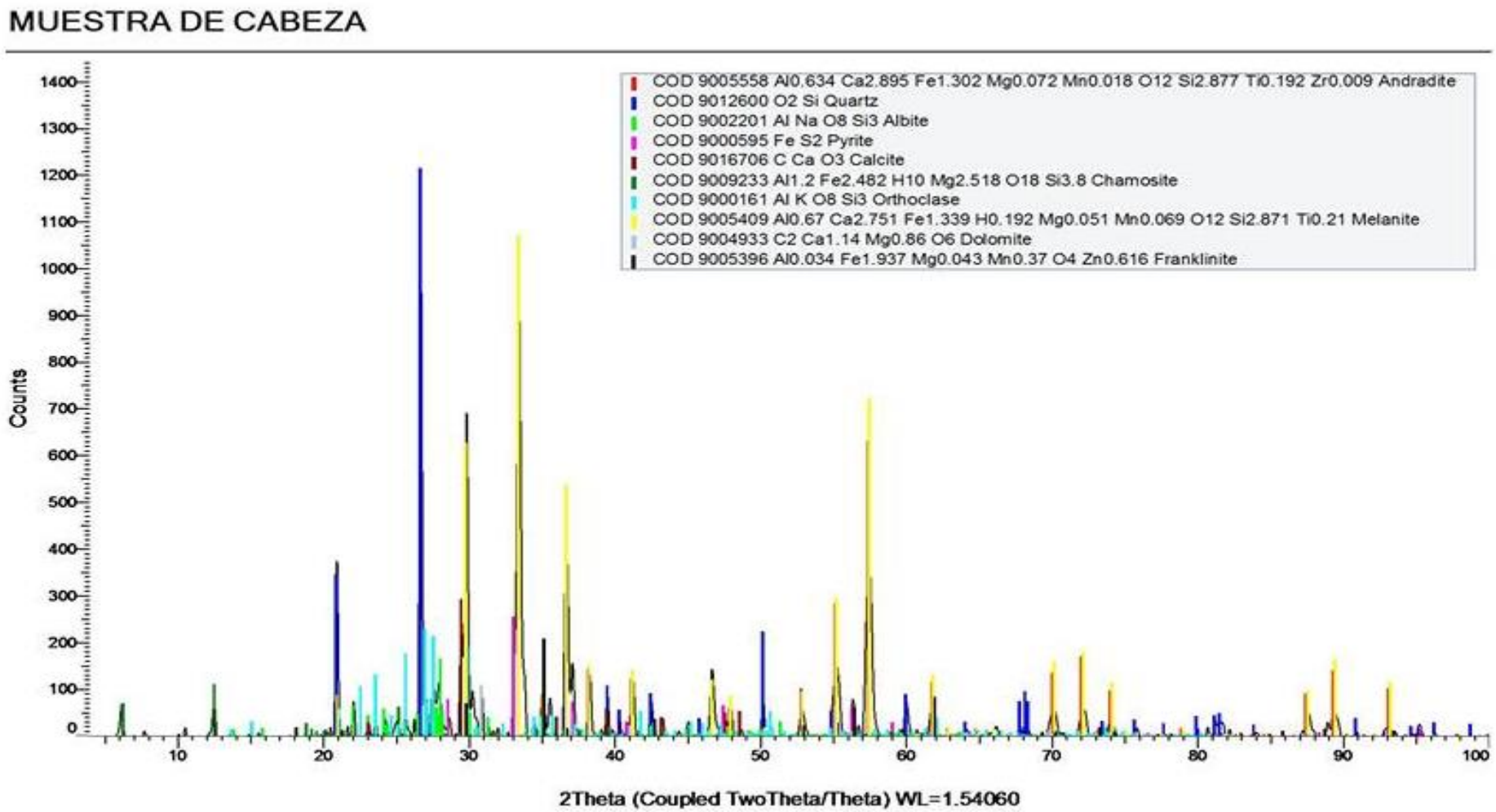


Figura 8. Curvas granulométricas. Tiempos óptimos de molienda.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

De acuerdo con el análisis se muestra que el material estudiado este compuesto principalmente de cuarzo, y una gran variedad de granates como melanita y andradita (clase de los nesosilicatos), en mayor cantidad. También se encuentra en menor proporción ortoclasa, albita (clase de los tectosilicatos), clinocloro y chamosita (filosilicatos), pirita (sulfuros), calcita y dolomita (carbonatos), por último, se observó en pequeñas cantidades de magnetita y franklinita (oxidos).

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

Por medio de las dos pruebas realizadas para determinar el factor ORG se obtuvo los siguientes resultados:

6.2.1. Prueba No 1.

Se inició con 4000 g, su balance metalúrgico es el siguiente (Ver tabla 11):

Tabla 11. Tabla de resultados del ensayo metalúrgico. N°1

Nambija Condominio Norte (Primera Prueba)						
		Masa		Oro	Unidades	DISTRIBUCIÓN
P9= 885 um	Producto	G	%	g/tn	%	
	Cc	50,69	1,40	80,48	112,84	40,48
	Colas	200	5,53	1,62	8,96	3,21
p45 =75um	Cc	33,12	0,92	58,62	53,70	19,26
	Colas	200	5,53	1,12	6,20	2,22
p 75 =75um	Cc	28,42	0,79	39,43	30,99	11,12
	Colas	3103,23	85,83	0,77	66,09	23,71
	Total (Cabeza)	3615,46			278,78	100,00
	Concen K	112,23				
					Factor ORG	70,86

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En base a los datos adquiridos de todo el proceso se utilizaron para realizar el balance metalúrgico. Por lo tanto, los datos iniciales son ley de cabeza de 2,64 g/tn de Au y una masa de 4000 g. Se obtuvo un factor ORG igual a 70,86%.

6.2.2. Prueba No 2.

Se inició con 3.880 g y su balance metalúrgico es el siguiente (Ver tabla 12):

Tabla 12. Distribución de los concentrados del ensayo metalúrgico. N°2

Nambija Condominio Norte (Segunda Prueba)						
		Masa		Oro	Unidades	DISTRIBUCIÓN
P9= 885 um	Producto	G	%	g/tn	%	
	Cc	56,04	1,49	85,27	127,18	46,06
	Colas	200	5,32	1,47	7,83	2,83
p45 =75um	Cc	45,79	1,22	59,23	72,19	26,14
	Colas	200	5,32	0,74	3,94	1,43
p 75 =75um	Cc	12,92	0,34	43,51	14,96	5,42
	Colas	3242,4	86,30	0,58	50,05	18,13
	Total (Cabeza)	3757,15			276,15	100,00
	Concen K	114,75				
					Factor ORG	77,61

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En la prueba 2 se adquiere datos para realizar un análisis comparativo, por esta razón se trabajó una cantidad de muestra diferente, con el fin de observar las tendencias y comprobar los datos obtenidos. El Factor ORG en este caso fue igual a 77, 61%.

6.2.3. Análisis global de la prueba del factor ORG.

En las dos pruebas realizadas valorar el comportamiento del material, donde:

- La recuperación promedio de las dos pruebas fue de 74,24%.
- El oro tiene una mejor liberación mientras más fina es la granulometría (D75 = 75 µm) y se puede demostrar con el aumento de las leyes de los concentrados a medida que la granulometría disminuye de tamaño (Ver tabla 13).

Tabla 13. Comparación de Leyes de concentrados. Prueba 1 y 2

Tamaño de Grano (µm)	Prueba 1 (g/tn)	Prueba 2 (g/tn)
D90 885	80,48	85,27
D45 75	58,62	59,23
D75 75	39,43	43,51

Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En un gráfico de barras se observa claramente la tendencia de las leyes de los concentrados (ver figura 9).

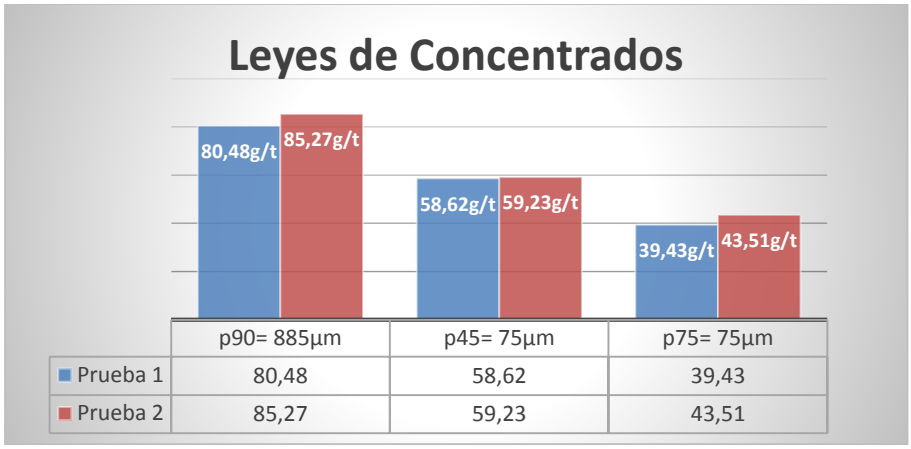


Figura 9. Gráfico de barras comparativo de las leyes de los concentrados, prueba 1 y 2.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

A medida que la ley de concentrado aumenta, las leyes de los relaves tienen a disminuir.

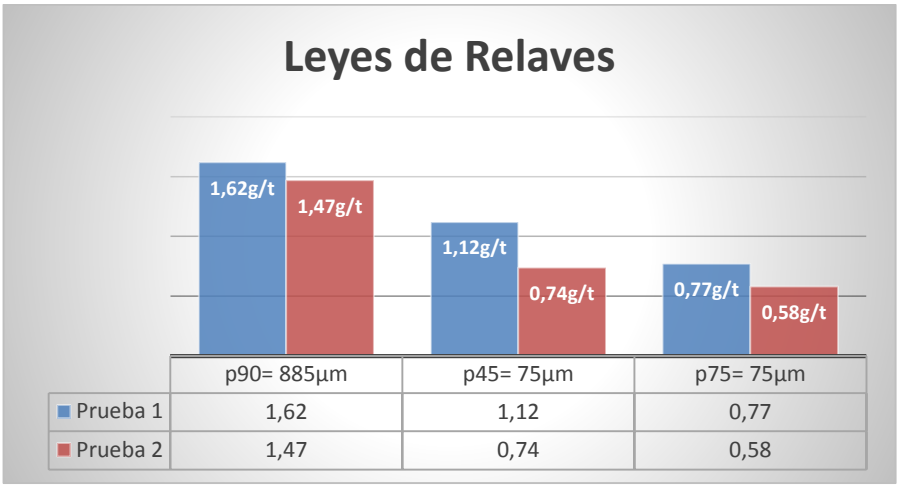


Figura 10. Gráfico de barras comparativo de las leyes de los relaves, prueba 1 y 2.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

En las 2 pruebas realizadas se puede observar una tendencia entre la distribución de las masas y las leyes de concentrados obtenidas (Figuras 11 y 12), una coherencia que se repite en ambas pruebas.

El ensayo se divide en tres etapas:

- En la etapa 1 con una granulometría gruesa representa la fase con contenido de Au más rico y con una baja cantidad de masa en la distribución 40,48 % y 80,48 g/tn de Au en la primera prueba y 46,06 % y 85,27 g/tn de Au en la segunda prueba.
- En la etapa 2 con una baja cantidad de masa en la distribución y los contenidos de Au. 19,26 % y 58,62 g/tn de Au en la primera prueba, sin embargo, en la segunda etapa tiene un aumento relativo en la distribución de 26,14 % y 59,23 g/tn de Au en la segunda prueba.
- En la última etapa muestra un aumento característico en los porcentajes de distribución y en las leyes. 11,12 % y 39,43 g/tn de Au en la primera prueba y 5,42 % y 43,51 g/tn de Au en la segunda prueba.

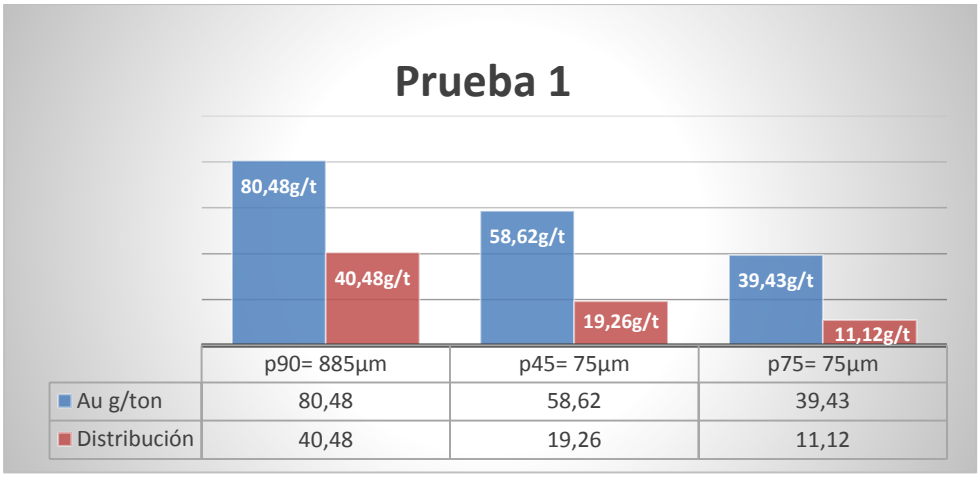


Figura 11. Gráfico comparativo de la distribución del Au y las leyes de recuperación o concentrados. Prueba1.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

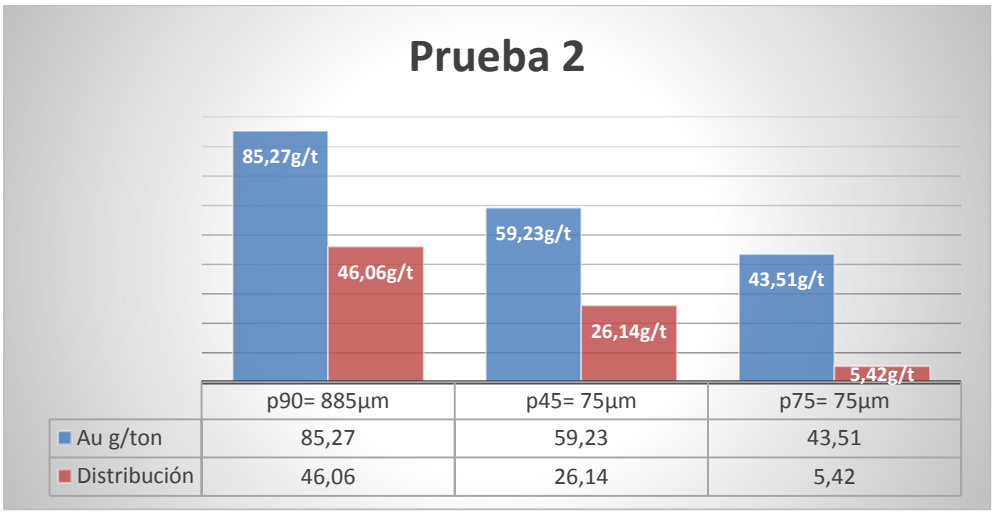


Figura 12. Gráfico comparativo de la distribución del Au y las leyes de recuperación o concentrados. Prueba 2.
Fuente: (Jaramillo, 2017)
Elaborado: Autor

CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis mineralógico se determinó que el material utilizado en los ensayos pertenece a una roca tipo skarn, producto de un metamorfismo de contacto.

- En base al análisis mineralógico se pudo identificar los diferentes minerales obtenidos macroscópicamente de una roca tipo skarn: Granates 60%, cuarzo 20%, calcita 15%, epidota 2%, pirita 2%, hematita 1%.

Datos que podemos relacionar en base a la difractometria de rayos x

Cuarzo 19,89%, andradita 24,42%, ortocalasa 3,76%, pirita 2,18%, chamosita 8,77%, albita 4,25%, calcita 3,86%, melanita 31,83% y otros 1,03.

- La investigación reporta 2,78 gr/cm3 de peso específico para el mineral de la mina A.P Distrito Nambija Condominio Norte.

- Según el análisis granulométrico del material obtenido en la mina A.P del Distrito Nambija "Condominio Norte se encontró los diferentes tiempos de molienda necesarios para alcanzar las granulometrías optimas, basándose en el reglamento de la prueba factor ORG. Los tiempos de Molienda son los siguientes:
  D90= 885µm con un tiempo de 5 minutos
  D45= 75µm con un tiempo de 16 minutos
  D75= 75µm con un tiempo de 28 minutos

- Mediante el Factor ORG y de acuerdo a los rangos de recuperación se puede decir que en el presente estudio se ha tenido una recuperación aceptable o buena con un porcentaje promedio de 74,24% de recuperación, teniendo como base su ley de cabeza de 2,64 gr/ton. Partiendo de que una recuperación inferior a 20% es pésima y una recuperación superior al 80% es excelente se puede catalogar este factor ORG como aceptable y satisfactorio, ya que lo que se busca es una máxima recuperación para aprovechar al máximo la riqueza del material.

RECOMENDACIONES

- Para optimizar la concentración es recomendable verificar que el equipo (Knelson) esté limpio, que las mangueras y conductos alimentadores no estén obstruidos, limpiar el cono del concentrador (KC-MD3) y finalmente realizar un control minucioso de las variables de operación del equipo, fluidización, presión, fuerzas G, y constatar que la alimentación sea constante y uniforme.
- Tener siempre en cuenta la correcta manipulación de los equipos a utilizar, si se tiene alguna duda preguntar al tutor responsable antes de realizar alguna operación. Es necesario tener a disposición todo el equipo y material antes del prendido del mismo.
- El proceso de homogenización del material no se debe dejar pasar antes de cualquier ensayo, ya que los minerales pesados tienden a asentarse en el fondo.
- La Prueba metalurgia se realizó bajo las pruebas estándares a una velocidad 60g, ya que dependiendo de la variación tanto de la fluidización como de la velocidad es recomendable trabajar con 120G, s para ver si aumenta la recuperación requerida.
- Se recomienda que al momento de obtener el peso específico del material se manipule bien el picnómetro ya que de no ser así los resultados obtenidos serán muy erróneos.

BIBLIOGRAFÍA

Bravo, J. (2016). Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (oro recuperable gravimétricamente) en el equipo Knelson (kc-md3) con material de mina del distrito Nambija –Condominio Norte. Loja.

Enrriquez, Y. (2015). Recuperación de oro por gravimetría del mineral proveniente del Distrito. Loja.

Granja, R. (2011). Plan de Gestión Integral de Riesgos de Nambija: línea base del plan. Quito.

Jaramillo, C. (2017). Pesos especificos de ensayo de Picnometro.

Knelson, C. (2003). User Manual Knelson Concentrators KC-MD3 . Canada.

Litherland. (1994). The Metamorphic belts of Ecuador. Ecuador: Volumen 3.

Lopez, C. (2006). Metodologia para determinar el factor ORG. 2006.

MAE. (2015). Diagnostico Socio Ambiental de la zona minera de Nambija. Quito.

Paladines & Rosero. (1996). Zonificacion Mineralogica del Ecuador. Quito: Laser Editores.

Pavez, O. (2008). Concentradores Centrifugos, Apuntes concetracion de Minerales II, Dpt de Ingeneria Metalurgica. Atacama.

Peñafiel, P. J. (2015). ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN EL SECTOR "EL TIERRERO" DE LA MINA. Quito.

PRODEMINCA. (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depositos Porfidicos y Epitermales relacionados con intrusiones de la Cordillera del Condor. Quito: Vol. 5.

PROMEDINCA. (2000). Distrito Minero de Zamora. Zamora Chinchipe.

Smith, F. (2015). Metodologia de prueba para el factor ORG.

Veintimilla Granda, J. E. (2014). Veintimilla, J. (2014). Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador. Loja. Loja.

Villares, F. (2011). Depósitos de tipo skarn.

ACDI. (1987). Informe de Prefactibilida Geológico Metalogénico de la Zona Sur del Yacimiento Aurífero de Nambija.

ECUADOR, F. G. (AGOSTO 1994). Sumario tecnico del proyecto de nambija.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de peso específico

Ensayo	P1	P2	P3	P4	Ensayos Con Picnómetro (g/cm3)	Peso específico g/cm3
1	13,19	13,57	23,37	23,61	2,71	2,78
2	13,18	13,58	23,37	23,63	2,85	
3	13,21	13,60	23.35	23,60	2,79	

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

P1	Peso del Picnómetro
P2	Peso del Picnómetro + muestra
P3	Peso del Picnómetro + agua
P4	Peso del picnómetro+agua+muestra

Anexo 2. Ley de cabeza

Ley de cabeza

Código muestra	Peso muestra	Peso Dore	Peso Au	Ley Au
CJ1	32.06	0.00035	0.00009	2.76
CJ2	31,81	0.00029	0.00008	2.51
			Promedio	2.64

Ley de Ensayos Al Fuego (ppm)	Ley de Cabeza (ppm)
2,76	2,64
2,51	

Anexo 3. Tiempos de moliendas óptimos

Datos de molienda

Molienda N°		1	Tiempo (min)	4
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,47	317,47	0	
18	288,61	311,37	22,76	
35	315,08	347,34	32,26	
60	238,72	288,47	49,75	
120	281,09	327,07	45,98	
200	266,31	293,56	27,25	
230	275,03	284,02	8,99	
325	218,12	230,92	12,8	
400	265,13	267,87	2,74	T.Lam
-400	358,92	360,20	1,28	
	Lamas		37,63	38,91
		total	241,44	

Molienda N°		3	Tiempo (min)	5
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,45	331,45	0	
18	288,62	306,16	17,54	
35	315,31	339,47	24,16	
60	238,91	288,01	49,1	
120	281,21	332,79	51,58	
200	266,36	296,93	30,57	
230	275,12	289,24	14,12	
325	218,10	230,64	12,54	
400	265,16	269,58	4,42	T.Lam
-400	358,89	363,96	5,07	
	Lamas		36,61	41,68
		Total	245,71	

Molienda N°		2	Tiempo (min)	6
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331.44	331,44	0	
18	288,62	301,43	12,81	
35	315,06	332,07	17,01	
60	238,72	284,32	45,6	
120	281,05	337,20	56,15	
200	266,23	300,07	33,84	
230	274,97	290,15	15,18	
325	218,12	230,14	12,02	
400	265,09	268,31	3,22	
-400	358,92	361,50	2,58	
	Lamas		45,52	48,1
		Total	243,93	

Molienda N°		4	Tiempo (min)	10
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,47	331,47	0	
18	288,66	295,65	6,99	
35	315,08	319,95	4,87	
60	238,74	263,43	24,69	
120	281,05	344,92	63,87	
200	266,24	310,27	44,03	
230	274,97	294,33	19,36	
325	218,10	235,55	17,45	
400	265,10	271,57	6,47	
-400	358,90	364,20	5,3	
	Lamas		54,45	59,75
		Total	247,48	

Molienda N°		5	Tiempo (min)	13
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,46	331,46	0	
18	288,62	292,42	3,8	
35	315,08	316,69	1,61	
60	238,74	248,62	9,88	
120	281,22	339,97	58,75	
200	266,26	318,18	51,92	
230	274,95	297,05	22,1	
325	218,11	238,77	20,66	
400	265,11	271,49	6,38	
-400	358,90	365,54	6,64	
	Lamas		46,69	53,24
		Total	228,34	

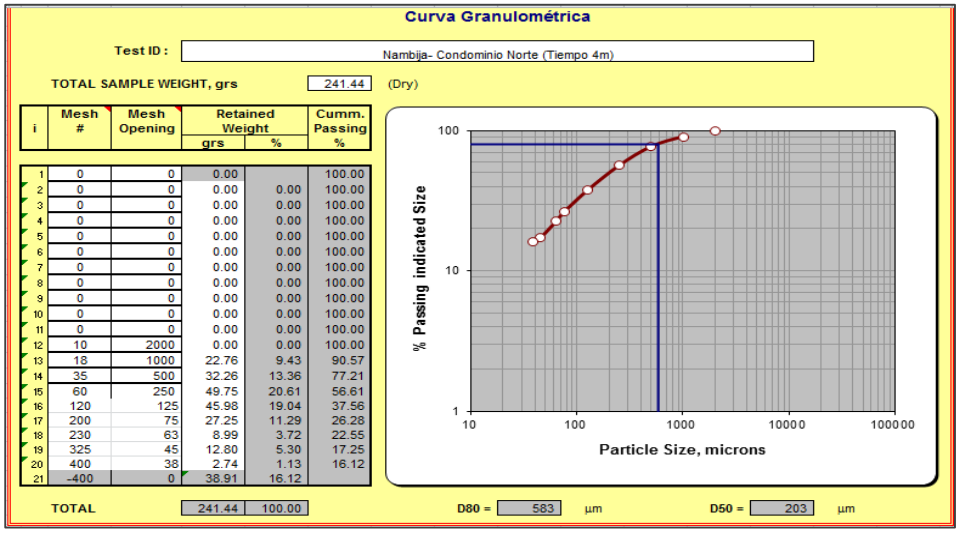
Molienda N°		6	Tiempo (min)	16
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,49	331,49	0	
18	288,80	290,80	2	
35	315,15	315,74	0,59	
60	238,89	241,95	3,06	
120	281,27	324,59	43,32	
200	266,80	322,41	55,61	
230	275,31	300,11	24,8	
325	218,33	241,74	23,41	
400	265,65	272,67	7,02	
-400	358,90	367,24	8,34	
	Lamas		68,76	77,10
		Total	236,91	

Molienda N°		7	Tiempo (min)	25
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,45	331,45	0	
18	288,62	289,01	0,39	
35	315,09	315,16	0,07	
60	238,75	238,96	0,21	
120	281,08	294,28	13,2	
200	266,36	317,74	51,38	
230	275,10	307,18	32,08	
325	218,13	247,46	29,33	
400	265,25	278,56	13,31	
-400	358,88	369,90	11,02	
	Lamas		86,05	97,07
		total	237,04	

Molienda N°		8	Tiempo (min)	28
Pesos				
No.	Tamiz	Tamiz + Muestra	Retenido	
10	331,45	331,45	0	
18	288,78	288,90	0,12	
35	315,07	315,13	0,06	
60	238,76	239,90	0,14	
120	281,19	289,49	8,3	
200	266,43	311,60	45,17	
230	275,04	306,40	31,36	
325	218,08	249,82	31,74	
400	265,13	278,34	13,21	
-400	358,88	371,12	12,24	
	Lamas		81.00	93,24
		total	223,34	

Anexo 4. Curvas Granulométricas de los ensayos de molienda

1ra prueba: 4 minutos



i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	22.76	9.43	90.57
14	35	500	32.26	13.36	77.21
15	60	250	49.75	20.61	56.61
16	120	125	45.98	19.04	37.56
17	200	75	27.25	11.29	26.28
18	230	63	8.99	3.72	22.55
19	325	45	12.80	5.30	17.25
20	400	38	2.74	1.13	16.12
21	-400	0	38.91	16.12	

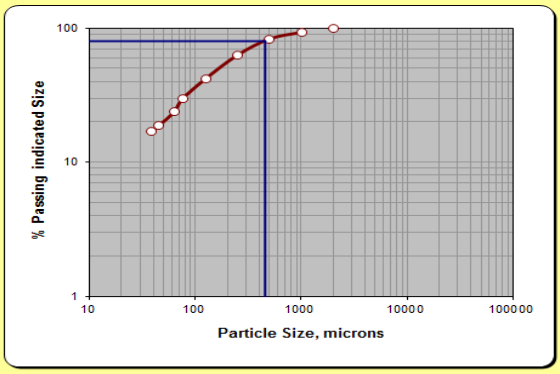
2da prueba: 5 minutos

Curva Granulométrica

Nambija- Condomio Norte (Tiempo 5min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs: 245.71 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	17.54	7.14	92.86
14	35	500	24.16	9.83	83.03
15	60	250	49.10	19.98	63.05
16	120	125	51.58	20.99	42.05
17	200	75	30.57	12.44	29.61
18	230	63	14.12	5.75	23.87
19	325	45	12.54	5.10	18.76
20	400	38	4.42	1.80	16.96
21	-400	0	41.68	16.96	
TOTAL			245.71	100.00	



D80 = 455 µm D50 = 168 µm

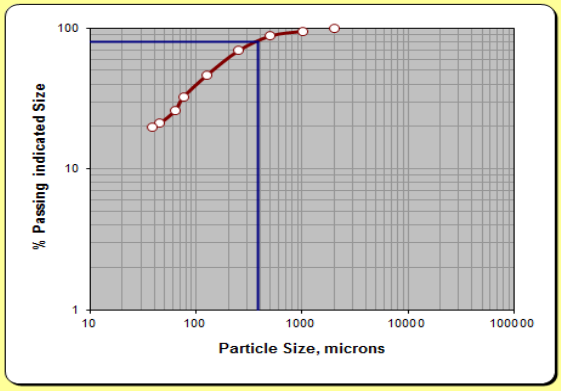
3ra Prueba: 6 minutos

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 6min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs: 243.93 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	12.81	5.25	94.75
14	35	500	17.01	6.97	87.78
15	60	250	45.60	18.69	69.08
16	120	125	56.15	23.02	46.06
17	200	75	33.84	13.87	32.19
18	230	63	15.18	6.22	25.97
19	325	45	12.02	4.93	21.04
20	400	38	3.22	1.32	19.72
21	-400	0	48.10	19.72	
TOTAL			243.93	100.00	



D80 = 382 µm D50 = 144 µm

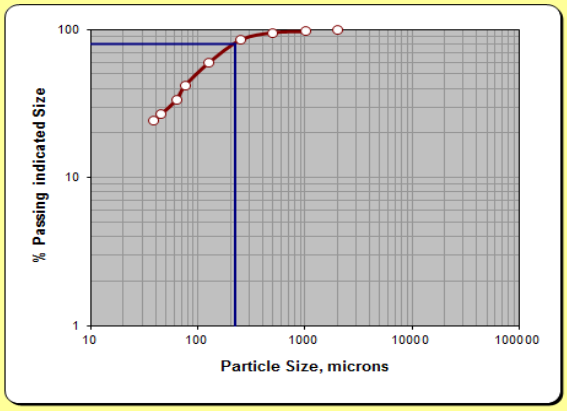
4ra Prueba: 10minutos

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 10min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs: 247.48 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	6.99	2.82	97.18
14	35	500	4.87	1.97	95.21
15	60	250	24.69	9.98	85.23
16	120	125	63.87	25.81	59.42
17	200	75	44.03	17.79	41.63
18	230	63	19.36	7.82	33.81
19	325	45	17.45	7.05	26.76
20	400	38	6.47	2.61	24.14
21	-400	0	59.75	24.14	
TOTAL			247.48	100.00	



D80 = 221 µm D50 = 98 µm

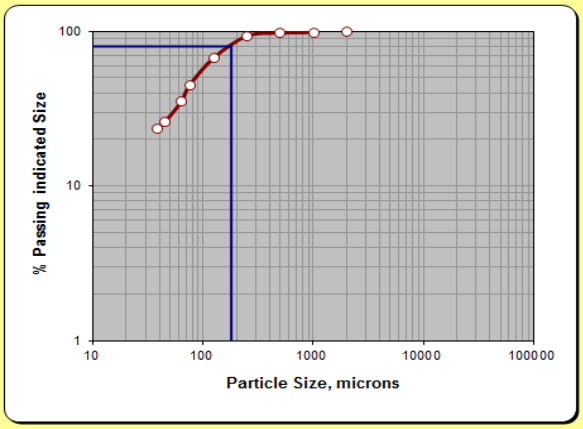
5ta prueba: 13min

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 13min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs 228.34 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	3.80	1.66	98.34
14	35	500	1.61	0.71	97.63
15	60	250	9.88	4.33	93.30
16	120	125	58.75	25.73	67.57
17	200	75	51.92	22.74	44.84
18	230	63	22.10	9.68	35.16
19	325	45	20.66	9.05	26.11
20	400	38	6.38	2.79	23.32
21	-400	0	53.24	23.32	
TOTAL			228.34	100.00	



D80 = 180 µm D50 = 86 µm

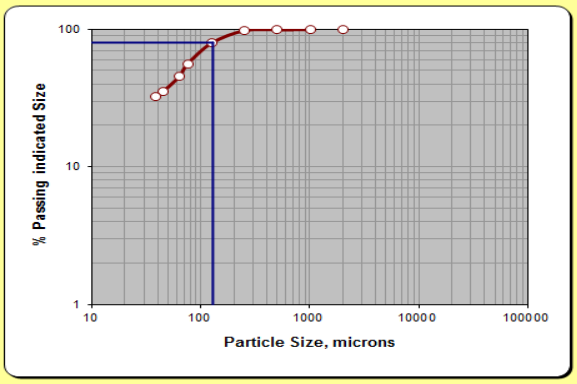
6ta prueba: 16min

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 16min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs 236.91 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	2.00	0.84	99.16
14	35	500	0.59	0.25	98.91
15	60	250	3.06	1.29	97.62
16	120	125	43.32	18.29	79.33
17	200	75	55.61	23.47	55.86
18	230	63	24.80	10.47	45.39
19	325	45	23.41	9.88	35.51
20	400	38	7.02	2.96	32.54
21	-400	0	77.10	32.54	
TOTAL			236.91	100.00	



D80 = 129 µm D50 = 68 µm

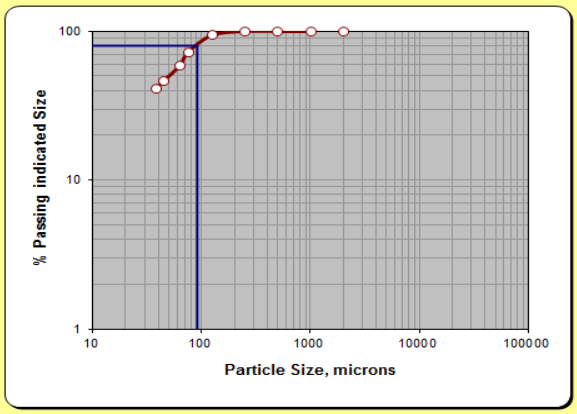
7ta prueba: 25min

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 25min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs 237.04 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	0.39	0.16	99.84
14	35	500	0.07	0.03	99.81
15	60	250	0.21	0.09	99.72
16	120	125	13.20	5.57	94.15
17	200	75	51.38	21.68	72.47
18	230	63	32.08	13.53	58.94
19	325	45	29.33	12.37	46.57
20	400	38	13.31	5.62	40.95
21	-400	0	97.07	40.95	
TOTAL			237.04	100.00	



D80 = 91 µm D50 = 50 µm

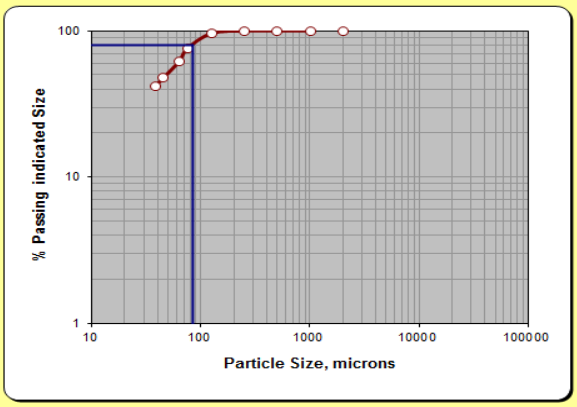
8ta prueba: 28min

Curva Granulométrica

Test ID : Nambija- Condominio Norte (Tiempo 28min)

TOTAL SAMPLE WEIGHT, grs 223.34 (Dry)

i	Mesh #	Mesh Opening	Retained Weight grs	Retained Weight %	Cumm. Passing %
1	0	0	0.00		100.00
2	0	0	0.00	0.00	100.00
3	0	0	0.00	0.00	100.00
4	0	0	0.00	0.00	100.00
5	0	0	0.00	0.00	100.00
6	0	0	0.00	0.00	100.00
7	0	0	0.00	0.00	100.00
8	0	0	0.00	0.00	100.00
9	0	0	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0.00	0.00	100.00
11	0	0	0.00	0.00	100.00
12	10	2000	0.00	0.00	100.00
13	18	1000	0.12	0.05	99.95
14	35	500	0.06	0.03	99.92
15	60	250	0.14	0.06	99.86
16	120	125	8.30	3.72	96.14
17	200	75	45.17	20.22	75.92
18	230	63	31.36	14.04	61.87
19	325	45	31.74	14.21	47.66
20	400	38	13.21	5.91	41.75
21	-400	0	93.24	41.75	
TOTAL			223.34	100.00	



D80 = 84 µm D50 = 48 µm

Anexo 5. Tiempos de molienda seleccionados

MOLIENDA #	Tiempos de molienda(minu)	D80 (µm)	D50 (µm)
1	4	583	203
2	5	455	168
3	6	382	144
4	10	221	98
5	13	180	86
6	16	129	68
7	25	91	50
8	28	84	48

Anexo 6. Ensayo metalúrgico

Balances metalúrgicos

Prueba 1

Nambija Condominio Norte (Primera Prueba)

		Masa		Oro		DISTRIBUCIÓN
	Producto	gr	%	gr/tn	Unidades	
p 90 =885um	Cc	50,69	1,40	80,48	112,84	**40,48**
	Colas	200	5,53	1,62	8,96	3,21
p45 =75um	Cc	33,12	0,92	58,62	53,70	**19,26**
	Colas	200	5,53	1,12	6,20	2,22
p 75 =75um	Cc	28,42	0,79	39,43	30,99	**11,12**
	Colas	3103,23	85,83	0,77	66,09	23,71
	total (Cabeza)	3615,46			278.78	100,00
	Concen K	112,23				

Muestra incial
4446,72
Perdida de mineral
831,26 **70,86**

Prueba 2

Nambija Condominio Norte (Segunda Prueba)

		Masa		Oro		2 DISTRIBUCIÓN
	Producto	gr	%	gr/tn	Unidades	
p 90 =885um	Cc	56,04	1,49	85,27	127,18	**46,06**
	Colas	200	5,32	1,47	7,83	2,83
p45 =75um	Cc	45,79	1,22	59,23	72,19	**26,14**
	Colas	200	5,32	0,74	3,94	1,43
p 75 =75um	Cc	12,92	0,34	43,51	14,96	**5,42**
	Colas	3242,4	86,30	0,58	50,05	18,13
	total (Cabeza)	3757,15			276,15	100,00
	Concen K	114,75				

77,61

Muestra incial
4446,72
Perdida de mineral
689,57

Anexo 7 Análisis Macroscópico

UTPL	DGMIC LABORATORIO DE MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA IDENFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS CON LÁMINA DELGADA		
INTÉRPRETE	César Jaramillo- Tesista David González - Técnico de Laboratorio		
Código de muestra	LD- 38	**Fecha**	02 de febrero del 2017
Microscopio usado:	Olympus BHT- Número de serie 243132		
Análisis adicionales:	Drx, Frx		
ORIGEN DE LA MUESTRA			
Ubicación: Provincia de Zamora Chinchipe – Cantón Zamora- Distrito Nambija "Condominio Norte" Concesión A.P			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 0745498	Y: 9549870	Z: 1878
Formación geológica: Piunza			

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

En la muestra de mano y roca triturada se pudo identificar los diferentes minerales:
Granate, Calcita, Cuarzo, Epidota, minerales opacos (Hematita, Pirita), así mismo se observó una vetilla formada por pirita.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Foliación: Roca No foliada	Fábrica: al azar	
Textura: Principalmente la roca se forma por granates que dan apariencia granoblástica a la roca. Las vetillas y vetas son abundantes		
Estructuras: Vetillas de cuarzo – Pirita, Vetillas de Calcita		
Alteración: Ninguna		
Minerales Principales:	Granate 60% Cuarzo 20%	TOTAL 95%
	Calcita 15%	
Minerales minoritarios:		
	Epidota 2%	TOTAL 2%
Minerales opacos:	Hematita 1%	
	Pirita2%	TOTAL 3%
Protolito:	Calizas	
Tipo de metamorfismo:	Contacto	
Facies/Zona :	No aplica	
Nombre de la roca: Skarn de Granate		