



# 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 Sur.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTOR:** Marcheno Revilla Jefferson Michael

**DIRECTOR:** Sanmartín Gutiérrez, Víctor Aurelio

LOJA – ECUADOR

2015



*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, 2015

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Víctor Sanmartín Gutiérrez

Docente de 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 Sur” realizado por Marcheno Revilla Jefferson Michael, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Septiembre del 2015

f) \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Marcheno Revilla Jefferson Michael 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 Sur”, de la Titulación de Ingeniero en Geología y Minas, siendo Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de 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: Marcheno Revilla Jefferson Michael

Cédula: 1105660409

## DEDICATORIA

*A mis padres, hermanos, apreciadas tías y novia.*

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que de una u otra forma siempre estuvieron brindando su apoyo a lo largo de esta etapa, especialmente al Mgs. Víctor Sanmartín, que confió en mí y me dio la oportunidad de realizar este trabajo con su guía.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	ii
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPITULO I</b> .....	5
<b>GENERALIDADES</b> .....	5
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	6
<b>1.2 Justificación</b> .....	7
<b>1.3 Objetivos</b> .....	8
<b>1.3.1 Objetivo general.</b> .....	8
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	8
<b>CAPÍTULO II</b> .....	9
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRAFICAS DEL DISTRITO MINERO NAMBIJA</b> <b>“CONDominio SUR”</b> .....	9
<b>2.1 Ubicación</b> .....	10
<b>2.2 Acceso</b> .....	11
<b>2.3 Topografía</b> .....	11
<b>2.4 Clima y vegetación</b> .....	12
<b>CAPÍTULO III</b> .....	13
<b>MARCO GEOLÓGICO</b> .....	13
<b>3.1 Geología regional</b> .....	14
<b>3.1.1 Cratón Guayanes</b> .....	14
<b>3.1.2 Batolito de Zamora</b> .....	15
<b>3.2 Geología y mineralogía local</b> .....	16
<b>3.2.1 Litoestratigrafía</b> .....	17
<b>3.2.2 Mineralización de Nambija</b> .....	17
<b>3.2.3 Nambija “Condominio Sur”</b> .....	19

<b>CAPITULO IV</b> .....	20
<b>PRUEBA METALÚRGICA PARA DETERMINAR EL FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) Y CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA KNELSON</b> .....	20
<b>4.1 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente)</b> .....	21
<b>4.1.1 Introducción</b> .....	21
<b>4.1.2 Uso del Factor ORG</b> .....	22
<b>4.1.3 Concentración Centrífuga Knelson</b> .....	23
<b>CAPITULO V</b> .....	19
<b>METODOLOGÍA Y EQUIPOS</b> .....	19
<b>5.1 Muestreo</b> .....	27
<b>5.2 Preparación de la muestra</b> .....	27
<b>5.2.1 Secado</b> .....	27
<b>5.2.2 Trituración</b> .....	28
<b>5.2.3 Cribado</b> .....	29
<b>5.2.4 Homogenización, cuarteo y cuantificación</b> .....	30
<b>5.2.5 Pulverización</b> .....	30
<b>5.3 Caracterización del material</b> .....	31
<b>5.3.1 Peso específico</b> .....	31
<b>5.3.2 Análisis Granulométrico (Deslamado)</b> .....	32
<b>5.3.3 Análisis mineralógico</b> .....	33
<b>5.3.4 Sección Pulida</b> .....	34
<b>5.3.5 Lamina Delgada</b> .....	36
<b>5.3.6 Fluorescencia de Rayos X</b> .....	37
<b>5.3.7 Análisis Químico (Fusión - Copelación)</b> .....	38
<b>5.3.8 Digestión Ácida</b> .....	39
<b>5.4 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson</b> .....	40
<b>5.4.1 Tiempos de molienda</b> .....	40
<b>5.4.2 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson</b> .....	



<b>CAPITULO VI</b> .....	46
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	46
<b>6.1 Análisis mineralógico</b> .....	47
6.1.1 Lamina delgada.....	47
6.1.2 Sección pulida.....	49
<b>6.2 Fluorescencia de rayos X</b> .....	50
<b>6.3 Peso específico</b> .....	52
<b>6.4 Análisis granulométrico y tiempos óptimos de molienda</b> .....	53
<b>6.5 Ley de cabeza</b> .....	55
<b>6.6 Malla valorada</b> .....	55
<b>6.7 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Graviméricamente) en el equipo Knelson</b> .....	57
6.7.1 Ensayo 1 .....	57
6.7.2 Ensayo 2 .....	57
<b>CONCLUSIONES</b> .....	62
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	64
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	65
<b>ANEXOS</b> .....	66
<b>ANEXO 1. ENSAYOS DEL PICNÓMETRO</b> .....	67
<b>ANEXO 2. ENSAYO GRANULUMÉTRICO DEL MATERIAL DE MINA DEL DISTRITO NAMBIJA – CONDOMINIO SUR” (3 MINUTOS DE MOLIENDA).</b> .....	68
<b>ANEXO 3. CÁLCULOS DE LA LEY DE CABEZA</b> .....	70
<b>ANEXO 4. CÁLCULOS DE LA PRUEBA METALÚRGICA PARA DETERMINAR EL FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) EN EL EQUIPO KNELSON</b> .....	71
<b>ANEXO 5. TABLA DE BIRREFRINGENCIA</b> .....	75

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Boca de mina de la Asociación Minera Virgen de Fátima. ....	27
<b>Imagen 2.</b> Estufa Forzada .....	28
<b>Imagen 3.</b> Equipo de Trituración.....	29
<b>Imagen 4.</b> Material que pasa el tamiz # 10 .....	29
<b>Imagen 5.</b> Cuantificación del material.....	30
<b>Imagen 6.</b> Equipo para Pulverizar. ....	31
<b>Imagen 7.</b> Método del Picnómetro.....	32
<b>Imagen 8.</b> Ensayo Granulométrico. ....	33
<b>Imagen 9.</b> Microscopio OLYMPUS BH_2 .....	33
<b>Imagen 10.</b> Sección Pulida.....	35
<b>Imagen 11.</b> Lamina delgada. ....	37
<b>Imagen 12.</b> Equipo de Fluorescencia de Rayos X .....	38
<b>Imagen 13.</b> Muflas de Fisión (Izquierda) Y Copelación (Derecha) .....	39
<b>Imagen 14.</b> Molino de Bolas.....	41
<b>Imagen 15.</b> Diagrama de flujo de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson.....	43
<b>Imagen 16.</b> Concentrador Knelson.....	45
<b>Imagen 17.</b> Accesorios y Aspeadores. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del Distrito Minero de Nambija “Condominio Sur” .....	10
<b>Figura 2.</b> Perfil Topográfico del Distrito Minero de Nambija “Condominio Sur” .....	11
<b>Figura 3.</b> Geología del Distrito aurífero de Nambija.....	18
<b>Figura 4.</b> Curvas Granulométricas de los tiempos óptimos de molienda .....	54

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Foto 1.</b> Análisis de Lámina Delgada: ortosa, plagioclasa (bytownita-anortita), hedebergita.....	48
<b>Foto 2.</b> Análisis de Lámina Delgada: Cianita, plagioclasa (bytownita-anortita) .....	48
<b>Foto 3.</b> Análisis de Sección Pulida: a) Pirita (Py), Esfalerita (Sp); b) Pirrotina (Po), Inclusiones de Pirita (Py) y Oro (Au) en la matriz de pirrotina, Esfalerita (Sp). ....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coordenadas UTM (WG S- 84) de la zona de estudio.....	10
<b>Tabla 2:</b> Procedimiento para calcular el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) .....	21
<b>Tabla 3:</b> Tiempos de Molienda .....	42
<b>Tabla 4:</b> Minerales y sus respectivos porcentajes en la muestra de lámina delgada analizada. ....	47
<b>Tabla 5:</b> Minerales y sus respectivos porcentajes en la muestra de lámina sección pulida analizada. ....	49
<b>Tabla 6:</b> Resultados del ensayo de Fluorescencia de Rayos X .....	51
<b>Tabla 7:</b> Resultados de los ensayos de peso específico .....	52
<b>Tabla 8:</b> Granulometría inicial del mineral .....	53
<b>Tabla 9:</b> Tiempos óptimos de molienda.....	53
<b>Tabla 11:</b> Ley de Cabeza .....	55
<b>Tabla 12:</b> Malla Valorada .....	55
<b>Tabla 13:</b> Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas .....	57
<b>Tabla 14:</b> Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas .....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Metodología empleada para la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Kelson (KC-MD3) con material de mina del Distrito Nambija- Condominio Sur. ....	25
<b>Gráfico 2.</b> Fluorescencia de Rayos X.....	51
<b>Gráfico 3.</b> Representación gráfica del Comportamiento del material de mina del distrito Nambija "Condominio Sur" en Malla Valorada .....	56
<b>Gráfico 4:</b> El factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en la Ensayo 1 y Ensayo 2. .....	59

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es aplicar la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson (KC-MD3) con material de mina del distrito Nambija – Condominio Sur. La prueba metalúrgica consiste en tres etapas de molienda y recuperación secuencial. La molienda progresiva es necesaria con el fin de obtener un valor confiable del factor ORG, así como una indicación de su distribución granulométrica y su secuencia de liberación. Las variables que se tomaron en cuenta son: tamaño de grano, presión, caudal, rpm y una velocidad de 60 Gs.

Los resultados obtenidos demuestran que los tiempos óptimos de molienda son: a 3 min con un D80 de 743  $\mu\text{m}$ , a 15 min con un D80 de 130  $\mu\text{m}$ , a 35 min con un D80 de 68  $\mu\text{m}$ . En el Ensayo 1 el factor de recuperación ORG es de 61,32 %, mientras que en la Ensayo 2 el factor de recuperación ORG es de 66,31 %. El factor promedio de los ensayos es 63,71 %.

**PALABRAS CLAVES:** Nambija “Condominio Sur”, factor ORG, Knelson, tamaño de grano, presión.

## ABSTRACT

The aim of this study is to apply the metallurgical testing to determine the factor ORG (Recoverable Gold Gravimetrically) on the computer Knelson (KC-MD3) with material mine from the Nambija district - South Condominium. The metallurgical test consists of three stages of grinding and sequential retrieval. Progressive grinding is necessary in order to obtain a reliable value of ORG factor and an indication of its size distribution and release sequence. The variables that were considered in this test are: grain size, pressure, flow, revolutions per minute and a speed of 60 G's.

The results show that the values of the optimum milling times are: 3 min with a D80 of 743  $\mu\text{m}$ , 15 min with a D80 of 130  $\mu\text{m}$ , 35 min with a D80 of 68  $\mu\text{m}$ . In trial 1 the ORG factor is 61.32%, while in test 2 of ORG factor is 66.31 %. The average test 1 and 2 ORG factor is 63.71 %.

**KEYWORDS:** Nambija "South Condominium", factor ORG, Knelson, grain size, pressure.

## **INTRODUCCIÓN**

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, la cual consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre.

Durante las últimas décadas, la minería en Ecuador, se ha convertido en una de las economías primarias del país, siendo la minería artesanal, la actividad que ha tomado mayor fuerza de desarrollo al sur del país, específicamente en el distrito aurífero Nambija.

El distrito aurífero de Nambija se encuentra en la provincia de Zamora, al sureste de Ecuador, en la Cordillera del Cóndor en elevaciones que van desde 1.600 a 2.300 m. El distrito de Nambija se ha caracterizado por un alto componente de trabajo manual y baja utilización de herramientas mecánicas. Los procesos artesanales y de pequeña minería que se realizan en el distrito aurífero de Nambija, están dirigidos principalmente a la explotación de oro.

La minería artesanal que se desarrolla en el distrito aurífero de Nambija “Condominio Sur” está definida mediante el empleo de técnicas rudimentarias, siendo el medio ambiente y la salud de las personas que se favorecen de esta labor los más afectados.

En el presente trabajo de investigación se empleará el equipo Knelson (KC-MD3), para realizar la prueba metalúrgica determinando el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) del mineral investigado, siendo el equipo Knelson un centrífugo de alta velocidad que establece la fuerza centrífuga en contra de un proceso de fluidización patentado.

Para nuestro trabajo investigativo, hemos planteado seis capítulos, los cuales se describen en forma breve a continuación:

En el capítulo uno, se describe Aspectos Relevantes de la zona de estudio, así como investigaciones previas y objetivos que se han planteado para el desarrollo de este trabajo investigativo.

En el capítulo dos, se describen las Características Físicas – Geográficas del distrito minero de Nambija “Condominio Sur”, detalla los aspectos geográficos significativos de la zona de estudio, tales como ubicación, acceso, topografía, clima y vegetación.

En el capítulo tres, se describe la Geología Regional y Minería Local de distrito minero de Nambija “Condominio Sur”, hace referencia la vida geológica y de formación de este distrito, englobando la geología desde lo regional a lo local.

En el capítulo cuatro, se describe la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) y la Concentración Centrífuga Knelson, detalla los aspectos técnicos significativos de la prueba, tales como: etapas, cálculos, resultados y usos.

En el capítulo quinto, se describe la Metodología y los Equipos, detalla los aspectos del presente estudio, entre los cuales están: Muestreo, Preparación y Cuantificación del material, Caracterización del material y factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente).

En el capítulo seis, se describe los Resultados y Análisis del presente trabajo investigativo. Además se presenta la información que se obtuvo con los ensayos y análisis realizados en el laboratorio que están en relación directa con los objetivos planteados al inicio de la investigación.

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**



## **1.1 Antecedentes**

Durante las últimas décadas la minería en Ecuador, se ha convertido en una de las actividades que ha tomado mayor impulso, para el cambio de paradigma de la economía del país, siendo uno de los pasos hacia el desarrollo del Buen Vivir. El cambio de matriz productiva en Ecuador, está permitiendo que muchos proyectos en minería se desarrollen, haciendo de la minería una de las fuentes sustentables para el desarrollo económico del país.

La actividad minera del distrito minero de Nambija, se ha desarrollado desde mediados de los años 80 hasta mediados de los 90, siendo el primer productor de oro del Ecuador.

Los españoles fueron los primeros que conquistaron la explotación del precioso mineral en las minas de este distrito, contribuyendo así al desarrollo de la Provincia de Zamora.

Posteriormente, las minas localizadas en el distrito de Nambija, fueron abandonadas y redescubiertas por colonos de la provincia que iniciaron su rápida explotación, el descubrimiento artesanal de vetas y bolsanadas de oro a poca profundidad, a principios de los 80, atrajo a una multitud de pequeños mineros que convirtieron el sector Nambija, uno de los lugares más conocidos donde se podía explotar este mineral precioso.

Sin embargo la caída del precio del oro, la sobre explotación, la falta de inversiones y de tecnologías de explotación, determinaron una drástica caída de la producción de este mineral.

En la actualidad, la minería que se desarrolla en el distrito de Nambija (Condominio Norte y Condominio Sur) es de tipo artesanal, siendo una de las principales actividades económicas, poco sostenibles y con mucho peligro para los mineros que realizan esta actividad de explotación en este distrito.

## 1.2 Justificación

La falta de seguridad, contaminación ambiental y deterioro de la salud humana han sido los problemas que han tenido que vivir las familias que habitan este sector minero de Nambija, siendo la minería artesanal la actividad de trabajo individual, familiar o asociativo que se caracteriza por la utilización de herramientas, maquinas simples, destinadas a la obtención de minerales cuya comercialización, en general, solo permite cubrir las necesidades básicas de las personas o del grupo familiar.

El presente proyecto, tiene como fin determinar la cantidad de oro de mina, empleando la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente). Teniendo en consideración que para determinar el factor ORG consiste de tres etapas de molienda y recuperación secuencial. La prueba ORG está basada en el tratamiento de una muestra de 20 kg usando un concentrador Knelson de laboratorio (KC-MD3). Los métodos gravimétricos para la concentración de minerales, son procesos que no requieren la intervención de químicos, que puedan dañar el entorno ambiental y principalmente la salud de quien los emplea, se ha planteado la interrogante de si son una alternativa que se pueda implementar en la minería de subsistencia o minería artesanal, aportando de manera eficiente al trabajo diario de todas las personas que han hecho de la minería el medio para llevar el pan diario a sus hogares, y que se han visto en la necesidad de buscar opciones ambientalmente amigables para la concentración de oro.

Los métodos gravimétricos han sido utilizados desde hace mucho tiempo atrás, pero que se han discontinuado por la aparición de nuevas metodologías industrialmente más productivas, en esta ocasión se pretende demostrar que aunque industrialmente no están a la par de las nuevas tecnologías pueden ser una alternativa muy fiable y eficiente a la hora de aportar a la minería artesanal. Principalmente por su facilidad de empleo, por el coste que representan y por ser amigables con el medio ambiente y además considerando que un minero artesanal lo que busca es la recuperación del oro macroscópico, por lo que fácilmente se podría implementar el uso de estos procesos.

La innovación no tiene únicamente que ver con crear nuevos, novedosos o más eficientes procesos para cualquier tipo de trabajo, sino que tiene que ver con la mejor utilización de todos los recursos que disponemos, por lo que el presente trabajo seguiría una línea de innovación al darle un uso, no solo más eficiente a unos equipos y procesos puestos en desuso, sino también al poner en manos de las personas una nueva opción para facilitar sus labores diarias y mejorar su calidad de vida.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

- Determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson (KC-MD3) con material de mina del Distrito Nambija – Condominio Sur.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Caracterización del material de estudio
- Determinar los tiempos de molienda para la prueba ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente).
- Evaluar el factor ORG en el equipo KC-MD3 óptimo.

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – GEOGRÁFICAS DEL DISTRITO MINERO NAMBIJA “CONDominio SUR”**

## 2.1 Ubicación

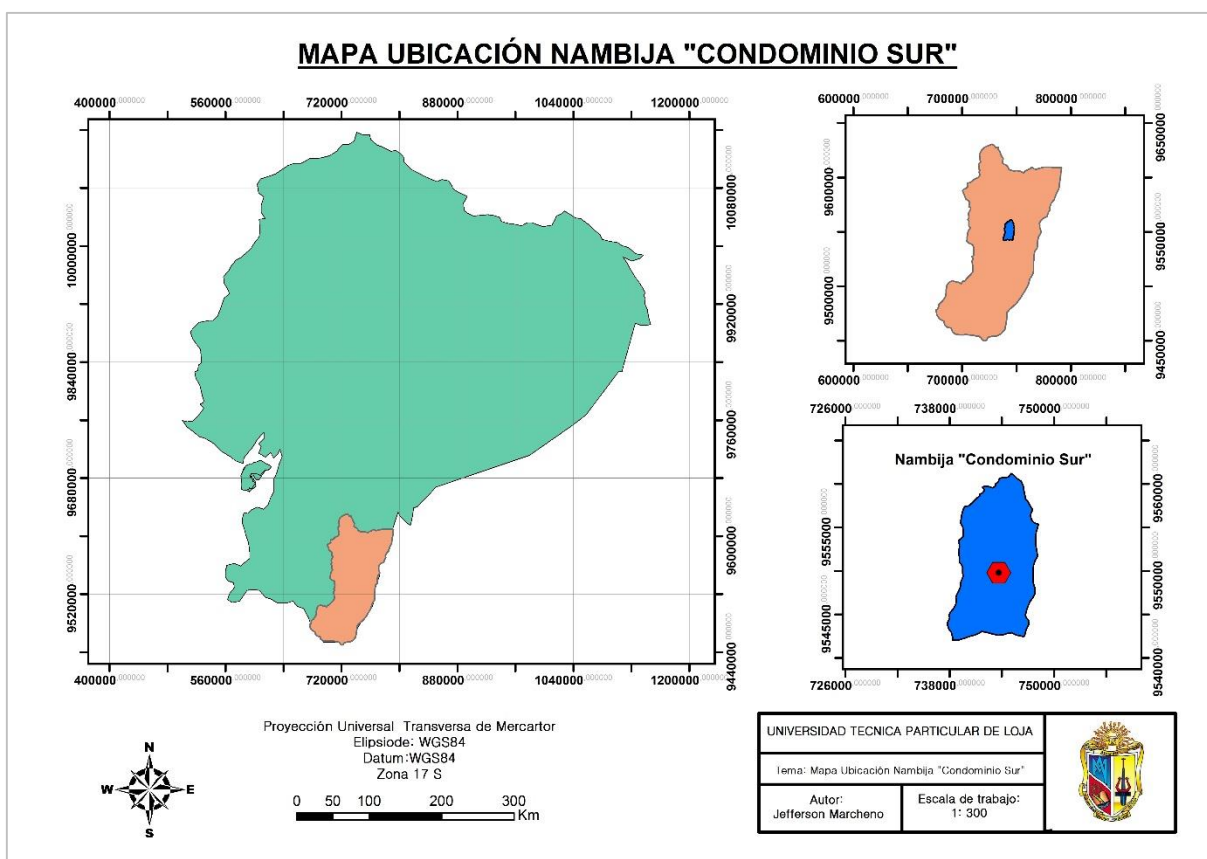
El distrito minero de Nambija, se localiza en el cantón Zamora al Sur-Oriente del Ecuador, al NE de la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, parroquia San Carlos de las Minas (Figura 1). Forma parte de la región morfo-estructural en la cordillera de Nanguipa la misma que constituye un ramal formado entre la cordillera Real y El Cóndor.

La Sociedad Minera Virgen de Fátima es el lugar donde se realizó el muestreo del material de mina se encuentra ubicado en el “Condominio Sur” de Nambija, localizado en las siguientes coordenadas:

**Tabla 1:** Coordenadas UTM (WG S- 84) de la zona de estudio

X	Y	Z	Datum
0743656	9549760	1858msn	WGS84

Fuente: El autor



**Figura 1.** Ubicación del Distrito Minero de Nambija “Condominio Sur”  
Fuente: Marcheno, 2015.

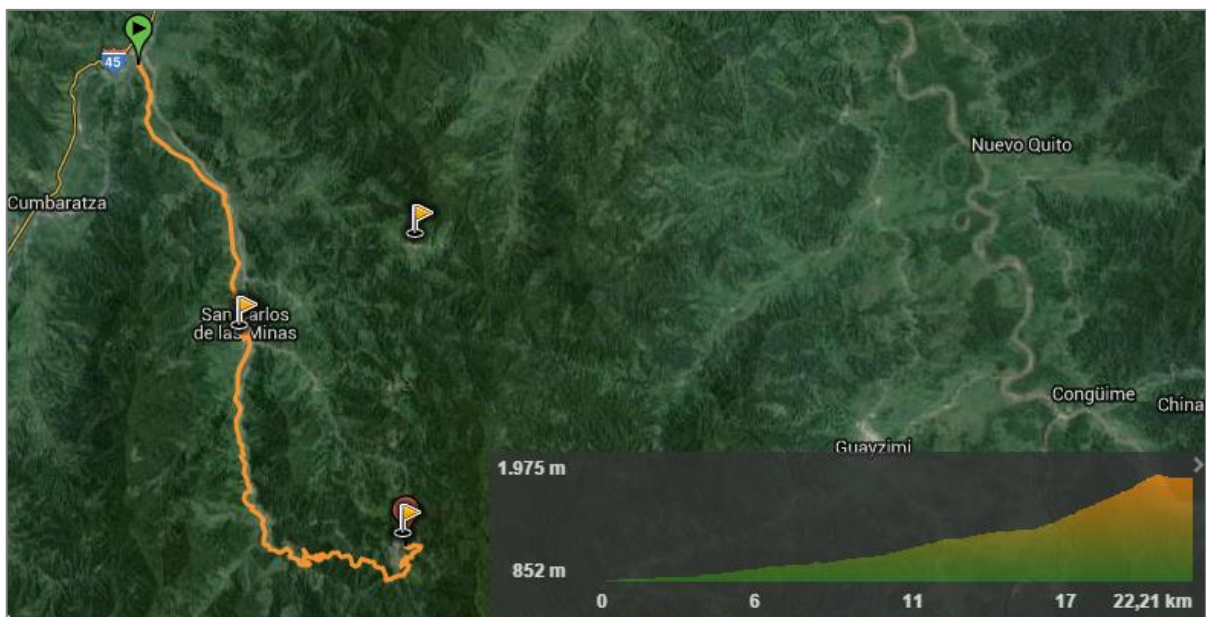
## 2.2 Acceso

Para acceder la zona de estudio se lo realiza desde la capital del Ecuador Quito o desde el puerto principal Guayaquil, hasta el aeropuerto de Catamayo, luego se traslada hacia la ciudad de Loja, siguiendo la ruta Zamora, continuando por la troncal amazónica en dirección a Yanzatza por carretera asfaltada hasta la población de Namirez. Desde esta población cruzando el puente sobre el río Zamora, se sigue por carretera lastrada hasta la población de San Carlos. Desde aquí se sigue por carretero público lastrado de tercer orden hasta el asentamiento de Nambija, por donde se puede acceder a diferentes concesiones mineras ubicadas en el Condominio Norte y Sur respectivamente (Figura 2).

## 2.3 Topografía

El relieve es muy accidentado, con altitudes que varían entre 1400 y 2400 msnm. El área se caracteriza por la presencia de numerosas fallas y cicatrices dejadas por los deslizamientos del terreno (ACDI, 1987).

El sistema de drenaje de la región está conformado por los tributarios de la Quebrada del Fierro. Las aguas de esta quebrada desembocan sucesivamente en los ríos Nambija, Zamora, Santiago, Marañon y Amazonas y finalmente en el Océano Atlántico. La información climatológica es sumamente limitada (ACDI, 1987).



**Figura 2.** Perfil Topográfico del Distrito Minero de Nambija “Condominio Sur”  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

## **2.4 Clima y vegetación**

El clima es tropical húmedo. La temperatura oscila entre 1°C en la noche y 20°C en el día, pero excepcionalmente puede alcanzar los 30°C. La región está frecuentemente cubierta de niebla y la precipitación sobrepasa los 3000 mm por año, lo que ha dificultado mucho el avance de los trabajos de campo. En Septiembre se ha observado una cierta tregua en las precipitaciones que posiblemente se prolongará hasta Diciembre (ACDI, 1987).

La vegetación es del tipo floresta pluvial 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 (ACDI, 1987).

**CAPÍTULO III**  
**MARCO GEOLÓGICO**



### **3.1 Geología regional**

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

#### **Ambiente tectónico**

El distrito minero Zamora está definido por la extensión del batolito de Zamora, el cual está emplazado dentro del cratón Guayanese. El lado Oeste del Cratón Guayanes está definido por la falla de cabalgamiento Palanda y más al Norte por la Falla Regional Cosanga. Se ha identificado y definido el cinturón Sub-Andino de Cabalgamiento entre la falla Cosanga y la subparalela Falla Sub-Andina 5-15 km hacia el Oeste (Litherland, 1994). La prolongación hacia el Sur de este cinturón de cabalgamiento sé amplio sobre el Batolito de Zamora en una serie de fallas mayores de dirección N-S (PRODEMINCA, 2000).

#### **3.1.1 Cratón Guayanes.**

Durante el Paleozoico, el Cratón Guayanes fue el lugar de deposición de las indeformadas formaciones Pumbuiza y Macuma (Levantamiento Cutucú) y de la Unidad metamórfica Isimanchi dentro del distrito Zamora. La Unidad Isimanchi forma un cinturón en el subdistrito de Zumba, el cual está acuñado hacia el Norte por el sobre cabalgamiento de las migmatitas Sabanilla en el Oeste y por el Batolito de Zamora con edad Jurásica al Este a lo largo del cual las rocas de la Unidad Isimanchi están intensamente silicificadas y corneanizadas. Al Este de este cinturón principal está solamente presente con un techo colgante o plataforma aislada. La Unidad Isimanchi comprende filitas, esquistos, mármoles y metavolcánicos (PRODEMINCA, 2000).

##### **3.1.1.1 Unidad Piuntza.**

Con edad Triásico medio a superior se presenta como un techo colgante limitado en el subdistrito de Cumbaratza del Batolito de Zamora. Litológicamente esta unidad Piuntza comprende calizas, una variedad de lutitas calcáreas, limolitas y arenitas con componentes tobaceos / volcanoclásticos (PRODEMINCA, 2000).

### **3.1.1.2 Unidad Chapiza.**

Con edad Jurásica a Cretácica Inferior comprende una sucesión de sedimentos clásticos no metamórficos de tipo continental buzando con baja sucesión de sedimentos clásticos no metamórficos de tipo continental. Esta unidad es una típica secuencia de capas rojas de lutitas, areniscas y conglomerados con evaporitas delgadas y limonitas tobaces localmente depositadas (PRODEMINCA, 2000).

### **3.1.1.3 Unidad Misahuallí.**

Comprende principalmente rocas volcánicas calco-alcalinas, las cuales están relacionadas con los principales Batolitos Jurásicos de la zona Sub Andina. Las rocas volcánicas de la unidad asociadas con el Batolito de Zamora, han proporcionado edades de 230 a 143 Ma. (Litherland, 1994).

Litológicamente la unidad consiste de basaltos, lavas andesítico-dacíticas y piroclásticas con pocos o sin sedimentos interestratificados, pero en muchos lugares asociados con intrusiones porfídicas subvolcánicas.

Las rocas volcánicas de este arco magmático continental están interpretadas como acuñaamientos hacia el Este con el basamento Oriental (PRODEMINCA, 2000).

### **3.1.2 Batolito de Zamora.**

El Batolito de Zamora es uno de un conjunto de esencialmente tres alargados, ideformadas y no metamorfizadas intrusiones granitoides con edad Jurásica, los cuales ocurren sobre el Cratón Guayanes formando el Cinturón Sub-Andino. El cual está asociado con las rocas volcánicas de la Unidad Misahuallí (Litherland, 1994).

#### **Estructura**

El Batolito de Zamora tiene más de 200 km de largo y 50 km de ancho, siendo segmentado en tres por la Fallas de la Canela y Nangaritzza con dirección N-S. Este comprende un complejo intrusivo multifase predominantemente constituido por series de magnetita y granodiorita horbléndicas-biotíticas y dioritas horbléndicas (PRODEMINCA, 2000).

El batolito está limitado por fallas hacia el Este (Falla del Cóndor) donde está yuxtapuesto contra los volcánicos Misahuallí y los similares lineamientos subparalelos de fallas con dirección N-S, continua hacia el Este tan lejos como el frente Cutucú- Galeras en el lado Este del tectonometamorfismo Andino caracterizado por fábricas penetrativas y asociaciones metamórficas (PRODEMINCA, 2000).

La evolución del Cretáceo a Cenozoico del distrito incluye la deposición de 80 – 240 m de potencia de la **Formación Hollín** de edad Albiano-Aptiano, representado por las características areniscas blancas y cuarcitas de las cuales sobreyacen discordantemente al Batolito de Zamora, a la unidad Misahuallí. Seguida con la deposición de la **Formación Napo** la cual comprende calizas grises oscuras, lutitas negras y arenisca con 200 – 600 metros de potencia con edad Albiana a Maestrichtiana.

Fuera del distrito estas unidades están sobreyacidas por la **Formación Tena** con 250 a 1000 metros de potencia por la cual comprende capas rojas fluviales a lacustres y representan el retiro del océano y el inicio de un ambiente continental deposición derivado de la cordillera Andina durante el Maestrichtiano tardío a Paleoceno.

### **3.2 Geología y mineralogía local**

El Distrito Minero de Nambija, se encuentra en la cordillera del Cóndor, al sureste de Ecuador y la noreste de la Provincia de Zamora Chinchipe. En el Ecuador, en base al conocimiento de la geología y los trabajos de exploración realizados, se ha podido identificar que solo existen en tres estructuras de tipo arco volcánico, los cuales en orden a su importancia son: **1.-** el arco volcánico continental de edad jurásica (Misahualli), ubicado en la región oriental a lo largo del flanco occidental de la zona Subandina, dentro del cual se han descubierto yacimientos de oro de tipo skarn (Nambija- Guayzimi), de tipo epitermal ( Fruta del Norte); yacimientos de cobre-molibdeno, del tipo porfídico (Mirador-San Carlos) **2.-** el arco volcánico continental de edad eocénica-miocénica (Saraguro) ubicado en la zona austral, dentro del cual se han descubierto yacimientos de oro del tipo epitermal (Portovelo-Zaruma, San Bartolomé-Pilzhum y El Mozo, Quimsacocha), **3.-** el arco volcánico de islas (Macuchi) y yacimientos filoneanos (Ponce Enríquez-San Gerardo) y otros (Paladines, 2010).

### **3.2.1 Litoestratigrafía.**

En el campo de “skarn” de Nambija es un enclave de rocas volcánico sedimentarias e intrusivas hipoabisales dentro del Batolito de Zamora (Jurásico), con dirección NS. La secuencia volcánico sedimentaria subhorizontal está asignada mayoritariamente a la Unidad Piuntza del Triásico tardío Medio a Superior (PRODEMINCA, 2000).

El distrito minero de Nambija está situado en un sinclinal pariclinal abierto de rumbo NNW cuyos flancos están localizados en Mapasingue (SW) y EL Tierrero (NE). La secuencia de Nambija ha sido citada como una serie interestratificada de caliza micrítica, areniscas, “skarn” y cuarcitas en las que hay digitaciones menores de lutitas, areniscas calcáreas, silticas, mármoles y corneanas (PRODEMINCA, 2000).

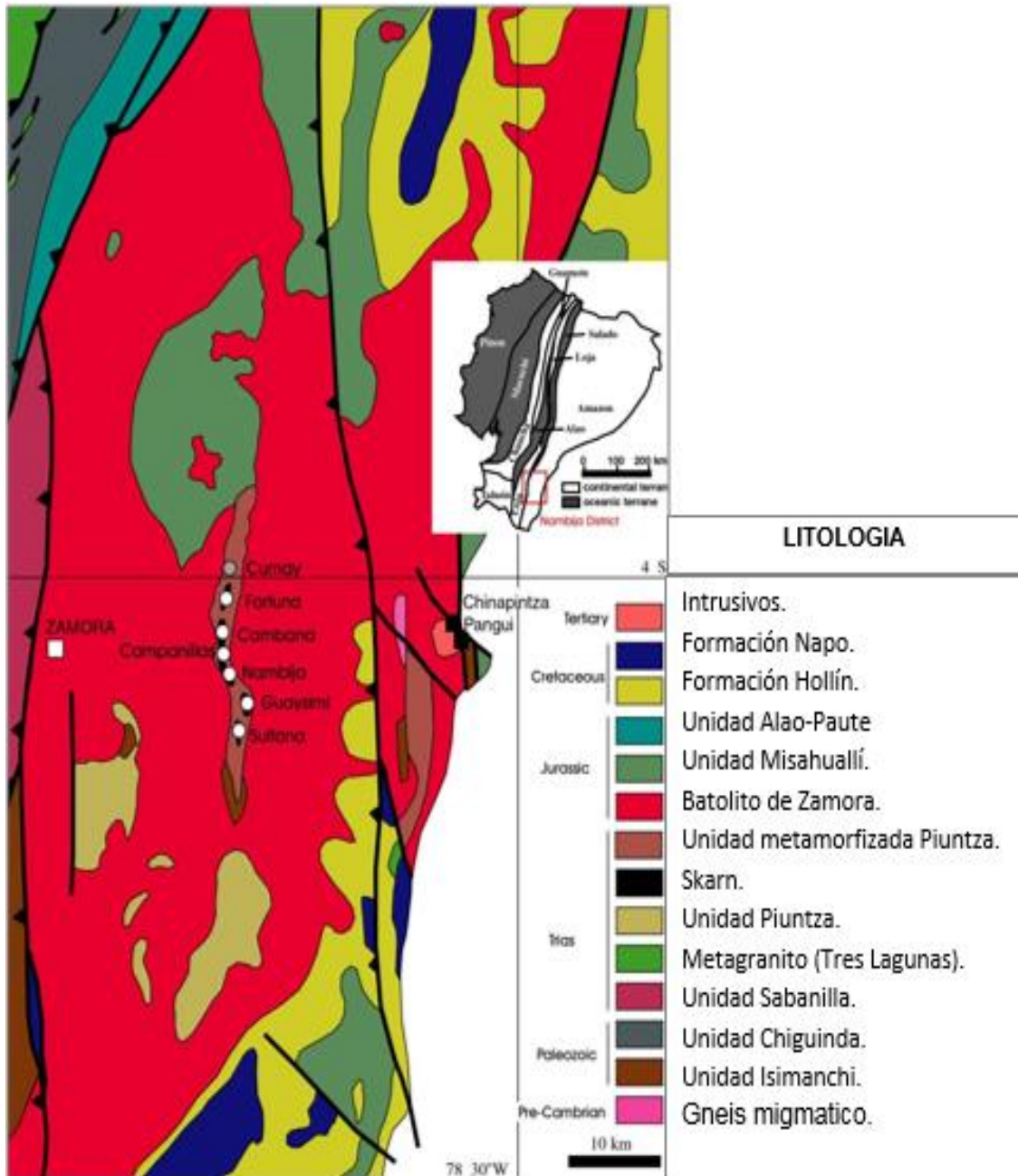
### **3.2.2 Mineralización de Nambija.**

El Oro de Nambija y minas próximas aparece dentro de vetas de cuarzo localmente acompañado por carbonato, feldespatos, clorita y epidota. También pueden aparecer cantidades secundarias de pirita, menores de calcopirita y trazas de pirrotina, magnetita, esfalerita, galena y telurios de Bi dentro del cuarzo y/o en la zona proximal de alteración, pero no existe una fuerte asociación entre los sulfuros y el contenido de oro. El Oro ocurre en forma de pequeñas masas, láminas o diseminaciones finas dentro de, o asociado a, las vetas en las litologías skarnificadas. El oro, además de estar alojado en el cuarzo, también aparece dentro del carbonato, clorita, clinopiroxeno alterado, granate y pirita y fracturas dentro de estos minerales.

La presencia de Oro, también puede aparecer en otros tipos de rocas íntimamente asociados (cuarcitas, volcanoclastitas gruesas y brechas) (PRODEMINCA, 2000).

En el área del yacimiento la geología está representada por una secuencia de rocas del jurásico inferior, constituido de argilitas, areniscas y arcillas con intercalaciones de mantos potentes de rocas andesíticas (Figura 3). La potencia de este paquete alcanza 500m sobre el cual descansa un paquete de cuarcitas (150 m) que hace contacto (en partes tectónico) con la zona mineralizada de skarn, que tiene una potencia de 100-120m sobre la cual discordantemente descansan arcillas de color rojo, las cuales rematan el corte (PRODEMINCA, 2000).

Las rocas de skarn tienen una estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo-verdoso, algunas veces con tonalidades ladrillo por la presencia de gargantas. Se localizan en la zona de contacto entre volcánicos Piuntza con el Batolito de Zamora y pórfidos postbatolíticos del Jurásico superior. En el área del yacimiento el intrusivo, está representado por una monzo-diorita de textura porfírica y un pórfido cuarzo feldespático (Paladines, 2010).



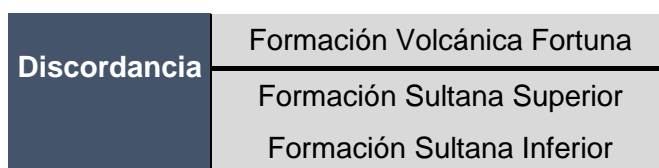
**Figura 3.** Geología del Distrito aurífero de Nambija.  
**Fuente:** (Paladines, 2010)  
**Modificado:** Autor

### 3.2.3 Nambija “Condominio Sur”.

EL distrito minero de Nambija “Condominio Sur” comprende rocas volcánicas andesíticas y sedimentos de la Unidad Piuntza, inferior, media y superior la cual está instruida por un número de intrusiones alteradas de pórfidos de composición andesítico-diorítica a riodacítica.

#### 3.2.3.1 Litoestratigrafía.

Al oeste del cinturón de Nambija, se puede identificar la mejor y más completa sección estratigráfica. Se puede representar la columna estratigráfica de la siguiente manera.



**Formación Sultana Inferior:** comprende volcánicos dacíticos a riodacíticos (principalmente tobas, brechas piroclásticas y pequeños stocks subvolcánicos o apófisis de dacita) y rocas volcanoclásticas.

**Formación Sultana Superior:** es la principal roca encajante de la mineralización de oro y comprende una secuencia interdigital sedimentaria que incluye brechas, conglomerados y volcanoclásticas calcáreas.

**Formación Volcánica Fortuna:** es la roca encajante, principalmente preservada en los sectores altos y que cubre la mayor parte de la intrusión porfidítica del cerro volcánico andesítico de Tumi

## **CAPITULO IV**

**PRUEBA METALÚRGICA PARA DETERMINAR EL FACTOR ORG (ORO  
RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) Y CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA  
KNELSON**

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

### 4.1.1 Introducción.

La prueba de laboratorio para determinar el factor ORG consiste de tres etapas de molienda y recuperación secuencial. La molienda progresiva, en vez de molienda a un tamaño final, es necesaria con el fin de obtener un valor confiable del factor ORG, así como una indicación de su distribución granulométrica y de su secuencia de liberación, mientras al mismo tiempo se previene las pérdidas de oro grueso por interacción con partículas de ganga (Lopez, 2006).

La prueba ORG está basada en el tratamiento de una muestra de 20 Kg usando un Concentrador Knelson de laboratorio (KC-MD3). El procedimiento se resume en la Tabla 2 (Lopez, 2006).

**Tabla 2:** Procedimiento para calcular el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente)

Requerimiento de muestras	30 Kg que son requeridos para realizar el procedimiento estándar para la prueba de ORG. 20 Kg son usados para la prueba ORG en si y los 10 Kg restantes se utilizan para hacer una prueba de molienda previa a la prueba ORG		
	Tamaño de partícula requerido	Variables Operacionales	Muestras a ser analizadas
Etapa 1	90 - 100% - 850 $\mu$ m	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 gr colas. Totalidad de las colas pasan a la etapa 2.
Etapa 2	45 - 60% - 75 $\mu$ m	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 gr colas. Totalidad de las colas pasan a la etapa 3.
Etapa 3	75 - 80% - 75 $\mu$ m	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 gr colas. Totalidad de las colas pasan a la etapa 3.

**Fuente:** Knelson Gravity Solutions (Lopez, 2006)

**Elaboración:** El Autor



**NOTA:** No es necesario llevar a cabo una rutina de prueba con 10 kg. La prueba molienda se puede realizar en cualquier tamaño de la muestra, siempre que el objetivo rutinas son alcanzables en la muestra de 20 kg.

Las mejores muestras a ser utilizadas en la determinación del factor ORG son:

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

Los cálculos de la recuperación en cada etapa se basan en los ensayos de los respectivos concentrados y colas, mientras que la recuperación total se basa en los ensayos de los tres concentrados producidos y las colas finales, siendo el ensayo de colas final el más confiable pues las colas de las dos primeras etapas todavía contienen oro recuperable por gravedad (Lopez, 2006).

Los resultados son presentados como el porcentaje acumulado del oro total en la muestra que ha sido recuperado en las tres etapas sucesivas. Un factor ORG por debajo de 20% se considera una respuesta pobre, mientras que un factor del 80% es considerado excepcionalmente prometedor. Respuestas intermedias son las más comunes (Lopez, 2006).

#### **4.1.2 Uso del Factor ORG.**

La prueba para determinar el factor ORG puede ser aplicada tanto a circuitos existentes, a proyectos de adición, así como a proyectos en desarrollo. En los dos últimos casos, la prueba determinara si es aconsejable la instalación de un circuito gravimétrico y sus beneficios económicos, mientras que en circuitos existentes se usa en estudios de optimización (Lopez, 2006).

A continuación se describe en detalle la aplicabilidad de la prueba.

- Cuando la respuesta del mineral es pobre, la prueba proporciona la información necesaria para descartar la concentración gravitacional como opción de procesamiento. El hecho de que esta prueba de laboratorio pueda arrojar este

resultado es muy importante pues esta opción no es necesariamente aplicable a todas las menas.

La prueba de determinación del ORG, puede ser incorporada a la rutina de evaluación de las fluctuaciones en el funcionamiento metalúrgico diario de la planta, las cuales pueden ser ocasionadas por cambios en la mineralogía o en el funcionamiento del circuito. La regular recolección y el procesamiento de muestras pueden ayudar a identificar qué factores están afectando la recuperación gravimétrica (Lopez, 2006).

#### **4.1.3 Concentración Centrífuga Knelson.**

En la década del 80 apareció una serie de equipamiento para el beneficio de minerales que utilizan la fuerza centrífuga para efectuar la separación de los minerales valiosos.

Un Concentrador Knelson es un centrífugo de alta velocidad que establece la fuerza centrífuga en contra de un proceso de fluidización patentado. Esta combinación resulta en inigualable rendimiento en la recuperación, su objetivo es de liberar el mineral pesado. El concentrador Knelson debe ser una parte integral de cualquier tipo de mineral sistema de procesamiento cada vez que hay una oportunidad para recuperar partículas de minerales pesados (Knelson Concentrators, 2003).

El concentrador consiste de un cono perforado con anillos internos y que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a  $\frac{1}{4}$ ", es introducida como pulpa (20-490% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillo, los cuales retiene las partículas más pesadas, mientras que las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono (Pávez, 2008).

El funcionamiento del Concentrador Knelson (KC-MD3) es relativamente simple; sin embargo, algunos conceptos fundamentales permitirán un funcionamiento más suave y una mejor optimización del (KC-MD3). (Knelson Concentrators, 2003).

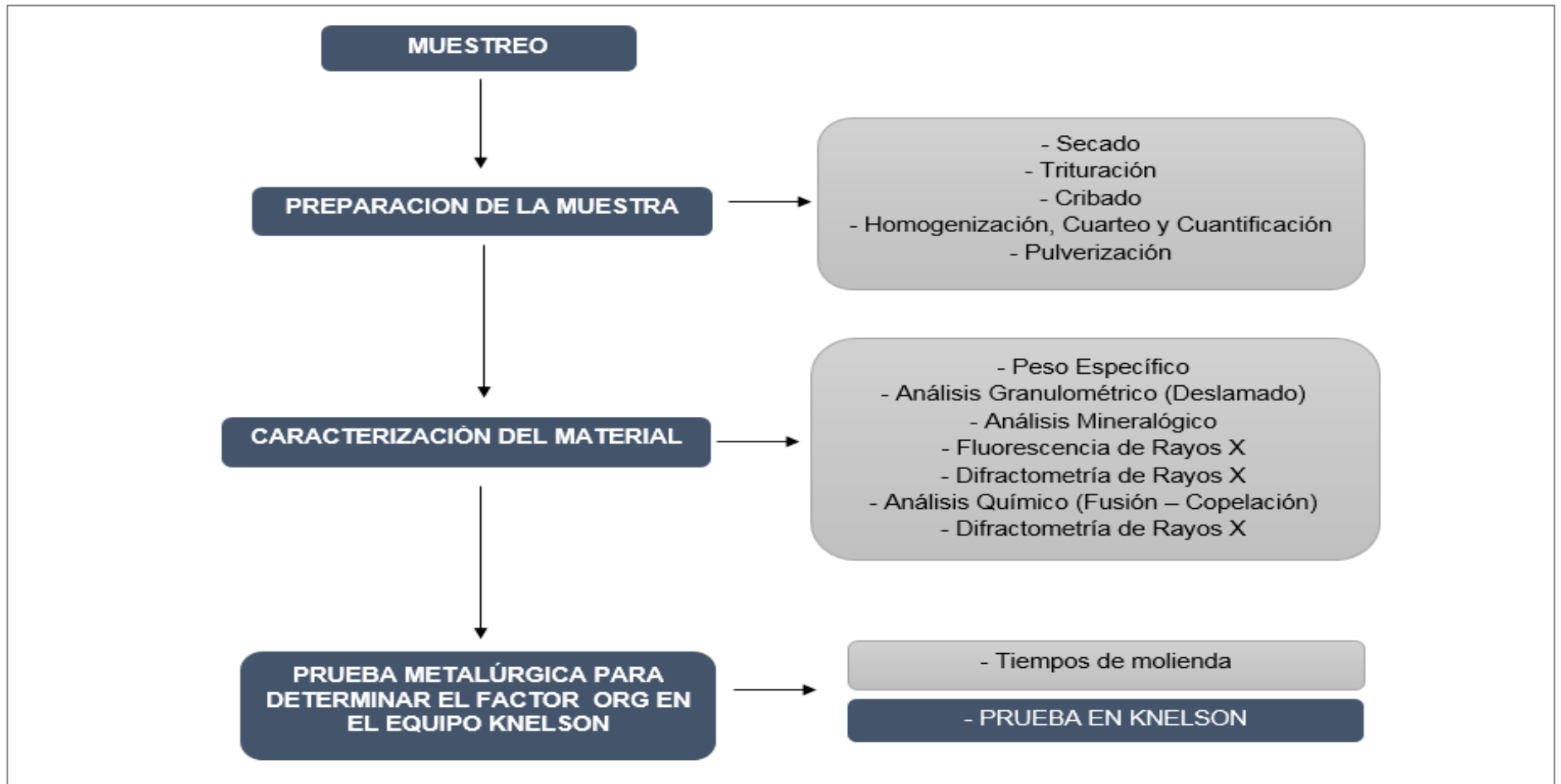
Una vez que los requisitos operativos mínimos (es decir, agua de fluidización suficiente, el poder y la fuente de alimentación) se han cumplido, entonces hay sólo tres factores principales serán los que afecten el rendimiento estos son: el agua de fluidización MD3 - velocidad de flujo, velocidad de alimentación, y el tamaño de la muestra a ensayar (Knelson Concentrators, 2003).

Cada aplicación de prueba individual es diferente debido a las características únicas de cada fuente de alimentación (es decir, el mineral, concentrado de molino, ganga, relaves). Por lo tanto la tasa de agua de fluidización óptima y la óptima velocidad de avance se debe determinar de forma individual para cada prueba (Knelson Concentrators, 2003).

El Rendimiento de lechada que atraviesa el concentrador así como presiones de agua y conexiones deben estar en equilibrio con las especificaciones establecidas (Knelson Concentrators, 2003).

**CAPITULO V**  
**METODOLOGÍA Y EQUIPOS**

**Gráfico 1.** Metodología empleada para la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Kelson (KC-MD3) con material de mina del Distrito Nambija- Condominio Sur.



Fuente: El Autor

## 5.1 Muestreo

El muestreo se lo realizó en la mina de la Sociedad Minera “Virgen de Fátima”, la misma que se encuentra ubicada en el Condominio Sur de Nambija, localizado en las coordenadas: X=0743656, Y=9549760, Z=1858msn, Datum: WGS84.

La cantidad de muestra que se recolectó es de aproximadamente 50 kg.



**Imagen 1.** Boca de mina de la Asociación Minera Virgen de Fátima.  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

El proceso de preparación de la muestra, caracterización del material y la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson, se realizó en los diferentes laboratorios del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja.

## 5.2 Preparación de la muestra

### 5.2.1 Secado.

El secado de la muestra se realizó en el laboratorio de Fusión y Copelación. Para el secado de la muestra (Imagen 2) se empleó la estufa forzada de marca POL-EKO.

**Procedimiento:**

- Separamos las muestras que presentan mayor mineralización, para el análisis mineralógico colocamos el material en recipientes de vidrio y lo secamos en el horno a una temperatura de 105 °C, durante 24 horas (o hasta que el material este seco).



**Imagen 2.** Estufa Forzada  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

**5.2.2 Trituración.**

La trituración de la muestra se lo realizó en el laboratorio de Procesamiento de Minerales. Para la trituración de la muestra (Imagen 3) se empleó el equipo de trituración de marca RETSCH.

**Procedimiento:**

- Trituramos el material más grande con martillo, dejándolo en diámetro adecuado para triturarlo (5 cm aproximadamente). Regulamos el diámetro de la trituración, hasta hacer que el cien por ciento de la muestra pase el tamiz #10.



**Imagen 3.** Equipo de Trituración  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### 5.2.3 Cribado.

El cribado de la muestra se lo realizó en el laboratorio de Procesamiento de Minerales. Para realizar el proceso de cribado (Imagen 4) se empleó el tamiz # 10 con una abertura de 2000  $\mu\text{m}$  de marca ASTM.

#### Procedimiento:

- Colocamos el material triturado en un recipiente y procedemos a tamizarlo, hasta que pase el cien por ciento del material triturado por el tamiz # 10. Guardamos y etiquetamos el material en un recipiente cerrado, para evitar que se contamine.



**Imagen 4.** Material que pasa el tamiz # 10  
**Fuente:** Marcheno, 2015.



#### 5.2.4 Homogenización, cuarteo y cuantificación.

La homogenización, cuarteo y cuantificación de la muestra se la realizó en el laboratorio de Suelos. Para realizar el proceso de cuantificación (Imagen 5) se empleó balanza digital de marca OHAUS.

##### Procedimiento:

- La homogenización consiste en mezclar todo el material que se obtuvo en el proceso de trituración hasta llegar a obtener una distribución uniforme. El proceso se lo realiza sobre una superficie plana donde sea posible esparcir todo el material.
- En el proceso de cuarteo se busca separar cantidades adecuadas y representativas de material (1000 g aproximadamente) en bolsas plásticas, para cada uno de los ensayos.



**Imagen 5.** Cuantificación del material.  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

#### 5.2.5 Pulverización.

La pulverización del material se realizó en el laboratorio de Procesamiento de Minerales. Para realizar el proceso de pulverización de la muestra (Imagen 6) se empleó el equipo de pulverizar de marca RETSCH Modelo RS1.

##### Procedimiento:

- Tomamos de muestra del material que pasa el tamiz # 10, procedemos a esparcirlo en un plástico, cuarteamos el material esparcido y tomamos una muestra de 150 gr, para

realizar la pulverización. El tiempo de pulverización será de 5 minutos, a una velocidad de 700 rpm.



**Imagen 6.** Equipo para Pulverizar.  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### **5.3 Caracterización del material**

#### **5.3.1 Peso específico.**

El método del picnómetro se ha empleado para calcular el peso específico del material pulverizado, este proceso se lo realizó en la sección de balanzas y se utilizó la balanza de marca OHAUS Modelo Discovery (Imagen 7).

#### **Procedimiento:**

Para sacar el peso específico, vamos a utilizar la muestra pulverizada:

- Pesamos el picnómetro vacío (P1).
- Pesamos el picnómetro + muestra (P2).
- Pesamos el picnómetro + muestra + agua (P3).
- Pesamos el picnómetro + agua (P4).

Este procedimiento lo realizamos por tres veces. Anotamos los datos de cada peso, aplicamos la fórmula y obtenemos el peso específico de la muestra.

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



**Imagen 7.** Método del Picnómetro  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### 5.3.2 Análisis Granulométrico (Deslamado).

El análisis granulométrico (deslamado), lo realizamos en el laboratorio de Fusión y Copelación. Para realizar el análisis granulométrico se utilizó un vibrotamiz de marca RETSCH, un conjunto de tamices estandarizados ASTM, un desburtador de tamices y una balanza electrónica (Imagen 8).

#### **Procedimiento:**

- Tomamos una muestra representativa 250 gr del material que pasa la el tamiz # 10., y lo colocamos en un recipiente plástico.
- Ubicamos la serie de tamices en el vibro tamiz, siguiendo la serie de abajo hacia arriba (fondo, 400, 325, 230, 200, 120, 35, 18, 10).
- Colocamos la muestra en la parte superior de la serie de tamices (tamiz #10).
- Se programa el vibro tamiz a 5 min de tiempo, en un intervalo de 15 segundos (vibración), con una amplitud de 1,60 ml/gr, con un caudal de 1 lit/min.
- Esperamos que el proceso termine, un indicador es cuando el agua sale limpia, entonces procedemos a cerrar la alimentación de agua.

- Luego se procede a sacar todo el retenido de los tamices en un recipiente de vidrio y lo ponemos a secar en el horno.
- Sacamos el material deslamado del horno, lo pesamos, lo guardamos y lo etiquetamos.



**Imagen 8.** Ensayo Granulométrico.  
**Código de muestra:** CS-N  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### 5.3.3 Análisis mineralógico.

El Análisis Mineralógico, se lo realizó en el laboratorio de Fusión y Copelación y en la sección de Balanzas. Para realizar el Análisis Mineralógico (Imagen 9) se empleó un microscopio OLIMPUS BH2-UMA.



**Imagen 9.** Microscopio OLYMPUS BH\_2  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

#### **5.3.4 Sección Pulida.**

La sección pulida, la realizamos en el laboratorio de Mineralogía. Para la elaboración de las secciones pulidas (Imagen 10) se empleó el equipo de cámara al vacío de marca BUEHLER (Imagen 10-1); además, para el lijado se empleó una máquina de lijado de marca METASRV (Imagen 10-2), el pulido de las muestras una pulidora PETROPOL BUEHLER (Imagen 10-3). Finalmente para el análisis mineralógico se usó un microscopio OLYMPUS BH-2. (Imagen 19).

#### **Procedimiento:**

- Tomamos 20 gr de muestra pulverizada, a la cual se platonea y se seca en la estufa por 24 horas.
- El material una vez frío, se procede a extraer los materiales magnéticos con ayuda de un imán.
- Se coloca aproximadamente 0,5 cm de muestra dentro del molde de plástico.
- Mezclar resina y endurecedor 5:1 en un vaso debidamente titulado y se agita por un minuto; se coloca resina hasta que cubra sin agitar demasiado para evitar burbujas dentro del molde.
- Se coloca la muestra en el equipo de cámara al vacío BUEHLER por 48 horas.
- Luego del secado se emplea una pulidora BUEHLER METASERV con una lija 800.
- En la pulidora TETROPOL BUEHLER haciendo uso de un paño especial para pulir, el proceso implica pasar cada muestra en la pulidora con un intervalo de 20 minutos añadiendo en el paño, 2 gotas de suspensión de diamante de 4 micrones, liquido amarillo para posterior seguir puliendo con un intervalo de 20 minutos añadiendo en el paño, 2 gotas de suspensión de diamante de 6 micrones, liquido azul. Finalmente se procede a observar con el microscopio (Díaz, 2014).



**Imagen 10.** Sección Pulida.  
**Código de muestra:** CS-N  
**Fuente:** Marcheno, 2015.



**Imagen 10-1.** Cámara al vacío de marca BUEHLER.



**Imagen 10-2.** Máquina de lijado de marca METASRV



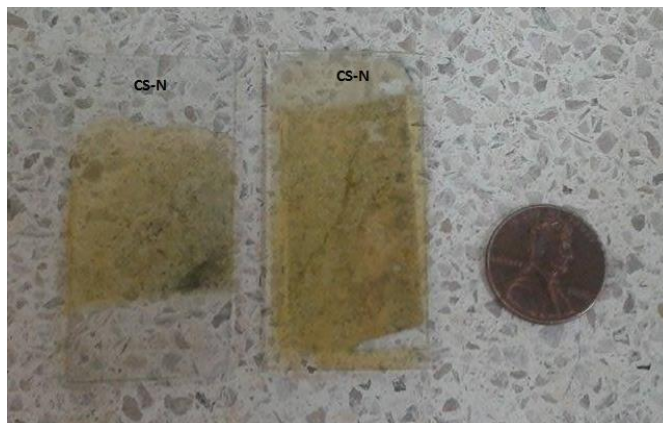
**Imagen 10-3.** Pulidora PETROPOL BUEHLER.

### 5.3.5 Lamina Delgada.

La lamina delgada, se la realizó en el laboratorio de Procesamiento de Minerales y Mineralogía. Para la elaboración de la lámina delgada (Imagen 11) se empleó la Máquina de corte de rocas de disco adiamantado de marca ISOMET LAPRO 18 (Imagen 11-1); para el pegado y secado se empleó resina preparada para en la superficie de la muestra a analizar y la bomba de vacío respectivamente, para el lijado se empleó la máquina de lijado de marca METASRV (Imagen 10-2), para el pulido de las muestras una pulidora PETROPOL BUEHLER (Imagen 10-3). Finalmente para el análisis mineralógico se usó un microscopio OLYMPUS BH\_2 (Imagen 19).

#### Procedimiento:

- Se escogió la roca que presente más mineralización (sulfuros).
- Se recorta la roca en una forma rectangular de dimensiones de 4 x 3 x 1 cm, medidas que se adaptan al molde de impregnación (placa de porta objetos).
- Se seca la muestra en la estufa a una temperatura promedio de 60°C (Veintimilla, 2014).
- Se procede a desbastar la muestra por una de las caras de mayor interés mineralógico, utilizando las siguientes lijas abrasivas # 120, 240, 400, 600 y 800.
- Se prepara la resina (resina y endurecedor 5:1) y se coloca sobre la superficie de la muestra a analizar para rellenar los poros de la muestra.
- Se seca en la bomba de vacío durante 7 días.
- Se calienta la muestra en una plancha caliente y se coloca pega sintética, que permite pegar la muestra en el porta objetos, haciendo presión por toda la superficie a pegar.
- Se procede a cortar en el cortador – rectificador varias veces, hasta reducirla aproximadamente 300 µm.
- Se analiza el resultado en el microscopio.



**Imagen 11.** Lamina delgada.  
**Código de muestra:** CS-N  
**Fuente:** Marcheno, 2015.



**Imagen 11-1.** Máquina de corte de rocas de disco adiamantado.

### 5.3.6 Fluorescencia de Rayos X.

La fluorescencia de rayos X, lo realizamos en el laboratorio de Fusión y Copelación y en la sección de balanzas. Para realizar el ensayo de fluorescencia de rayos X, se empleó la Pistola de Fluorescencia de rayos x de marca S1turbo SD (Imagen 12).

#### Procedimiento:

- Homogenizamos la muestra pulverizada.
- Llenamos capsula de plástico, con material pulverizado al tope.
- Llenamos el recipiente de plástico y lo colocamos en la pistola de fluorescencia.
- Calibramos el equipo para que nos de datos de la cantidad de óxidos y metales, que existen en la muestra.



- Anotamos los datos obtenidos, guardamos la muestra y guardamos el equipo.

-



**Imagen 12.** Equipo de Fluorescencia de Rayos X  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### 5.3.7 Análisis Químico (Fusión - Copelación).

El análisis químico (Fusión - Copelación), lo realizamos en el laboratorio de Fusión y Copelación y en la sección de balanzas. Se empleó dos muflas eléctricas de 220 V para el proceso de fusión-copelación, la primera es una mufla de serie LN/3 35/90 para fusión con una temperatura de 1000 °C y una mufla de serie LN/3 34/90 para la copelación con una temperatura de 900 °C (Imagen 13).

#### Procedimiento:

- Pesamos 90 gr de Flux, y lo colocamos en un crisol de fundición.
- Pesamos 2,5 gr de harina y lo colocamos en el crisol (Reductor).
- Pesamos 25,00 gr de muestra pulverizada, la colocamos en el crisol y mezclamos con lo antes pesado.
- Cubrimos la superficie superior del crisol con una capa de Bórax.
- Identificamos y etiquetamos los crisoles.
- Colocamos los crisoles en la mufla (fundición) eléctrica de 220 V, a una temperatura de 1000 °C por 1 hora.
- Retiramos los crisoles con la tenaza y se voltea el contenido en las lingoteras.
- Una vez fría la carga fundente, se separa la escoria del plomo y se procede a darle una forma al régulo plomo (el plomo por su maleabilidad puede adoptar cualquier forma), y se lo pesa.

- Luego colocamos cada uno de estos régulos en las copelas, y lo llevamos a la mufla de copelación por 2 horas a una temperatura de 900 °C, hasta que el plomo se evapore y sea absorbido por la copela, dando como resultado una perla de oro y plata (DORE).
- Sacamos las copelas de la mufla y procedemos a recuperar el DORE de cada una de estas copelas (utilizando el martillo se lamina y se aumenta la superficie del DORE).



**Imagen 13.** Muflas de Fisión (Izquierda) Y Copelación (Derecha)  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

### 5.3.8 Digestión Ácida.

La Digestión Ácida, la realizamos en el Laboratorio de Digestión de Muestras, de la Escuela de Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja. Para la Digestión Ácida de los DORES, se utiliza ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en diluciones, para eliminar la plata (Ag), como se muestra en la Imagen 13-1.

#### Procedimiento:

- Cuantificamos los DORES.
- Atacamos en el laboratorio de digestión los DORES con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) diluido: Primera Digestión: 1 ml de  $\text{HNO}_3$  con 7 ml de  $\text{H}_2\text{O}$ , Segunda Digestión: 1 ml de  $\text{HNO}_3$  con 3 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  y Tercera Digestión: 1 ml de  $\text{HNO}_3$  con 1 ml de  $\text{H}_2\text{O}$
- Cuantificamos los botones de oro y realizamos los cálculos.



**Imagen 13-1.** Digestión de Muestras  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

## **5.4 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson**

### **5.4.1 Tiempos de molienda.**

Para determinar el tamaño de grano adecuado o cercano al ideal en la molienda se realizaron varios ensayos, se experimentó con los siguientes tiempos: 1', 1'30", 3', 5', 15', 20', 25', 40' (Tabla 4). Los ensayos se los realizó en el laboratorio de Procesamiento de Minerales y Mineralogía. Para el determinar los tiempos de molienda se empleó el equipo de Molino de bolas de marca MIM (Metal Industria Morocho) (Imagen 14), conjunto de tamices estandarizados ASTM, un desobturador de tamices, una balanza electrónica y una estufa de marca POL-EKO.

#### **Parámetros de molienda:**

- Peso Muestra: 1000 gr
- Volumen de Agua: 1000 ml.
- Dilución S/L: 1/1
- Carga de Molienda: 11,46 kg 40% de llenado
- Volumen del Cilindro: 0.0065 m<sup>3</sup>
- Velocidad Crítica (tc): 72 rpm

### Procedimiento:

- Se toma 1 kg de muestra que pasa el tamiz # 10, un litro de agua y pesamos las bolas.
- Se introduce en el cilindro del molino, las bolas, la muestra y el agua.
- Tapamos el molino y experimentamos los tiempos de molienda y contamos las RPM del molino.
- Una vez finalizado el proceso de molienda, se descarga en un recipiente el material, se deja que se sedimente, retiramos el agua y secamos el material en la estufa.
- Homogenizamos y pesamos 250 gr de material, para realizar el análisis granulométrico.
- Secamos las muestras y hacemos el análisis granulométrico.
- Cuantificamos, etiquetamos y guardamos la muestra retenida de cada tamiz en una bolsa plástica.
- Con los datos procedemos a realizar las gráficas de las pruebas de molienda a varios tiempos, como se los describen en la **Tabla 3**.



**Imagen 14.** Molino de Bolas.  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

**Tabla 3:** Tiempos de Molienda

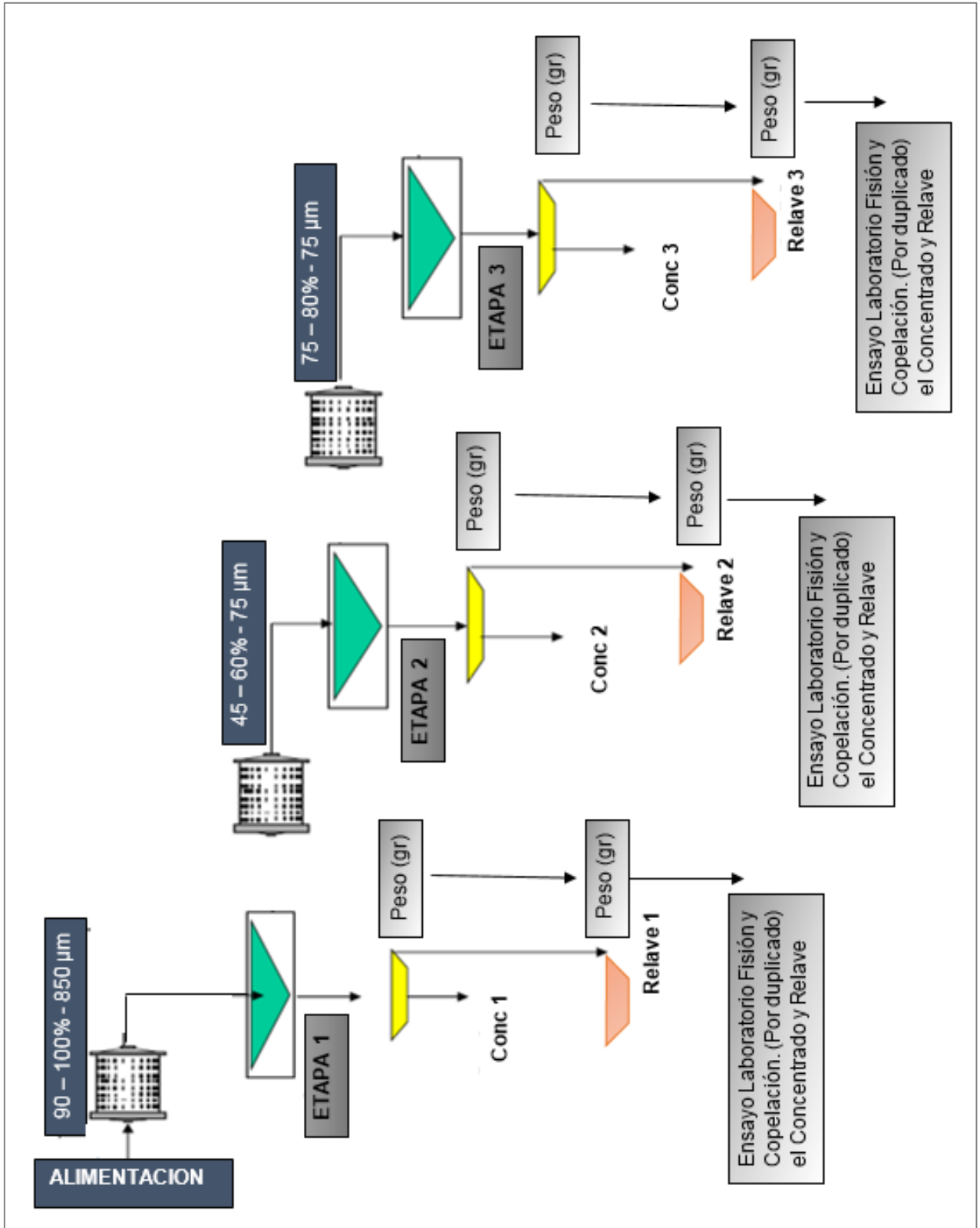
<b>TIEMPOS DE MOLIENDA</b>	<b>D80 (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
1 min	1100
1 min 30 seg	905
3 min	732
5 min	459
15 min	130
20 min	107
25 min	93
35 min	68

**Fuente:** Experimental  
**Elaboración:** El Autor

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

El proceso de la prueba se desarrolló en el laboratorio de Procesamiento de Minerales. En la Imagen 15 se demuestra la metodología empleada para el desarrollo de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson.

La prueba de laboratorio para determinar el factor ORG, consiste de tres etapas de molienda y recuperación secuencial. Se basa en la reducción del tamaño de partícula del material, lo que permite la recuperación de oro y plata durante la concentración centrífuga realizada en el equipo Knelson (KC-MD3). La molienda progresiva tiene como el fin, obtener un valor confiable del factor ORG, así como una indicación de su distribución granulométrica y de su secuencia de liberación, mientras al mismo tiempo se previene las pérdidas de oro grueso por interacción con partículas de ganga (Knelson Research & Technology Centre, 2009).



**Imagen 15.** Diagrama de flujo de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson

**Fuente:** (Services Inspectorate Exploration & Mining Ltd, 2014)

**Elaborado:** Marcheno, 2015.

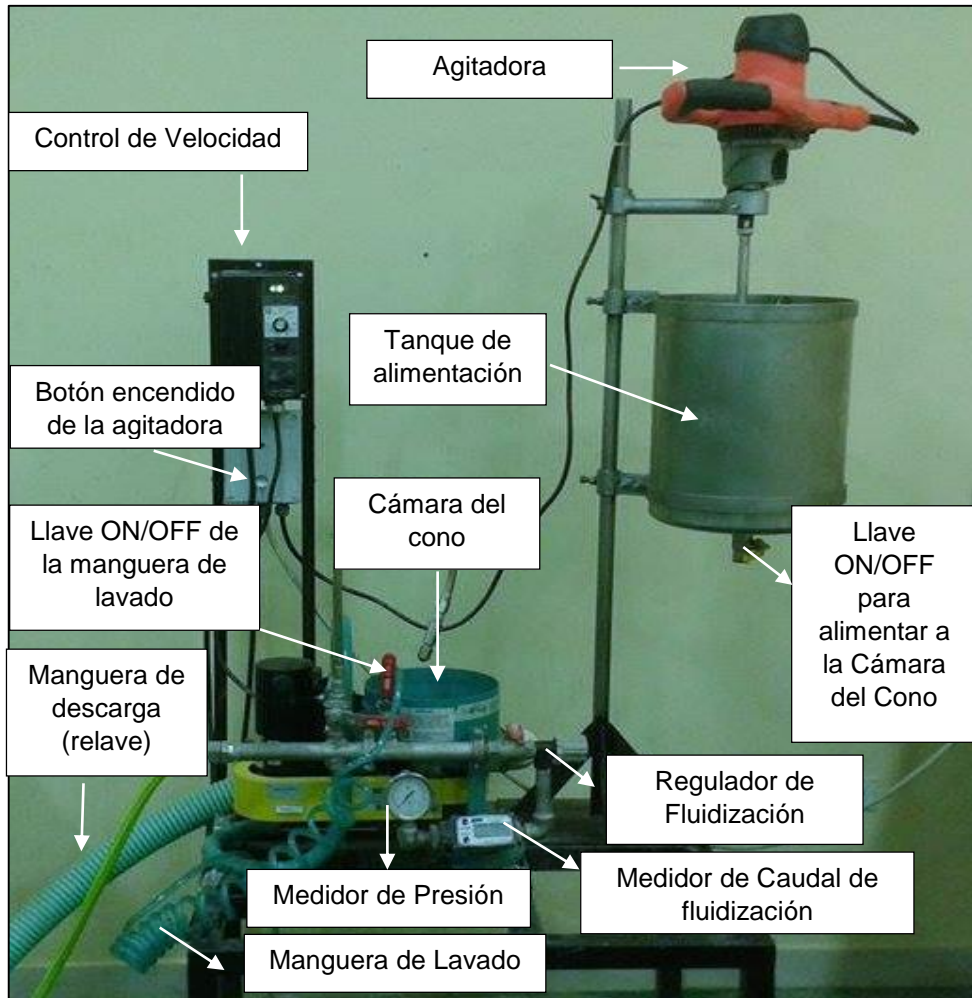
### **Procedimiento:**

- Se muele el material de estudio.
- Se seca, se homogeniza, y se cuantifica el material.
- Se arma el equipo Knelson.
- Se coloca un recipiente, al final de la manguera de descarga (relave) y un pírex debajo de la llave para el lavado de la cámara del cono.
- En el tanque de alimentación del equipo Knelson, se coloca 1 litro de agua por cada kilo de mineral a ser procesado, se enciende el agitador (esta acción permitirá diluir el material con el agua), este proceso se lo realiza por un tiempo de 10 minutos.
- Con el cuantificador de revoluciones, se mide las revoluciones por minuto está girando el agitador.
- Se establecen las condiciones de trabajo, para la prueba metalúrgica: tamaño de la partícula del mineral (primera etapa 743  $\mu\text{m}$  a 3 minutos de molienda, segunda etapa 130  $\mu\text{m}$  a 15 minutos de molienda y tercera etapa 68  $\mu\text{m}$  a 35 minutos de molienda), a 445 rpm, con un caudal de fluidización de 3, 5 Lit/min, a 1 PSI de presión y con una fuerza de 60 G's.

### **Primera, segunda y tercera etapa de concentración en el equipo Knelson**

- Se abre la llave de alimentación de agua y se enciende el concentrador Knelson.
- Se alimenta al concentrador Knelson con el mineral del tanque de alimentación.
- Se procede a cerrar la llave del tanque de alimentación, se apaga el agitador, se espera por algunos segundos, se apaga el equipo Knelson y se cierra simultáneamente la llave del agua.
- Se abre la llave del concentrador, se evacua el agua en el pírex que se encuentra debajo de la cámara del cono y con ayuda del aspeador para el lavado del cono se deposita el mineral concentrado en un pírex.
- Secamos y cuantificamos el concentrado y el relave.
- Homogenizamos y separamos 100 gr de relave.
- Pulverizamos el concentrado y el relave.
- Realizamos los ensayos de fusión – copelación (siguiendo la metodología descrita anteriormente), de concentrado y relave por duplicado.
- Se arma el equipo y se puede realizar más ensayos siguiendo la metodología anterior.





**Imagen 16.** Concentrador Knelson.  
**Fuente:** Marcheno, 2015.



**Imagen 17.** Accesorios y Aspeadores.  
**Fuente:** Marcheno, 2015



**CAPITULO VI**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

## 6.1 Análisis mineralógico

El análisis mineralógico en lámina delgada y sección pulida, ha permitido determinar los porcentajes de distribución de la mineralogía en el material mina analizado. Los porcentajes de los minerales tienen un valor aproximado y están valorados por estimación visual.

### 6.1.1 Lamina delgada.

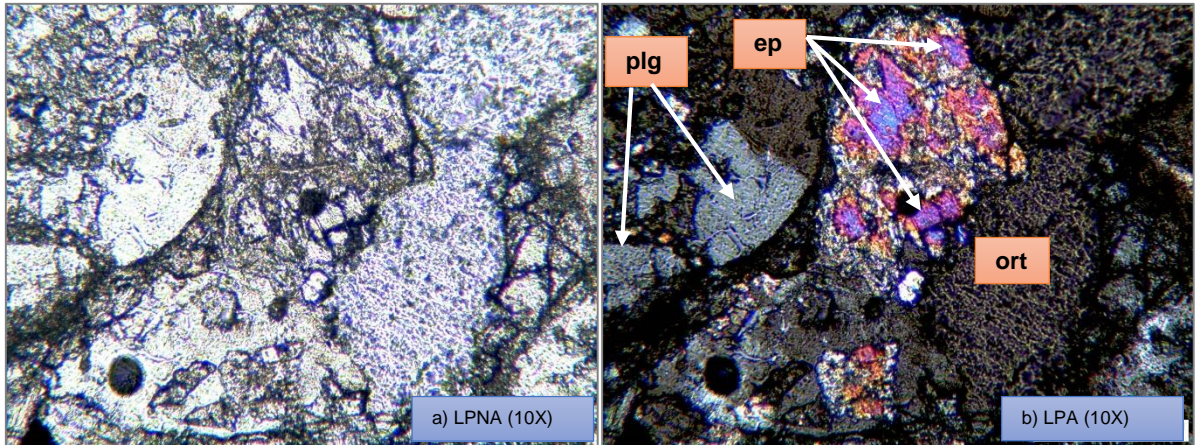
A partir del análisis mineralógico, en la Tabla 4, se describen los porcentajes de minerales claros que se observan en la lámina delgada analizada, los cuales son: ortosa, plagioclasa, epidota, cianita, granate y ganga.

**Tabla 4:** Minerales y sus respectivos porcentajes en la muestra de lámina delgada analizada.

<b>MINERAL</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Ortosa	37
Plagioclasa	28
Epidota	16
Cianita	13
Granate	9
Ganga	5

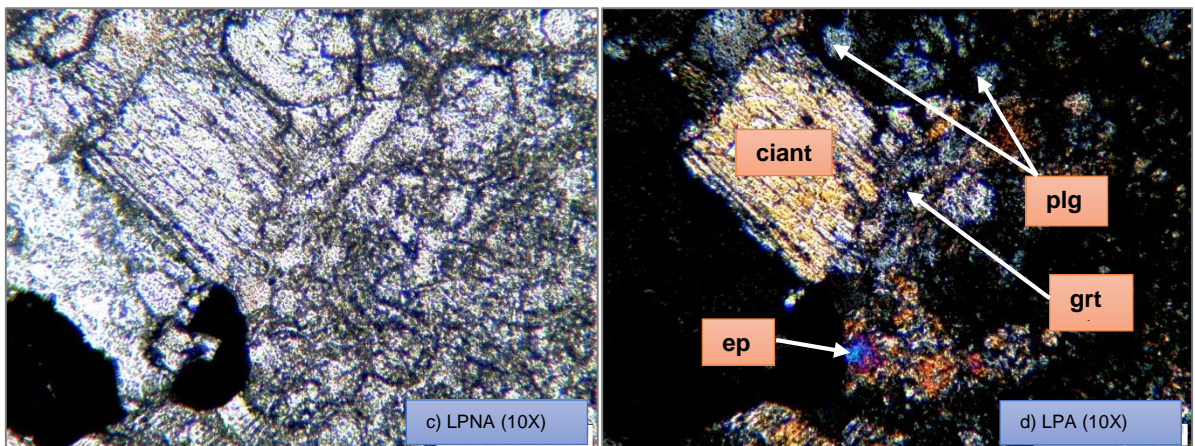
**Fuente:** Marcheno, 2015.

Fotografías de minerales tomadas con el microscopio polarizador Olympus BH-2 con luz transmitida:



**Foto 1.** Análisis de Lámina Delgada: ortosa (ort), plagioclasa (plg), epidota (ep).  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

En la foto 1, en el literal b, se puede observar los minerales con Luz Polarizada Analizada (LPA) en donde la ortosa se presenta como matriz de esta lamina delgada con un color de interferencia gris de primer orden según la tabla de Birrefringencia (Anexo 5), con una exfoliación buena y un relieve bajo; con inclusiones de epidota en la cual se observa colores de interferencia muy altos y frecuentemente variados que van desde rosado intenso a azul, presentado una exfoliación intermedia con un relieve alto y con inclusiones de plagioclasa en la cual se observa una coloración de interferencia de gris o blanco de primer orden según la tabla de Birrefringencia (Anexo 5), con una exfoliación perfecta y un relieve bajo.



**Foto 2.** Análisis de Lámina Delgada: cianita (ciant), plagioclasa (plg), epidota (ep), granate (grt)  
**Fuente:** Marcheno, 2015.

En la foto 2, en el literal d, se puede observar los minerales con Luz Polarizada Analizada (LPA) en donde la cianita presenta un color de interferencia amarillo de primer orden según la tabla de Birrefringencia (Anexo 5), con una exfoliación buena y un relieve alto; con inclusiones

de granate que se presenta ligeramente coloreado (crema-rosa, amarillo, verde o marrón) y con un relieve intermedio a bajo; y con inclusiones en pequeñas cantidades de epidota y plagioclasa, que presentan las mismas características a las citadas en la foto 1, del literal b.

En el análisis mineralógico de lámina delgada se encontraron cantidades altas de ortosa y plagioclasa, además de epidota, cianita, granate y ganga. Lo que indica la existencia de minerales que se encuentran frecuentemente asociados a la roca metamórfica skarn.

Según (PRODEMINCA, 2000) la mineralización de Nambija y minas próximas aparece dentro de vetas de cuarzo localmente acompañado por carbonato, feldespato, clorita y epidota. Además dentro del carbonato, clorita, clinopiroxeno alterado, granate y pirita y fracturas dentro de estos minerales.

### 6.1.2 Sección pulida.

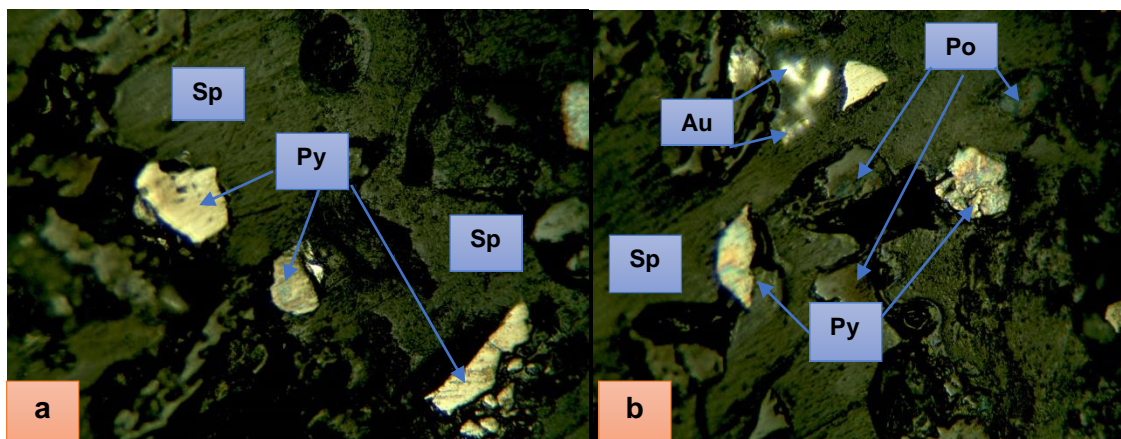
En la Tabla 5 se describen los porcentajes de minerales opacos que se observan la sección pulida: pirita, calcopirita, esfalerita – pirrotina, los cuales se encuentran asociados al oro, éste se encuentra como inclusiones dentro de la pirrotina.

En el estudio mineralógico realizado por (Cabrera, 2014) coincide con los datos obtenidos del presente trabajo, especialmente en la asociación mineralógica de esta sección pulida, ya que los dos estudios se han realizado en el Condominio Sur de Nambija.

**Tabla 5:** Minerales y sus respectivos porcentajes en la muestra de lámina sección pulida analizada.

MINERAL	PORCENTAJE (%)
Esfalerita	38
Pirrotina	26
Pirita	17
Calcopirita	6
Ganga	13

**Fuente:** Marcheno, 2015.



**Foto 3.** Análisis de Sección Pulida: a) Pirita (Py), Esfalerita (Sp); b) Pirrotina (Po), Inclusiones de Pirita (Py) y Oro (Au) en la matriz de pirrotina, Esfalerita (Sp).

En la foto 3, de izquierda a derecha en el literal a, se puede observar el predominio de esfalerita como matriz, con inclusiones de pirrotina y pirita, en el literal b, al igual que en lo anterior se observa a la esfalerita como matriz, con inclusiones de pirrotina y pirita, con diferencia que en esta fotografía la pirita presenta cambios en su coloración, lo que indica que está sufriendo procesos de alteración. Además se observa las inclusiones de Oro dentro de pirrotina.

Según (PRODEMINCA, 2000) el Oro de Nambija puede aparecer en cantidades secundarias de pirita, menores de calcopirita y trazas de pirrotina, magnetita, esfalerita, galena y telurios de Bi dentro del cuarzo y/o en la zona proximal de alteración, pero no existe una fuerte asociación entre los sulfuros y el contenido de oro. El Oro ocurre en forma de pequeñas masas, láminas o diseminaciones finas dentro de, o asociado a las vetas en las litologías skarnificadas.

## 6.2 Fluorescencia de rayos X

La fluorescencia de rayos X, es una técnica que basa en el estudio de emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X.

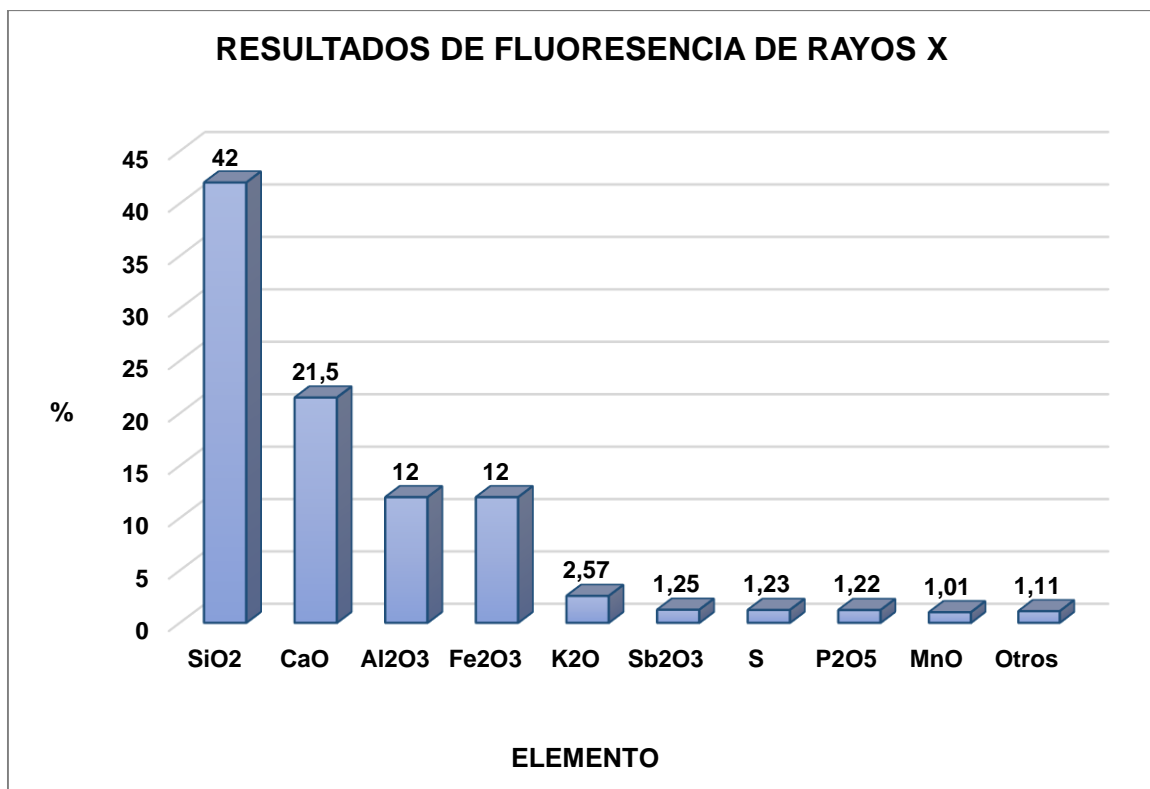
En la Tabla 6 se observan los distintos valores del ensayo de fluorescencia de rayos X.

**Tabla 6:** Resultados del ensayo de Fluorescencia de Rayos X

ELEMENTO	%
SiO <sub>2</sub>	42
CaO	21,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12
K <sub>2</sub> O	2,57
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25
S	1,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,22
MnO	1,01
Otros	1,11

Fuente: Marcheno, 2015.

**Gráfico 2.** Fluorescencia de Rayos X



Elaboración: El Autor



En el gráfico 1, se describen los porcentajes de la mineralización del material de mina analizado en el presente estudio, en el cual se observa que la mayor cantidad de concentración en porcentaje, corresponde al SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, esto se puede corroborar con los datos obtenidos en el análisis de mineralógico realizado, ya que los minerales presentes con SiO<sub>2</sub> son: Ortosa (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), Plagioclasa (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), Epidota (Ca<sub>2</sub>Fe<sup>3+</sup>Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(SiO<sub>4</sub>)O(OH), Cianita (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>), Granate (Ca,Fe,Mg,Mn)<sub>3</sub>(Al,Fe,Mn,Cr,Ti,V)<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Seguidos de minerales que presentan porcentajes más bajos de mineralización como son: K<sub>2</sub>O, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S en el caso de la esfalerita (ZnS), pirrotina (Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>), pirita (FeS<sub>2</sub>), calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>).

Estos resultados contribuyen a la mineralogía, ya que proporcionan el nombre exacto de los minerales, y complementan los análisis realizados anteriormente. Además permiten determinar que la roca con la cual se realiza la investigación corresponde a un Skarn.

### 6.3 Peso específico

En la Tabla 7 se observan los distintos valores de peso específico obtenidos con el método del picnómetro, así mismo se ha obtenido un valor promedio de todos los valores.

**Tabla 7:** Resultados de los ensayos de peso específico

<b>PESO ESPECÍFICO (Y)</b>	
<b>Y1</b>	<b>3,2</b>
<b>Y2</b>	<b>3,3</b>
<b>Y3</b>	<b>2,8</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,12 g/cm<sup>3</sup></b>

**Fuente:** Marcheno, 2015.

El Peso Específico (Y) del material de mina obtenido dentro del Distrito Minero Nambija “Condominio Sur” es de **3,12 g/cm<sup>3</sup>**.

#### 6.4 Análisis granulométrico y tiempos óptimos de molienda

La realización del análisis granulométrico, nos permite conocer la distribución de tamaño de grano luego del proceso de molienda, en la (Tabla 8) se describen la granulometría de uno de los tiempos óptimos de molienda.

**Tabla 8:** Granulometría inicial del mineral

<b>TIEMPO DE MOLIENDA: INICIAL 3 MINUTOS</b>		
<b>Malla #</b>	<b>µm</b>	<b>% Retenido</b>
<b>10</b>	2000	0,00
<b>18</b>	1000	11,49
<b>35</b>	500	18,06
<b>60</b>	250	21,71
<b>120</b>	125	17,03
<b>200</b>	75	10,33
<b>230</b>	63	3,35
<b>325</b>	45	4,21
<b>400</b>	38	1,10
<b>-400</b>	0	12,70
<b>TOTAL</b>		<b>100,0</b>

**Fuente:** Marcheno, 2015.

En la **Tabla 9.**, se definen los tiempos óptimos para la recuperación de oro gravimétricamente del material muestreado.

**Tabla 9:** Tiempos óptimos de molienda

<b>TIEMPOS DE MOLIENDA</b>	<b>D80 (µm)</b>
1 min	1100
1 min 30 seg	905
<b>3 min</b>	<b>732</b>
5 min	459
<b>15 min</b>	<b>130</b>
20 min	107
25 min	93
<b>35 min</b>	<b>68</b>

**Fuente:** Investigación Experimental  
**Elaboración:** El Autor





# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

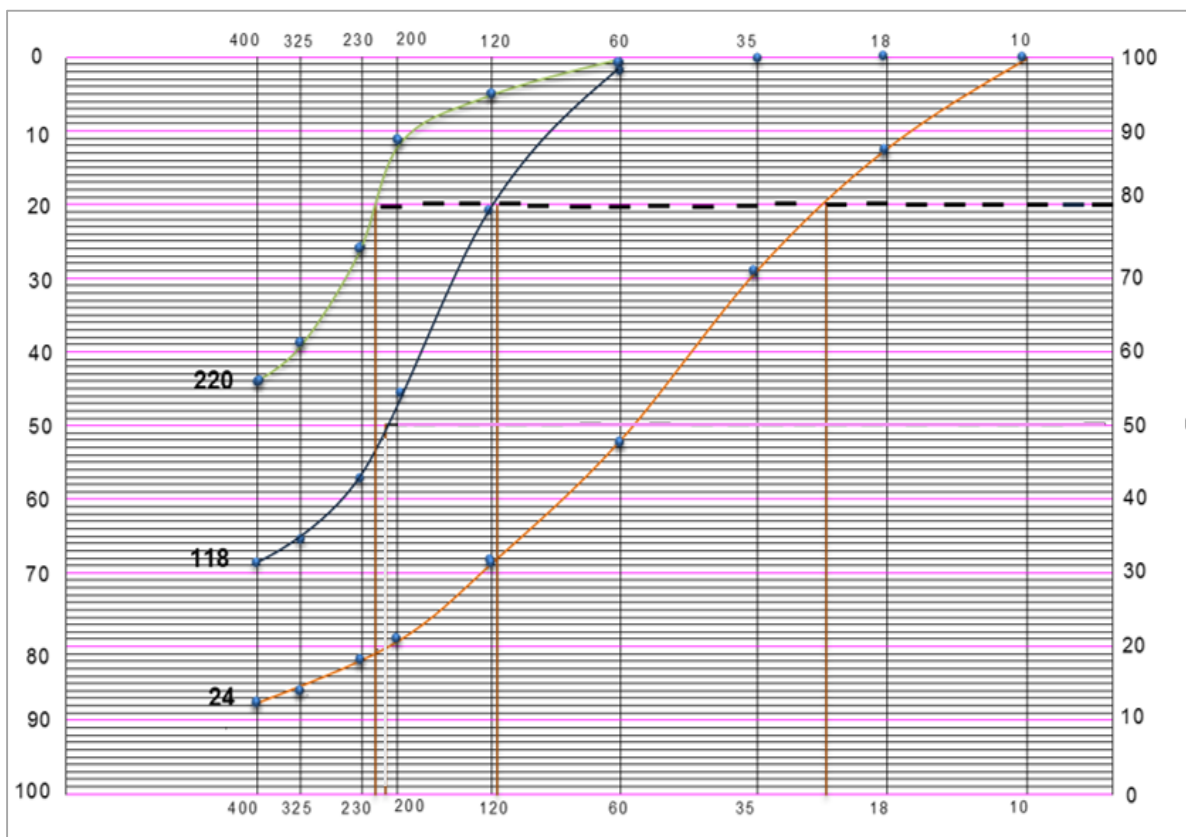
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS

## ANÁLISIS GRANULUMÉTICO



**NOMBRE:** Jefferson Marcheno

**PROYECTO:** ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO DEL MATERIAL DE MINA DEL DISTRITO NAMBIJA – CONDOMINIO SUR”.



**Figura 4.** Curvas Granulométricas de los Tiempos Óptimos de molienda

**Fuente:** Marcheno, 2015

En la figura 4, se observan las curvas granulométricas de los tiempos óptimos de molienda con su respectivo D80, según los parámetros requeridos en la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson, las mismas que describen los datos representados en la Tabla 9. La primera curva, de derecha a izquierda, corresponde al ensayo granulométrico del material de mina del sector Nambija” Condominio Sur” a 3 minutos de molienda, con un D80= 743 µm (220 malla), a 15 minutos de molienda, con un D80= 130 µm (118 mallas) y finalmente a 35 minutos de molienda, con un D80= 68 µm (24 mallas).

## 6.5 Ley de cabeza

La ley de cabeza es el contenido de finos en el mineral que entra al proceso de concentración, para nuestro estudio se ha procedido a analizar del material de mina del distrito minero Nambija “Condominio Sur”.

**Tabla 10:** Ley de Cabeza

LEY DE CABEZA	
METAL	Ley g/Ton
Oro (Au)	6,66
Plata (Ag)	9,29

**Fuente:** Investigación Experimental

**Elaboración:** El Autor

En la Tabla 11, se describe la ley de cabeza de Oro (Au) y Plata (Ag) del material de mina analizado en el presente estudio, la ley de cabeza de oro es de **6,6 g/Ton**.

## 6.6 Malla valorada

La Malla Valorada tiene como objetivo conocer la distribución de oro en las mallas (# 60, # 200, # 400, # -400).

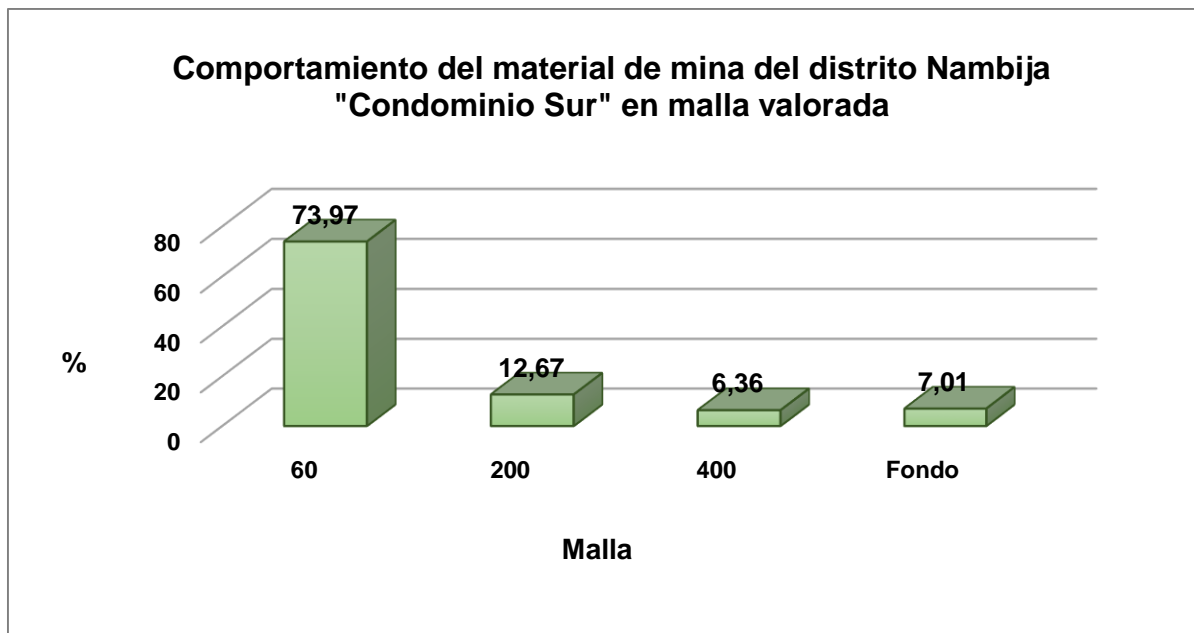
**Tabla 11:** Malla Valorada

MALLA VALORADA					
Malla	Peso Muestra	%	LEY Au (g/Ton)	MALLA VALORADA	%
60	171,57	69,66	6,78	4,73	73,97
200	38,39	15,59	5,19	0,81	12,67
400	13,65	5,54	7,33	0,41	6,36
-400	22,68	9,21	4,86	0,45	7,01
<b>Total</b>	<b>246,29</b>	<b>100</b>	<b>24,16</b>	<b>6,39</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigación Experimental

**Elaboración:** El Autor

**Gráfico 3.** Representación gráfica del Comportamiento del material de mina del distrito Nambija "Condominio Sur" en Malla Valorada



Elaboración: El Autor

En el Gráfico 2, se describe el comportamiento del material de mina ensayado, se puede observar que en la malla # 60, se encuentra la mayor cantidad del material retenido, seguido por la malla # 200, 400 y el Fondo (-400). Con estos datos se puede identificar el tamaño de grano donde se concentra el oro que está en la malla # 60, siendo una recuperación de oro grueso.

## 6.7 Prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson

### 6.7.1 Ensayo 1.

**Tabla 12:** Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas

PRODUCTO		LEY Au g/Ton	DISTRIBUCIÓN (%)
D68,8= 500 µm	Cc	36,75	10,76
	Colas	6,4	2,63
D48,3= 74 µm	Cc	212,2	22,69
	Colas	4,2	1,72
D85,6= - 74 µm	Cc	83,8	27,87
	Colas	1,9	34,33
<b>FACTOR ORG</b>		<b>61,32%</b>	

**Fuente:** Investigación Experimental

**Elaboración:** El Autor

### 6.7.2 Ensayo 2.

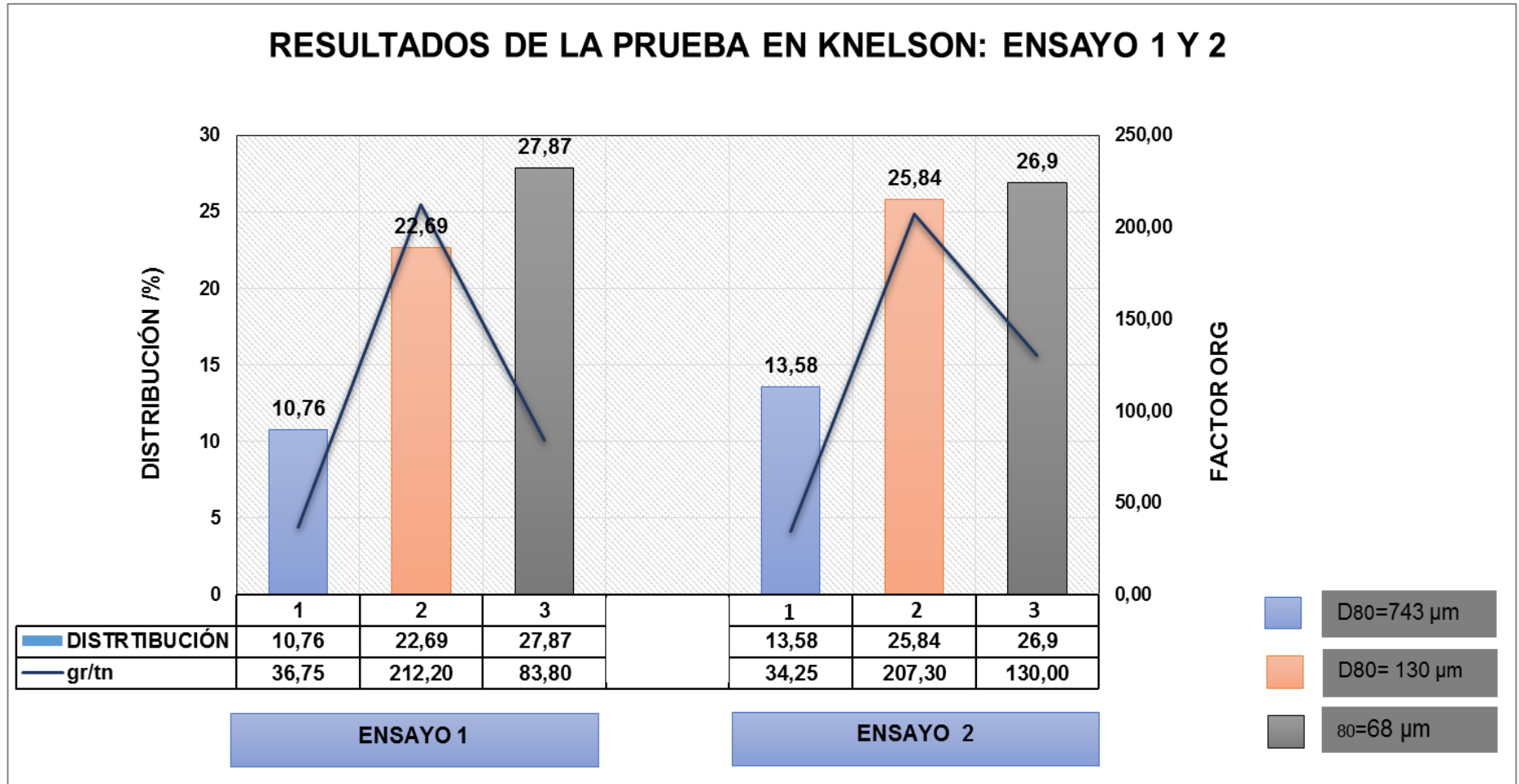
**Tabla 13:** Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas

PRODUCTO		LEY Au g/Ton	DISTRIBUCIÓN (%)
D67,3= 500 µm	Cc	34,25	13,58
	Colas	6,2	2,46
D44,9= 74 µm	Cc	207,3	25,84
	Colas	3,9	1,55
D84,9= - 74 µm	Cc	130	26,90
	Colas	1,7	29,68
<b>FACTOR ORG</b>		<b>66,31 %</b>	

**Fuente:** Investigación Experimental

**Elaboración:** El Autor

**Gráfico 4:** El factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en la Ensayo 1 y Ensayo 2.



Elaboración: El Autor

El gráfico 1 se representa los porcentajes de recuperación en el Ensayo 1 y Ensayo 2 de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG (Oro Recuperable Gravimétricamente) en el equipo Knelson, correspondiente a los datos de las Tablas 12 y 13 respectivamente.

El rendimiento de recuperación de Ensayo 1 es de 61,32 %, mientras que para la Ensayo 2 el rendimiento es de 66,31 %. El promedio alcanzado de recuperación de oro de esta prueba es 63,71 %.

La primera gráfica, de izquierda a derecha, corresponde al Ensayo 1 de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson, se describe en barras la distribución de oro de los concentrados por etapas, identificamos que la distribución de este ensayo es de orden ascendente, llegando a un porcentaje máximo de 27,87%. La gráfica que esta sobre las barras de distribución del Ensayo 1, describe la ley de Au que se encuentra distribuida en cada uno de los concentrados por etapas, en la cual se observa que la primera etapa tiene una ley de oro de 36,75 g/Ton, la segunda etapa una ley de 212,20 g/Ton, que es la mejor concentración de oro en esta ensayo, seguida de una ley de 83,80 g/Ton., lo que indica que a medida de que la distribución aumenta en porcentaje, la ley de oro llega a su punto máximo correspondiente a la segunda etapa y decae.

La segunda gráfica, corresponde al Ensayo 2 de la prueba metalúrgica para determinar el factor ORG en el equipo Knelson, en la misma se describe en barras la distribución de oro de los concentrados por etapas, en la cual se identifica que la distribución en este ensayo es de orden ascendente, llegando a un porcentaje máximo de 26,9%. La gráfica que esta sobre las barras de distribución del Ensayo 2, describe la ley de Au que se encuentra distribuida en cada uno de los concentrados por etapas, en la cual se observa que la primera etapa tiene una ley de oro de 34,25 g/Ton, la segunda etapa una ley de 207,30 g/Ton., que es la mejor concentración de oro en este ensayo, seguida de una ley de 130 g/Ton.

En el Ensayo 1 y 2 de la presente prueba metalúrgica, se puede corroborar que los datos obtenidos se relacionan con el estudio de concentración por Knelson realizado por (Cabrera, 2014), que coincide con la mejor recuperación de oro, se encuentra dentro del rango abertura de 130  $\mu\text{m}$ , empleado en nuestro estudio, con el cual se obtuvieron los mejores porcentajes de recuperación.

Según (Services Inspectorate Exploration & Mining Ltd, 2014) el porcentaje de recuperación de oro alcanzado en la prueba de su estudio está el entre rango de 47,1% a 56,9%, lo que nos permite comparar con los resultados obtenidos en la recuperación en nuestro estudio, los mismos que se encuentran dentro del rango de recuperación alcanzado en este estudio y establecido por los fabricantes del concentrador Knelson.

## CONCLUSIONES

De la discusión de resultados del presente trabajo investigativo, se puede concluir:

- En el análisis mineralógico nos presenta los siguientes resultados: se ha establecido una asociación mineralógica predominante en lámina delgada de: ortosa, plagioclasa, epidota, cianita y granate, mientras que en la sección pulida se ha establecido una asociación mineralógica de sulfuros predominante de: esfalerita, pirrotina, piritita y calcopirita. Complementariamente a esto se realizó un análisis de fluorescencia de rayos X, en donde la mayor cantidad de concentración en porcentaje de minerales, corresponde al  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , con estos datos, se ha determinado el nombre de la roca utilizada para esta investigación corresponde a un Skarn.
- El peso específico del material de mina de la Asociación minera Virgen de Fátima del Distrito minero Nambija "Condominio Sur" es de  $3,12 \text{ g/cm}^3$ .
- Según el análisis granulométrico del material de mina de Nambija "Condominio Sur", las granulometrías óptimas para la concentración en Knelson fueron: Ensayo 1, en la primera etapa a 3 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $743 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $36,75 \text{ g/Ton}$ ; en la segunda etapa a 15 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $130 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $212,20 \text{ g/Ton}$  y finalmente en la tercera etapa a 35 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $68 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $83,80 \text{ g/Ton}$ ; mientras que en el Ensayo 2, en la primera etapa a 3 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $743 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $34,25 \text{ g/Ton}$ ; en la segunda etapa a 15 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $130 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $207,30 \text{ g/Ton}$  y finalmente en la tercera etapa a 35 minutos de molienda, con un  $D_{80}$  de  $68 \mu\text{m}$ , se obtuvo una ley de Au de  $130 \text{ g/Ton}$ .
- Según el tiempo de molienda vs el rendimiento del factor ORG, la mejor ley de Au se encuentra en la segunda etapa de los ensayos 1 y 2, siendo de  $212,20 \text{ g/Ton}$  y  $207,30 \text{ g/Ton}$ , respectivamente.
- De acuerdo al análisis químico, la ley de cabeza del mineral de Nambija "Condominio Sur", es Au  $6,66 \text{ ppm}$  y de Ag  $9,29 \text{ ppm}$ . Se corrobora este dato, con el obtenido en la malla valorada de Au  $6,39 \text{ ppm}$ .



- En el análisis de malla valorada, se indica que el 73,97 % del material se encuentra retenido en la malla # 60., lo que nos demuestra que el contenido de oro del mineral de estudio de Nambija “Condominio Sur” es de tipo grueso. Lo cual se puede corroborar con la clasificación de la distribución de oro en mallas, realizado por el estudio de (Knelson Research & Technology Centre, 2009).
- En la prueba metalúrgica para determinar el Factor ORG en el equipo Knelson se ha obtenido un rendimiento de 63,71 %, a 445 rpm, con un caudal de fluidización de 3, 5 Lit/min, a 1 PSI de presión y con una fuerza de 60 G´s, siendo una recuperación baja en comparación a otros estudios realizados.

## RECOMENDACIONES

- Para los ensayos de concentración centrífuga por Knelson, es recomendable probar con tamaños de grano más gruesos: entre 60 y 200 mallas, ya que en el análisis de malla valorada, la malla # 60 tiene el mayor porcentaje de oro (73,97 %), lo que indica que el oro es grueso.
- Se recomienda realizar una reprogramación en los parámetros que se han utilizado en la presente prueba metalúrgica por Knelson, para aumentar el rendimiento del factor ORG, disminuyendo la presión de agua y las fuerzas G, debido a que el oro que se presenta en este tipo de material es grueso y según el principio de concentración en Knelson a menor presión de agua y a menor fuerzas G, la recuperación de oro es mayor.
- Para obtener un mejor rendimiento del factor ORG, se recomienda probar con ½ PSI de presión de agua, y con una fuerza de 40 G's.
- Para las muestras que van a ser analizadas es recomendable que en el ensayo al fuego (fusión y copelación) se cumpla con el tiempo requerido para que cada uno de estos ensayos se desarrolle perfectamente, y se pueda cumplir con el objetivo de la investigación. Además, es recomendable

## BIBLIOGRAFIA

- ACDI, A. C. (1987). Informe de Prefactibilidad Geológico Metalogénico de la Zona Sur del Yacimiento Aurífero de Nambija.
- Cabrera, S. I. (2014). Recuperación de oro por gravimetría de mineral proveniente del Distrito Minero Nambija "Condominio Sur". Loja.
- Diaz, M. (2014). Comportamiento geoambiental con datos mineralógicos y análisis químicos de metales de la zona minera La Panguí, área minera de Chinapintza, Provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador. Loja.
- Knelson Concentrators. (2003). User Manual Knelson Concentrators KC-MD3 Model. Canada.
- Knelson Research & Technology Centre. (2009). Metallurgical Test Report Compañía Minera Sultana del Condor.
- Litherland. (1994). The Metamorphic belts of Ecuador.
- Navas, S. (2014). Recuperación de oro por gravimetría centrífuga y flotación de los relaves provenientes de la industria artesanal de La Panguí - Chinampiza. Loja.
- Paladines, A. &. (2010). Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador. Loja: UTPL.
- Pávez, O. (2008). Apuntes concentración de mineral II.
- PRODEMINCA. (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador I, Potencial Minero Metálico y Guías de Exploración. Quito.
- PRODEMINCA. (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos Porfíricos y Epitermales relacionados con intrusiones de la Cordillera el Condor Vol. 5. Quito.
- Services Inspectorate Exploration & Mining Ltd. (2014). 2014 REPORT FOR PHASE-II METALLURGICAL TESTING ON THE SAN ALBINO PROJECT.
- Veintimilla, J. (2014). Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador. Loja.
- Tabla de Birrefringencia  
URL:[http://www.uned.es/cristamine/crist\\_opt/cropt\\_micr\\_anisot.htm](http://www.uned.es/cristamine/crist_opt/cropt_micr_anisot.htm)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. ENSAYOS DEL PICNÓMETRO

### SIMBOLOGÍA

P1= Peso del picnómetro vacío y seco

P2= P1 + peso de la muestra

P4= P2 + agua

P3= P1 + agua

Y = Peso específico

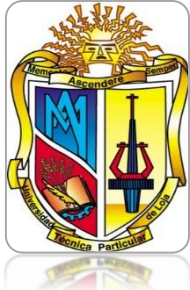
$$\gamma = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$$

# ENSAYO	PESO		PESO ESPECÍFICO (Y)
ENSAYO 1	P1	9,25	3,2
	P2	9,67	
	P4	16,08	
	P3	15,79	
ENSAYO 2	P1	9,26	3,3
	P2	9,59	
	P4	16,00	
	P3	15,77	
ENSAYO 3	P1	9,26	2,8
	P2	9,68	
	P4	16,06	
	P3	15,79	
TOTAL			3,12 g/cm <sup>3</sup>

**ANEXO 2. ENSAYO GRANULUMÉTRICO DEL MATERIAL DE MINA DEL DISTRITO NAMBIJA – CONDOMINIO SUR” (3 MINUTOS DE MOLIENDA).**

<b>Malla #</b>	<b>µm</b>	<b>Peso tamiz</b>	<b>Peso + muestra</b>	<b>Peso muestra</b>	<b>%</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Pasante</b>
<b>10</b>	<b>2000</b>	331,39	331,39	0	0,00	0,00	100,00
<b>18</b>	<b>1000</b>	288,59	310,8	22,21	11,60	11,60	88,40
<b>35</b>	<b>500</b>	315,04	349,95	34,91	18,24	29,84	70,16
<b>60</b>	<b>250</b>	238,66	280,62	41,96	21,92	51,76	48,24
<b>120</b>	<b>125</b>	280,92	313,84	32,92	17,20	68,95	31,05
<b>200</b>	<b>75</b>	266,21	286,17	19,96	10,43	79,38	20,62
<b>230</b>	<b>63</b>	274,9	281,38	6,48	3,38	82,76	17,24
<b>325</b>	<b>45</b>	218,07	226,2	8,13	4,25	87,01	12,99
<b>400</b>	<b>38</b>	265,08	267,21	2,13	1,11	88,12	11,88
<b>Fondo</b>		358,88	361,82	22,95	11,99	<b>100</b>	
<b>SUMA</b>				<b>191,44</b>	<b>100</b>		
<b>PESO MUESTRA</b>				<b>225,55</b>			
<b>PESO LAMAS</b>				<b>20,01</b>			

# CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS TIEMPOS ÓPTIMOS DE MOLIENDA (3 MINUTOS DE MOLIENDA).



## UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

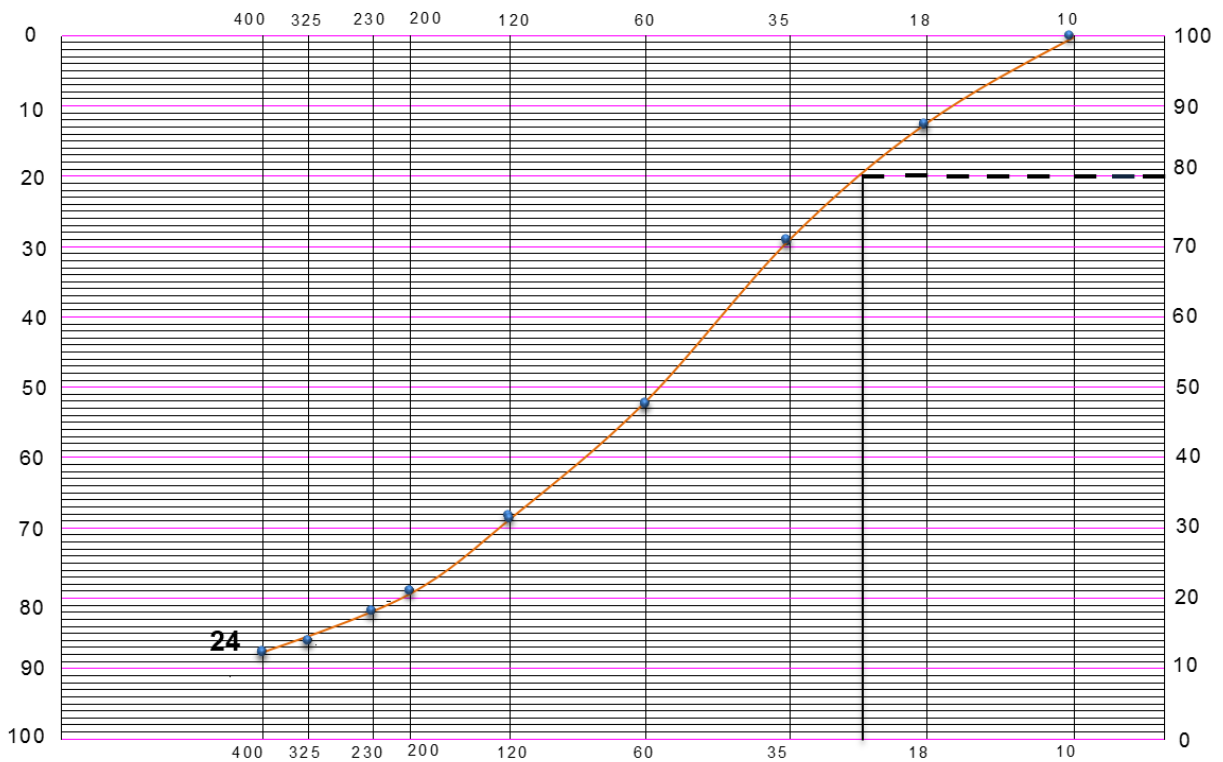


### DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS

### ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO

**NOMBRE:** Jefferson Marcheno

**PROYECTO:** ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO DEL MATERIAL DE MINA DEL DISTRITO NAMBIJA – CONDOMINIO SUR”.



**Fuente:** El Autor.

### ANEXO 3. CÁLCULOS DE LA LEY DE CABEZA

$$\text{Ley Au (g/Ton)} = \frac{\text{Peso DORE} \cdot 10^6}{\text{PESO MUESTRA}}$$

#### MALLA VALORADA

MALLA	PESO MUESTRA	DORE	LEY Au (g/Ton)	MALLA VALORADA	%
60	171,57	0,00017	6,780	4,72	73,87
200	38,39	0,00013	5,19	0,81	12,68
400	13,65	0,0001	7,33	0,41	6,42
-400	22,68	0,00011	4,85	0,45	7,04
<b>Suma</b>	<b>246,29</b>		<b>24,15</b>	<b>6,39</b>	<b>100</b>

#### LEY DE CABEZA DE Au y Ag

PESO MUESTRA	DORE	ppm Au	LEY Au (g/Ton)	LEY Au (g/Ton)	LEY Ag (g/Ton)	LEY Ag (g/Ton)
21,54	0,00035	0,00014	6,50	6,66	9,75	9,28
24,95	0,00039	0,00017	6,81		8,82	



**ANEXO 4. CÁLCULOS DE LA PRUEBA METALÚRGICA PARA DETERMINAR EL FACTOR ORG (ORO RECUPERABLE GRAVIMETRICAMENTE) EN EL EQUIPO KNELSON**

**Ensayo 1**

---

**PRIMERA ETAPA**

<b>MOLIENDA</b>	
<b>Peso Muestra</b>	5 kg
<b>Tiempo</b>	3 minutos
<b># Bolas</b>	123
<b>Peso Bolas</b>	11,46 kg
<b>Peso Muestra Seca</b>	4,86 kg

<b>ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO</b>	
<b>Peso Muestra</b>	100 g
<b>Peso Retenido Malla # 35</b>	31,2 g
<b>% Pasante</b>	67,33 %

<b>KNELSON</b>	
<b>Peso Muestra</b>	4,86 kg
<b>Rpm</b>	445
<b>Caudal</b>	3,5 Lit/min
<b>Presión</b>	1 PSI
<b>Fuerza</b>	60 G's
<b>Peso Relave</b>	4,64 kg
<b>Peso ensayo al Fuego</b>	100 g
<b>Peso Concentrado</b>	99,89 g

---

**SEGUNDA ETAPA**

<b>MOLIENDA</b>	
<b>Peso Muestra</b>	5 kg
<b>Tiempo</b>	15 minutos
<b># Bolas</b>	123
<b>Peso Bolas</b>	11,46 kg
<b>Peso Muestra Seca</b>	4,64 kg

<b>ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO</b>	
<b>Peso Muestra</b>	100 g
<b>Peso Retenido Malla # 200</b>	51,69 g
<b>% Pasante</b>	48,31 %

<b>KNELSON</b>		
<b>Peso Muestra</b>	4,64	kg
<b>Rpm</b>	445	
<b>Caudal</b>	3,5	Lit/min
<b>Presión</b>	1	PSI
<b>Fuerza</b>	60	G's
<b>Peso Relave</b>	4,54	kg
<b>Peso ensayo al Fuego</b>	100	g
<b>Peso Concentrado</b>	31,41	g

### TERCERA ETAPA

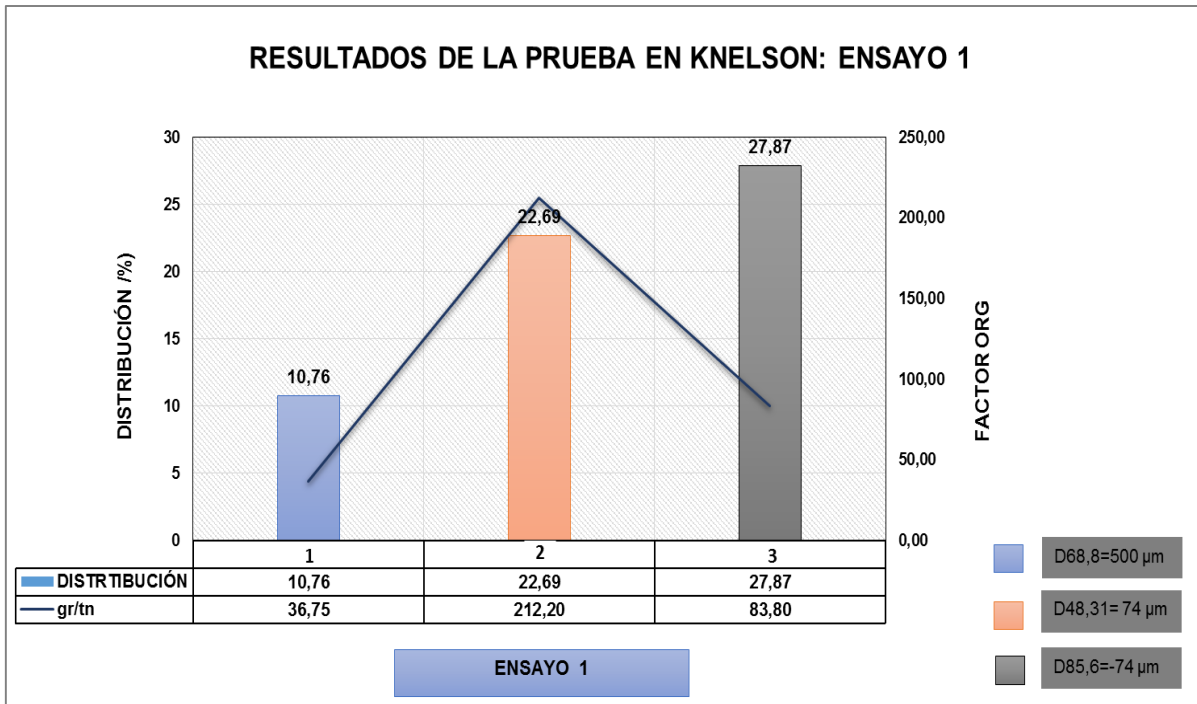
<b>MOLIENDA</b>		
<b>Peso Muestra</b>	5	kg
<b>Tiempo</b>	15	minutos
<b># Bolas</b>	123	
<b>Peso Bolas</b>	11,46	kg
<b>Peso Muestra Seca</b>	4,42	kg

<b>ANÁLISIS GRANULUMÉTRICO</b>		
<b>Peso Muestra</b>	100	g
<b>Peso retenido Malla # 200</b>	14,4	g
<b>% Pasante</b>	85,6	%

<b>KNELSON</b>		
<b>Peso Muestra</b>	4,42	kg
<b>Rpm</b>	445	
<b>Caudal</b>	3,5	Lit/min
<b>Presión</b>	1	PSI
<b>Fuerza</b>	60	G's
<b>Peso Relave</b>	4,34	kg
<b>Peso ensayo al Fuego</b>	100	g
<b>Peso Concentrado</b>	52,14	g

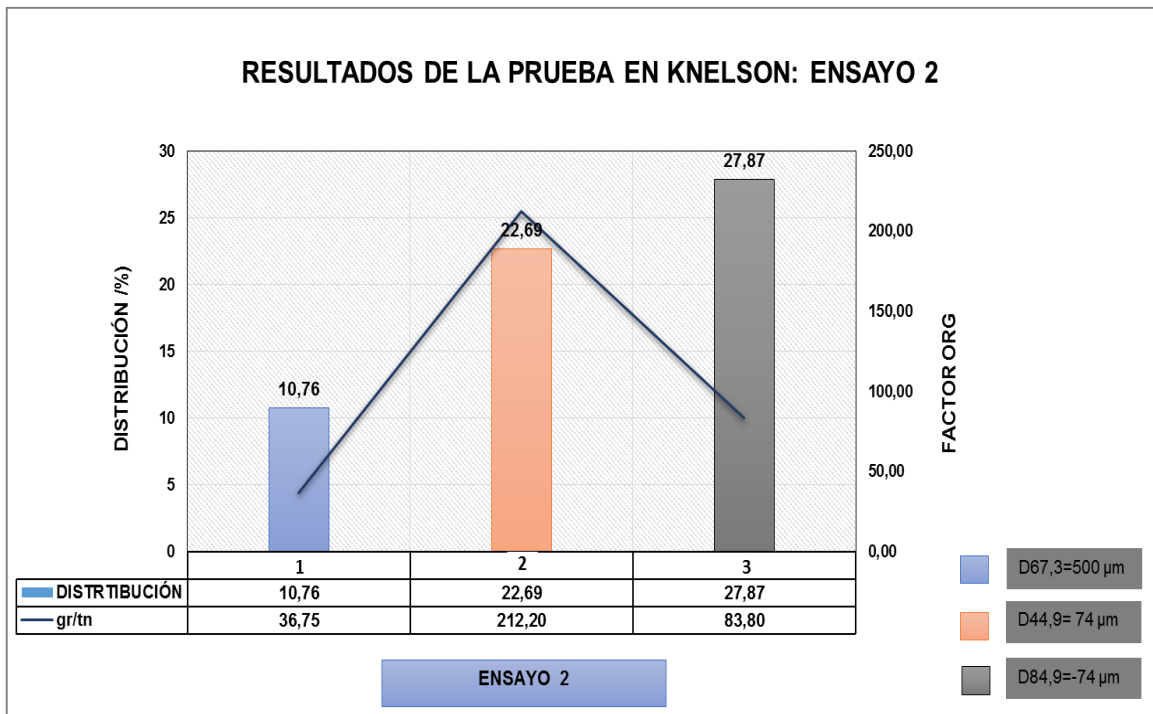
**Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas Ensayo 1**

PRODUCTO		MASA		ORO		DISTRIBUCIÓN
		gr	%	gr/Ton	Unidades	
D68,8= 500 µm	Cc	71,28	1,5	36,75	54,82	<b>10,76</b>
	Colas	100	2,1	6,4	13,39	2,63
D48,31= 74 µm	Cc	26,04	0,5	212,2	115,64	<b>22,69</b>
	Colas	100	2,1	4,2	8,79	1,72
D85,6= - 74 µm	Cc	81	1,7	83,8	142,05	<b>27,87</b>
	Colas	4400	92,1	1,9	174,96	34,33
<b>Total (Cabeza)</b>		<b>4778</b>	<b>100</b>		115047	
<b>Concen K</b>		<b>149,12</b>				
<b>Mineral Faltante</b>		<b>222</b>				<b>61,32 GRG</b>

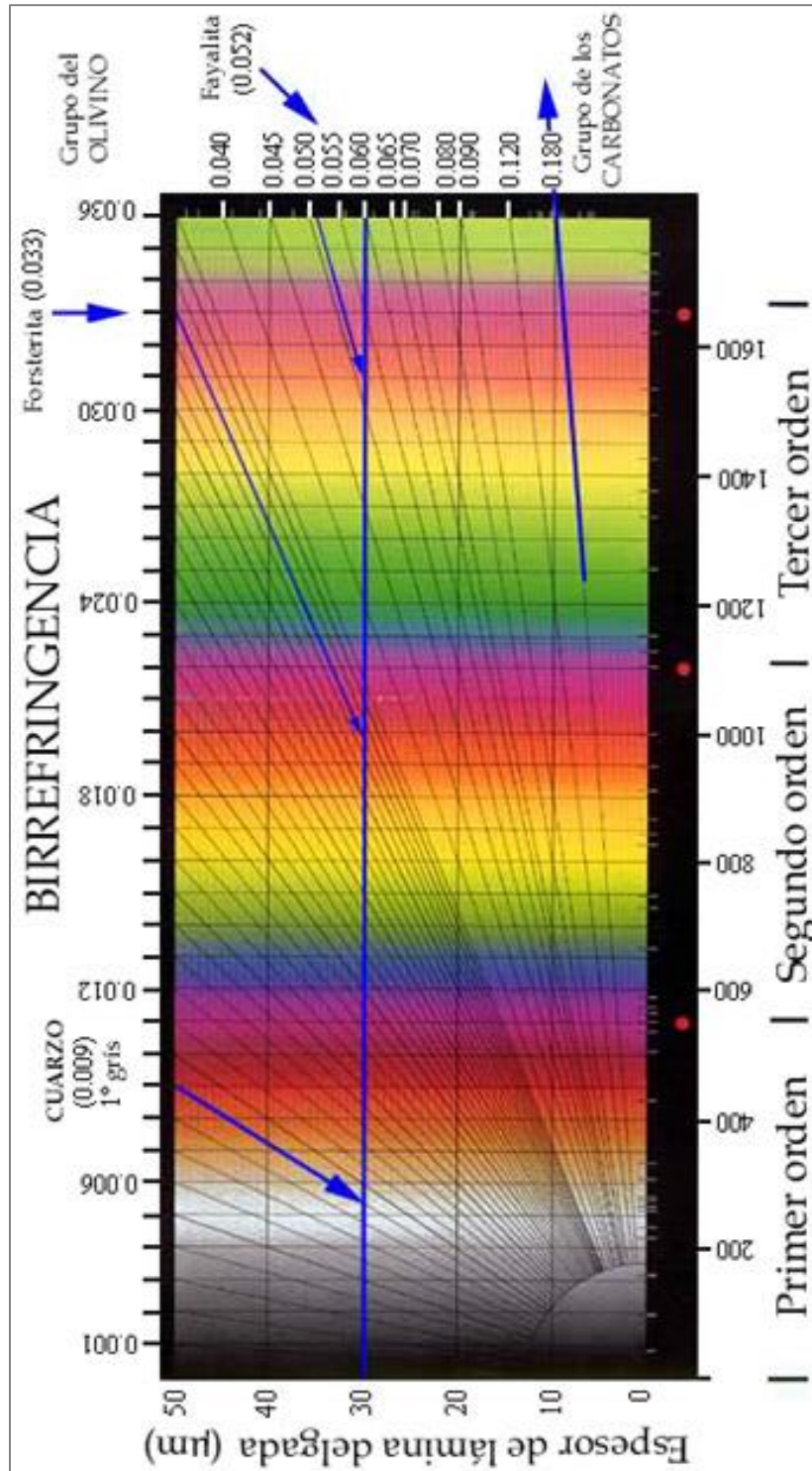


**Balance ORG con 2 fracciones y 3 etapas Ensayo 2**

PRODUCTO		MASA		ORO		DISTRIBUCIÓN
		gr	%	gr/Ton	Unidades	
D67,33= 500 µm	Cc	99,89	2,1	34,25	71,60	<b>13,58</b>
	Colas	100	2,1	6,2	12,98	2,46
D44,92= 74 µm	Cc	31,41	0,7	207,3	136,27	<b>25,84</b>
	Colas	100	2,1	3,9	8,16	1,55
D84,94= - 74 µm	Cc	52,14	1,1	130	141,85	<b>26,90</b>
	Colas	4400	92,1	1,7	156,54	29,68
<b>Total (Cabeza)</b>		<b>4778,32</b>	<b>100</b>		527,40	
<b>Concen K</b>		<b>149,12</b>				
<b>Mineral Faltante</b>		<b>222</b>				<b>66,31 GRG</b>



**ANEXO 5. TABLA DE BIRREFRINGENCIA**



**Fuente:** Tabla de Birrefringencia

([http://www.uned.es/cristamine/crist\\_opt/cropt\\_micr\\_anisot.htm](http://www.uned.es/cristamine/crist_opt/cropt_micr_anisot.htm))