



Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos
Naturales no Renovables**

**Maestría en Minas, Mención en Mineralurgia y Metalurgia
Extractiva**

**PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA
PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA
MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO.**

**Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Minas mención en Mineralurgia y
Metalurgia Extractiva**

Autor:

Ing. Marco Vinicio Vallejo Rodríguez

Director:

MSc. Carlos Danilo Ortega Vallejo

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 28 de abril de 2023

Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la autoría del estudiante **Marco Vinicio Vallejo Rodríguez**, con **cédula de identidad N° 1104172299**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

MSc. Carlos Danilo Ortega Vallejo.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Marco Vinicio Vallejo Rodríguez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1104172299

Fecha: 25/07/2023

Correo electrónico: marco.vallejo@unl.edu.ec

Teléfono: 0986673558

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Marco Vinicio Vallejo Rodríguez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO.** como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de julio de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Marco Vinicio Vallejo Rodríguez

Cédula de Identidad: 1104172299

Fecha: 24/07/2023

Correo electrónico: marco.vallejo@unl.edu.ec

Teléfono: 0986673558

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo

Dedicatoria

Con todo mi corazón a Dios, a mi Abuelito Segundo Vallejo (+) a mi mamita Enma Jiménez, a mi papá Marco Vallejo Jiménez a mis hermanos Mercedes, Richar, Fabián, Flor María, y con mucho cariño a Gina y a toda mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes me han apoyado en todos los aspectos, brindarme fortaleza, virtud y persistencia para alcanzar las metas propuestas.

Marco Vinicio Vallejo Rodríguez

Agradecimiento

Hago público mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, personal docente y administrativo de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y principalmente a los directivos de la Maestría en Minas mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, por haber creado la oportunidad de hacer posibles los más altos anhelos de superación personal y profesional para de servir a la sociedad.

Agradecimiento eterno a la empresa Minesadco S.A., presidida por Grupo Empresarial ADMG, en especial a su directivo Abg. Andrés David Machuca, al gerente de la empresa Abg. Abg. Edgar Vega, al gerente de producción Ing. Víctor Delgado y a todo el personal técnico y administrativo de le empresa Minesadco S.A. por el apoyo incondicional para la ejecución del presente proyecto

Agradecimiento especial al Ing. Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo, en calidad de director del Trabajo de Titulación, el cual ha brindado su conocimiento práctico y científico para el obtener los resultados propuestos en el presente trabajo investigativo.

Marco Vinicio Vallejo Rodríguez

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de Tablas:.....	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos	xvii
1. Título.....	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
Problema de Investigación	5
3.1. Objetivos:	6
<i>3.1.1. Objetivo general</i>	6
<i>3.1.2. Objetivos específicos</i>	6
3.2. Preguntas de investigación	6
4. Marco Teórico.	7
4.1. Antecedentes	7
4.2. Definiciones de las variables de estudio	8
<i>4.2.1. Yacimiento Mineral</i>	8
<i>4.2.2. Depósitos Hidrotermales</i>	9
<i>4.2.3. Vetas</i>	9
<i>4.2.4. Minerales</i>	9
<i>4.2.5. Minerales auríferos</i>	9
<i>4.2.6. Muestreo</i>	10

4.2.7.	<i>Técnicas de muestreo en vetas</i>	10
4.2.8.	<i>Petrografía</i>	11
4.2.9.	<i>Proceso de Conminución</i>	12
4.2.10.	<i>Trituración.</i>	12
4.2.11.	<i>Molienda</i>	14
4.3.	Leyes de la Conminución:	14
4.3.1.	<i>Teoría de Rittinger (1867)</i>	14
4.3.2.	<i>Teoría de Kick (1885)</i>	15
4.3.3.	<i>Tercera teoría o teoría de F.C. Bond (EEUU 1951):</i>	16
4.4.	Proceso Metalúrgico	16
4.4.1.	<i>Gravimetría</i>	17
4.4.2.	<i>Cianuración</i>	17
4.4.3.	<i>Flotación</i>	17
4.5.	Técnicas de caracterización de minerales	18
4.5.1.	<i>Difracción de rayos X</i>	18
4.5.2.	<i>Microscopia óptica</i>	18
4.5.3.	<i>Sección Delgada o Pulidas</i>	19
4.5.4.	<i>Laminas delgadas</i>	19
4.5.5.	<i>Propiedades físico-químicas y mineralógica</i>	20
4.5.5.1.	Propiedades físicas.	20
4.5.5.1.1.	<i>El peso específico.</i> El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia en el espacio (Leskow, 2021).....	20
4.5.5.1.2.	<i>Resistencia a la compresión simple.</i> Se denomina resistencia a la compresión simple o uniaxial de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. La resistencia a la compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso (Burbano y García, 2016). 20	
4.5.5.1.3.	<i>Análisis Granulométrico.</i> El material explotado en mina por medio de la fase de la voladura y que ingresa a las operaciones de beneficio está conformado por un sinnúmero de tamaños, estructura y forma, por tal motivo el análisis granulométrico es de suma importancia para el planeamiento, seguimiento y control en el procesamiento de minerales. (Bustamante, 2020) 20	
4.5.5.2.	Propiedades químicas. La composición química elemental de la mena consiste en la determinación del contenido de elementos metálicos y no metálicos; se puede determinar por	

técnicas instrumentales como difracción de rayos X, que permiten determinar cuantitativa y cualitativamente los minerales existentes en el material de mena.....	20
4.5.5.2.1. Ensayo al fuego. El ensayo al fuego es una rama del análisis químico cuantitativo en el cual los metales preciosos presentes en menas y concentrados minerales son determinados utilizando altas temperaturas y reactivos fundentes (Bugbee, 1940) .	20
4.5.5.3. Caracterización mineralógica. Según INGEOMINAS (2010) el estudio de minerales por microscopía óptica es la técnica más importante para la identificación y caracterización de minerales y sus relaciones texturales. En depósitos minerales, el estudio de los minerales opacos se ha conocido tradicionalmente como microscopía de mena o calcografía. Las asociaciones minerales y sus texturas no solamente indican las condiciones de formación de los depósitos, sino que aportan valiosa información en el beneficio y procesamiento de minerales.	21
5. Metodología.	22
5.1. Área de estudio.	22
5.1.1. Ubicación	22
5.1.2. Acceso	23
5.1.3. Geología Regional	23
5.1.4. Geología Estructural	24
5.1.5. Geología Local	26
5.2. Método	27
5.2.1. Recopilación de información	27
5.2.2. Trabajos de campo	27
5.2.3. Ensayos de laboratorio	28
5.2.4. Trabajos de oficina	28
5.2.5. Metodología para el primer objetivo	28
5.2.5.1. Muestreo. El sistema de muestreo se utilizó el ranurado continuo, propuesto por (Carrazana, 2022) consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, a lo ancho de la estructura mineralizada, con un ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones del canal son entre de 8-10 cm de anchura por 2-3 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible.	28
5.2.6. Metodología para el segundo objetivo	29
5.2.7. Metodología para el tercer objetivo	30
5.2.8. Materiales	30
6. Resultados	31
6.1. Caracterización Petrográfica	31

6.1.1.	<i>Veta Matalanga</i>	31
6.1.2.	<i>Veta Cantabria</i>	35
6.1.3.	<i>Veta Nudo (Nudo)</i>	39
6.1.4.	<i>Veta Abundancia (Abundancia)</i>	43
6.2.	Análisis Granulométrico	47
6.3.	Proceso de conminución	49
6.3.1.	<i>Datos Técnicos</i>	49
6.3.2.	Propiedades físicas del mineral	50
6.3.2.1.	Peso específico. Para determinar el peso específico de las estructuras mineralizadas se utilizó el método del picnómetro. El análisis por estructura mineralizada se determinó que la veta Cantabria quien posee mayor concentración de sulfuros presenta un peso específico de 3.23. Así mismo, la veta Nudo posee un peso específico considerable de 2.92. Mientras que la veta Abundancia y veta Matalanga presenta un específico de 2.7. En el siguiente cuadro se presenta a detalle los datos obtenidos sobre el peso específico de cada veta.	50
6.3.2.2.	Propiedades Físico Mecánicas. El proyecto minero Casa Negra, al encontrarse bajo el régimen de pequeña minería el volumen autorizado para el procesamiento de minerales es de 300 Tn/día. El mineral tiene una resistencia a la comprensión simple de 800 a 1000Kg/cm equivalente a 100 Mpa que representa el esfuerzo aplicado a la comprensión cubica de la roca analizada. 50	
6.3.3.	<i>Características Técnicas Para el Proceso de Conminución</i>	51
6.3.3.1.	Calculo del Skockpile. (Mineral acumulado en patio).....	51
6.3.3.2.	Calculo de tolva de gruesos.	51
6.3.3.3.	Calculo de trituradora primaria.	52
6.3.3.4.	Calculo de trituradora secundaria.	52
6.3.3.5.	Calculo de trituradora terciaria.	53
6.3.3.6.	Molino de bolas 7” * 12”.	54
6.4.	Consideraciones Técnico Mineralógicas en una Planta de Beneficio	56
6.4.1.	<i>Zona de Acopio de Mineral “Stockpile”</i>	57
6.4.2.	<i>Trituración Primaria</i>	57
6.4.3.	<i>Tolva de gruesos</i>	57
6.4.4.	<i>Banda transportadora</i>	57
6.4.5.	<i>Zaranda Vibratoria</i>	57
6.4.6.	<i>Trituración Secundaria</i>	57

6.4.7.	<i>Banda transportadora</i>	57
6.4.8.	<i>Zaranda Vibratoria</i>	58
6.4.9.	<i>Trituración Terciaria</i>	58
6.4.10.	<i>Molino de bolas</i>	58
6.4.11.	<i>Hidrociclón</i>	58
6.4.12.	<i>Concentrador Gravimétrico Knelson</i>	58
6.4.13.	<i>Diagrama de flujo propuesto</i>	59
6.5.	Proceso metalúrgico para la recuperación de Au	60
7.	Discusión	61
8.	Conclusiones	65
9.	Recomendaciones	68
10.	Bibliografía	69
11.	Anexos	74

Índice de Tablas:

<i>Tabla 1. Análisis por Difracción de Rayos X – LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla Nro.2. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.).....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla Nro. 4. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.).....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla Nro. 6. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.).....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla Nro. 8. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla Nro. 9. Malla Valorada de oro (Au) por veta ((Información generada por DG Minesadco S.A.).....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla Nro.10. Malla Valorada de Au. (Información generada por DG Minesadco S.A.)</i>	<i>49</i>
<i>Tabla Nro. 11. Determinación del Peso Específico. – LAB_UNL.....</i>	<i>50</i>

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto minero Casa Negra. Minesadco S.A. Fuente Minesadco S.A.	22
Figura 2. La geología del distrito minero Zaruma – Portovelo engloba principalmente rocas ígneas y metamórficas. El círculo rojo muestra el área de estudio. Modificado de Bonilla (2009).	23
Figura 3. Mapa de estructuras geológicas de Zaruma-Portovelo. Se muestra la localización de las megaestructuras regionales y estructuras subordinadas locales. Modificado de Bonilla (2009).	26
Figura 4. Geología Local Proyecto Casa Negra. Minesadco S.A.....	27
Figura 5. Extrayendo muestra con combo y cuña.	29
Figura 6. Homogenizando y cuarteando la muestra.	29
Figura 7 y 8. Muestras de la veta Matalanga con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.	32
Figura 9. Cristales de galena, calcopirita (Ccp) y oro, siendo este último el de mayor reflectancia. Tamaño del oro (Au) 100µm	33
Figura 10. Misma sección, en la cual se observa al oro con alta reflectancia junto a la galena con hoyos triangulares. Tamaño del oro (Au) 100µm.....	33
Figura 11. Cristales cúbicos de pirita (Py) y calcopirita (Ccp). Se aprecian huecos triangulares de galena. Tamaño 75 - 100um de Calcopirita, Esfalerita, Pirita.....	33
Figura 12. Cristal rectangular de calcopirita (Ccp), en su interior se aprecian cristales cúbicos y rectangulares de pirita (Py). Tamaño 75 - 100um de Galena, Calcopirita.	33
Figura 13. Cristal de ilmenita (Ill) cúbico con maclas lamelares dentro de un cristal de calcopirita (Ccp). Se observan algunas piritas (Py). Tamaño 75-100um de Pirita, Calcopirita, Illita.	33
Figura 14. Oro con alta reflectancia, presenta inclusiones de magnetita al interior. Se observa pirrotina (Prr) de color castaño. Tamaño del oro (Au) 50-100 um.....	33
Figura 15. Cristales subhedrales de pirita (Py), se aprecia un cristal de ilmenita (Ill) con macla lamelar y un cristal aislado de calcopirita (Ccp). Tamaño 75-100um de Pirita, Illita, Calcopirita.....	34

Figura 16. Cristal anhedral de calcopirita (Ccp), es apreciable solo con mayor aumento. Se observa un pequeño cristal de pirita (Py). Tamaño 25-75um de Pirita y Calcopirita.....	34
Figura 17. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).....	34
Figura 18 y 19. Muestras de la veta Cantabria con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.....	36
Figura 20. Se observa cristales pirita de (Py), calcopirita (Ccp) e ilmenita (Ilm) como macla lamelar. Tamaño 100 um de Pirita, Calcopirita, Ilmenita.....	37
Figura 21. Cristal cúbico de pirita, se observan cristales anhedrales aislados de calcopirita. Tamaño 100 um de Pirita, Calcopirita.....	37
Figura 22. Se observa de pirita (Py), se aprecia una aglomeración de cristales con hábito pseudomúsico. Tamaño de pirita 100um.....	37
Figura 23. Se observa un cristal de ilmenita (Ilm) con macla lamelar. Se aprecian cristales de pirita (Py) y calcopirita (Ccp) anhedrales. Tamaño de ilmenita 25um.....	37
Figura 24. Cristales de pirita (Py) a mayor aumento, se aprecian cristales de galena entre estos cristales. Tamaño de pirita 25um.....	37
Figura 25. Cristales anhedrales de galena junto a cristales de pirita (Py) y calcopirita (Ccp). Tamaño de galena 25 um.....	37
Figura 26. Cristal de oro, con mayor reflectancia que la calcopirita, con textura rugosa. El oro se encuentra encapsulado dentro de la calcopirita. Tamaño del oro (Au) 120µm.....	38
Figura 27. Cristal de oro dentro de un cristal de calcopirita, se aprecia con mayor reflectividad. El oro se encuentra encapsulado dentro de la calcopirita. Tamaño del oro (Au) 120um.....	38
Figura 28. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).....	38
Figura 29 y 30. Muestras de la veta Nudo con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.	40
Figura 31. Cristales de pirita (Py) y galena (Gal) dentro de calcopirita, se observa a la galena recristalizando a los bordes. Tamaño 100 um.....	41

Figura 32. Cristal de calcopirita (Ccp), se observan a los bordes cristalización de galena. Además, se aprecian cristales de pirita (Py). Tamaño 100um	41
Figura 33. Cristales de esfalerita (Sp), pirita (Py), calcopirita (Ccp)y galena (Gal). Tamaño de minerales 500um.....	41
Figura 34. Cristal de esfalerita con pequeños cristales de calcopirita. Tamaño de la esfalerita 25 um.	41
Figura 35. Cristal de esfalerita con incrustaciones de pequeños cristales de pirita, calcopirita y galena. Tamaño de 100um de esfalerita.	41
Figura 36. Cristales anhedrales a euhedrales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) esfalerita (Sp) y galena (Gal). Tamaño de minerales 500um.....	41
Figura 37. Cristales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Tamaño 25 um.....	41
Figura 38. Cristal cúbico de ilmenita (Ill) con macla lamelar, se aprecian cristales de pirita (Py). Tamaño 25 um	41
Figura 39. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).....	42
Figura 40 y 41. Muestras de la veta Cantabria con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.....	44
Figura 42. Cristal de esfalerita, dentro se presentan pequeños cristales de galena (Gal) y algunos cristales de pirita (Py). Tamaño de minerales 100um.....	44
Figura 43. Se aprecia la enfermedad de calcopirita (Ccp), sobre la esfalerita (Sp). Tamaño de la esfalerita 25 um.....	44
Figura 44. Cristales de esfalerita (Sp) con fracturas, se aprecian cristales de pirita (Py) calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Tamaño 100um	45
Figura 45. Cristal de esfalerita (Sp) que presenta cristalización de galena (Gal) con huecos triangulares y pirita (Py) en sus fracturas y bordes. Tamaño 100um	45
Figura 46. Cristales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Se aprecia a la galena (Gal) con hoyos triangulares típicos del cristal. Tamaño 100um.....	45

Figura 47. Cristal de oro (Au), presenta mayor reflectancia que la calcopirita (Ccp) y pirita (Py). Se aprecia dentro del cristal de esfalerita (Sp). Tamaño de oro (Au) 25um a 100um..... 45

Figura 48. Cristales de calcopirita presenta pequeños cristales de pirita y galena dentro de su matriz. Tamaño 100um de calcopirita. 45

Figura 49. Cristales de esfalerita presentan varios cristales de pirita y algunos de calcopirita en sus bordes. Tamaño 500um de esfalerita, pirita y calcopirita..... 45

Figura 50. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003)..... 46

Índice de Anexos

Anexo 1. Informe Calcográfico de Secciones Pulidas de las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo Abundancia. Escuela Politécnica Nacional.	74
Anexo 2. Ensayo del Peso Específico, Porosidad y PH. Laboratorio de Geología y Minas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, de la Universidad Nacional de Loja.	102
Anexo 3. Ensayos de Difracción de rayos x - DRX LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador UCE.	103
Anexo 4. Resumen (Abstract) del trabajo de titulación “PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO.	109

1. Título

Petrografía de las Vetas de la Mina Casa Negra para definir el Proceso de Conminución,
Empresa Minesadco S.A., Provincia El Oro.

2. Resumen

El presente proyecto se lo realizo en la Compañía Minera Minesadco S.A.; Cantón Portovelo, Provincia El Oro, Ecuador. La investigación se fundamenta en el estudio de las características petrográficas de las vetas auríferas de la concesión minera Casa Negra para establecer el proceso de conminución, que implica la reducción del tamaño de los minerales mediante trituración y molienda. La razón de este estudio se basa en el procesamiento de nuevas estructuras con minerales de mediana sulfuración. La planta de beneficio Casa Negra en el proceso de conminución no posee una secuencia automatizada para triturar el mineral proveniente de mina en pequeñas partículas y llevarlas al proceso de molienda. Ejecutando una investigación técnica y científica, basada en el análisis cualitativo y cuantitativo se partió con muestreos sistemáticos y puntuales de las estructuras mineralizadas. Con el análisis petrográfico de láminas delgadas, permitió conocer las características del mineral aurífero, su asociación mineralógica, el tamaño y la forma de las partículas de oro (Au). Identificando las características de las estructuras mineralizadas y principalmente el tamaño de oro (Au) se estableció los parámetros de operación, optimizando el proceso de conminución. Adicional a la asociación mineralógicas que poseen las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia y las propiedades físicas y químicas permite definir la implementación de un circuito metalúrgico completo, conformado por la concentración gravimétrico post proceso de conminución, concentración de oro (Au) por flotación y por último la recuperación de oro por cianuración.

Palabras Clave: Petrografía, Conminución, Vetas, Caracterización.

2.1. Abstract

The current project was made in Minesadco S.A company, located in Portovelo canton, El Oro province, Ecuador. The search is substantiated in the petrographic characteristics study of the gold veins of the Casa Negra mining concession to establish the comminution process, the same that involves the reduction of the minerals' size by crushing and grinding. The objective of this search work is based on the processing of the new structures with medium sulphidation minerals. The Casa Negra beneficial plant in the comminution process does not have an automated sequence to crush the mineral that comes from the mine in small particles and carry on them to the grinding process. It did a technical and scientific investigation, based on qualitative and quantitative analysis, it started with systematic and punctual samples of the mineralized structures. With the petrographic analysis of the thin plates, it was possible to know the characteristics of the auriferous minerals, their mineralogical association, and the size and shape of the gold (Au) particles. When it identified features of the mineralized structures and mainly the size of the gold (Au), it established the operating parameters, optimizing the comminution process. In addition to the mineralogical association that Matalanga, Cantabria, Nudo, and Abundancia veins have, and the physical and chemical properties, it allows defining the implementation of a complete metallurgical circuit, made up of the gravimetric concentration after the comminution process, gold (Au) concentration by floating and finally, the recovery of gold by cyanidation.

Key words: Petrography, Comminution, Veins, Characterization

3. Introducción

La primera industria lítica de la prehistoria fue desarrollada en África por los primeros hombres, Homo Habilis, según Duval et al. (2021) corresponde con los primeros vestigios de una actividad que se fue especializando en mayor medida a lo largo de las civilizaciones antiguas y durante los siglos posteriores de la civilización humana. Aquellos seres primitivos extraían arcillas, pedernales, piedras relucientes, o trozos sueltos de cobre nativo, lo que evolucionó hacia la excavación del subsuelo en búsqueda de materias primas minerales” (Robles, 2020).

Los países de América Latina y el Caribe poseen una gran variedad y cantidad de recursos minerales metálicos, como el oro, cobre, plata, níquel, zinc, plomo, aluminio, etc., siendo así la minería una de las mayores fuentes económicas de inversión en el mundo (Bárcena, 2018). Perú y Chile, son los países que lideran esta actividad con varios años de experiencia, ya que representa casi el 60% de las exportaciones de cada país; y alrededor del 10% del producto interno bruto (PIB) chileno y 9% del PIB peruano (Chávez, 2020).

Las actividades mineras en Ecuador tienen su punto de partida desde la época preincaica, donde las diferentes culturas muestran trabajos de explotación tanto de oro y plata. Posterior a la conquista española se encontraron los primeros asentamientos mineros en las localidades de Portovelo, Zaruma y Nambija (Murillo, 2000).

En la actualidad, la minería en el Ecuador ha tenido un gran despegue, impulsando dos proyectos emblemáticos; El proyecto Fruta del Norte, operada por la canadiense Lundin Gold, y la de cobre Mirador, a cargo de Ecuacorriente instalando consigo tecnología de punta dentro las operaciones mineras y metalúrgicas (Sánchez y Vayas, 2020).

El estudio de las propiedades físico-químico y petrográfico de las estructuras vetiformes, son la base fundamental para conocer las propiedades del mineral que se pretende recuperar y con ello establecer un adecuado proceso de conminución, pero también permiten especificar el adecuado proceso metalúrgico (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

En la zona industrial metalúrgica el Pache, del cantón Portovelo, donde operan aproximadamente 70 plantas de beneficio, se puede evidenciar la falta de investigación y por ello de planificación, considerando que se procesan minerales de distinta composición mineralógica sin que exista un adecuado análisis de los minerales a procesar, ocasionando pérdidas económicas y daños ambientales (INIGEMM, 2014).

Problema de Investigación

La Mina Casa Negra, ubicada en la Provincia de El Oro, cantón Portovelo, parroquia Portovelo, es un proyecto establecido bajo el régimen de pequeña minería, sus operaciones mineras se encuentran establecidas en el distrito minero Zaruma – Portovelo, sobre el yacimiento hidrotermal vetiforme emplazado sobre la Unidad Portovelo, entre la falla Puente Buza - Palestina y falla Piñas Portovelo. La empresa está dedicada exclusivamente a la exploración y explotación de estructuras mineralizadas y al procesamiento y recuperación de minerales primarios principalmente de Au (MINESADCO, 2022).

Una de las principales problemáticas dentro de las operaciones de pequeña minería y minería artesanal en Ecuador, es la falta de estudios preliminares sobre las características físico-químico y mineralógico del mineral que se pretende tratar dentro una planta de beneficio metalúrgico, esta falta de estudios trae consigo una cadena de problemas como; un proceso metalúrgico inadecuado, pérdidas económicas y daños ambientales (INIGEMM, 2014) .

Hasta el 2020, la mina Casa Negra concentraba sus operaciones de explotación y procesamiento de minerales en una zona de baja sulfuración, vetas conformadas por cuarzo lechoso blanco, cuarzo ahumado y calcita (qzlbl+qzah+cal) y presencia de Au diseminado, y también con presencia de sulfuros base como la pirita (Py), calcopirita (Ccp) y esporádicas aureolas de galena (gal) y esfalerita (Sp) (esf) y, por ende, la planta de benéfico Casa Negra fue diseñada para realizar cianuración en base a los requerimientos del mineral explotado (MINESADCO, 2022).

A partir del año 2021, por medio de la fase de exploración la mina Casa Negra, expandió sus operaciones mineras, explotando vetas sulfuración intermedia, que bajo observación macroscópica se pudo verificar bandas bien marcadas de cuarzo más calcita y minerales de mena como la pirita (Py), calcopirita (Ccp) galena (gal), esfalerita (Sp), hematita (hem) bornita (brn), donde se presume que el Au se encuentra asociado o encapsulado dentro de estos sulfuros. (MINESADCO, 2022)

En la actualidad la planta de beneficio Casa Negra, procesa aproximadamente el 45% de minerales de baja sulfuración y el 55% de mediana sulfuración, se desconoce las propiedades físicas del Au y su asociación mineralógica para optimizar el proceso de conminución, e incrementar la recuperación de Au en este proceso mineralúrgico (MINESADCO, 2022).

Con respecto al proceso de conminución, la planta de benéfico Casa Negra carece de una secuencia automatizada para triturar el mineral proveniente de mina para llevarla al proceso

de molienda. Se utiliza 5 personas encargadas de reducir el mineral de forma manual, con la utilización de combos (MINESADCO, 2022).

En la actualidad la planta de benéfico Casa Negra, emplea el proceso de conminución, tanto para minerales de baja sulfuración como los de mediana sulfuración, bajo este proceso presume que recupera el 75% de Au sobre el mineral procesado (MINESADCO, 2022).

3.1. Objetivos:

3.1.1. *Objetivo general*

- Considerar el aporte petrográfico de las vetas de la Mina Casa Negra para definir la presencia del Au, estableciendo el proceso de conminución, de la empresa Minesadco S.A, cantón y provincia El Oro.

3.1.2. *Objetivos específicos*

- Caracterizar con láminas delgadas las muestras obtenidas de las vetas de la Mina Casa Negra.
- Definir el proceso de conminución, en base a las características físico - químicas de las vetas de la Mina Casa Negra.
- Proponer el proceso metalúrgico de acuerdo a las características físico – químicas y petrográficas de las vetas de la Mina Casa Negra.

3.2. Preguntas de investigación

¿Se puede determinar la existencia de Au y el tamaño de las partículas mediante láminas delgadas?

¿Cuáles son las condiciones óptimas para el proceso de conminución, en función de las características físico - químicas de las vetas de la Mina Casa Negra?

¿Conociendo las características físico - químicas de las vetas de la Mina Casa Negra, se puede proponer un proceso metalúrgico para la recuperación de Au?

4. Marco Teórico.

4.1. Antecedentes

A mediados del año 2006 la empresa minera Minesadco S.A. inicia sus operaciones mineras sobre el proyecto minero Casa Negra ubicado en el cantón Portovelo bajo el régimen de pequeña minería, permitiendo ejecutar actividades de exploración, explotación y beneficio de minerales conforme lo dispone la ley de minería y su respectivo reglamento, establecido por el estado ecuatoriano (MINESADCO, 2022).

Por el lapso de un año las operaciones mineras se enmarcan en la rehabilitación de niveles inferiores (3 y 4 nivel) como; piques, galerías, cruceros, baypass, cisternas, etc. trabajos antiguos de la SADCO y en la instalación simultanea de servicios auxiliares como; energía eléctrica, sistema de bombeo, mecánicas, etc. Con la finalidad de determinar nuevos frentes de explotación y permita establecer una producción restable y permanente. Al mismo instante se establece las bases para la construcción de la planta de beneficio Casa Negra (MINESADCO, 2022).

Los primeros frentes de explotación se enmarcaron sobre las vetas Abundancia y Portovelo que en definitiva mostraron una mineralización de baja sulfuración caracterizado principalmente por cuarzo lechoso blanco, calcita con bandas esporádicas de galena y esfalerita y diseminación de piritita y trazas de calcopiritita (MINESADCO, 2022).

Ante la presencia de minerales de baja sulfuración se diseñó una planta de beneficio acorde a estas condiciones mineralógicas, para lo cual el mineral transportado de mina es colocado directamente en la tolva de gruesos y controlada por una parrilla metálica, donde existen 5 personas que fragmentan a pulso el mineral que sobrepasa las 10" de diámetro. El proceso de conminución está conformado por una trituradora primaria de mandíbulas de 12" por 19" y para la trituración secundaria y terciaria se utiliza dos trituradoras de mandíbulas de 6" por 30". El transporte y clasificación del mineral entre trituradoras se realiza por medio de 5 fajas transportadoras de 18" de ancho. El proceso de molienda se lo realiza con un molino de bolas de 7*12". Para posterior ingresar el mineral triturado al proceso cianuración para la recuperación de Au (MINESADCO, 2022).

En un inicio la planta de beneficio Casa Negra fue diseñada para procesar 150 tn/día, con una ley promedio de 2.7 grAu/tn. Entre los años 2010 y 2018 se logró rehabilitar la mayor parte de las labores mineras ubicadas en el quinto y sexto nivel incrementado la productividad de la mina y por ende la capacidad operacional de la planta de beneficio duplico su producción y paso a procesar de 150 tn/día a 300 tn/día (MINESADCO, 2022).

Al disminuir las respectivas reservas mineras, para el año 2019 se intensifica la exploración y rehabilitación de labores mineras hacia noreste del yacimiento minero de Portovelo, determinando consigo la continuidad de unas estructuras y la determinación de nuevas estructuras mineralizadas, incrementando las reservas y los recursos mineros (MINESADCO, 2022).

En la actualidad, el proyecto minero Casa Negra, procesa 300 grAu/tn de los cuales el 45% pertenecen a minerales de baja sulfuración y 55% de mediana sulfuración, caracterizado macroscópicamente por minerales de ganga como el cuarzo y la calcita y minerales de mena como la pirita (Py), calcopirita (Ccp) galena (gal), esfalerita (Sp) (esf), donde se presume que el Au se encuentra diseminado y asociado a estos sulfuros (MINESADCO, 2022).

4.2. Definiciones de las variables de estudio

Las principales variables de la investigación se centraron en el análisis petrográfico de láminas delgadas, así como algunas características físicas y químicas de las muestras de vetas, la conminución y la metalurgia. Estas variables se derivan de la actividad minera tanto de mina como de la planta de procesamiento. A continuación, se definen las variables mencionadas:

4.2.1. Yacimiento Mineral

La naturaleza y composición geoquímica, mineralógica y petrográfica de nuestro planeta difiere por cada capa en que se divide; la composición en la zona más profunda (núcleo) es simple y homogénea, intermedia en el manto y, la capa más superficial (la corteza) presenta una composición más compleja y heterogénea considerándose desde un aspecto geoquímico es decir, que todos los elementos químicos están distribuidos de forma muy amplia en esta última zona por lo tanto, esta zona puede estar formada por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Una definición de yacimiento mineral sería: parte de la corteza terrestre, en la cual, debido a procesos geológicos, ha habido una acumulación de materia prima mineral, la cual por sus características de cantidad, calidad y condiciones de depósito es redituable su explotación. Entendiendo por materias primas minerales a las sustancias que se extraen de la corteza terrestre para aprovechar sus propiedades físicas o químicas. Esta definición comprende todos los minerales y rocas utilizados por el hombre y los elementos y compuestos que se extraen de ellos (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

El origen de los depósitos minerales se encuentra ligado con la evolución de la corteza terrestre, principalmente con la interpretación moderna de la tectónica de placas y sus

elementos. Los depósitos pueden clasificarse según el ambiente tectónico, el ambiente de formación, la forma o simetría, el contenido de elementos químicos o los procesos de formación (INGEOMINAS, 2010)

4.2.2. Depósitos Hidrotermales

La mayoría de los depósitos hidrotermales se origina a partir de fluidos calientes ricos en metales que son restos de procesos magmáticos en estadios tardíos. Durante la solidificación, se acumulan líquidos, más diversos iones metálicos, cerca de la parte superior de la cámara magmática. Debido a su movilidad, estas soluciones ricas en iones pueden migrar grandes distancias a través de las rocas circundantes antes de ser finalmente depositados, generalmente como sulfuros de varios metales (Tarbuck y Lutgens, 2005)

Algunos de estos fluidos se mueven a lo largo de aberturas, como fracturas o planos de estratificación, donde se enfrían y precipitan las menas metálicas para producir depósitos filonianos. La mayoría de los depósitos rentables de oro, plata y mercurio se producen como depósitos filonianos hidrotermales. Otro tipo importante de acumulación generada por la actividad hidrotermal se denomina depósitos diseminados. En vez de concentrarse en venas estrechas y diques, estas menas se distribuyen en forma de pequeñas acumulaciones dispersas en la masa rocosa (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.2.3. Vetas

Son cuerpos de forma tubular, con dimensiones suficientemente grandes, a lo largo del rumbo y el buzamiento. Los contactos de las vetas con las rocas encajantes son por lo general bien definidos, aunque se pueden encontrar contactos de cambio gradual. Las dimensiones son variadas, desde unos cuantos metros hasta unos kilómetros de longitud y desde pocos centímetros hasta algunos metros de potencia (Griem, 2020).

4.2.4. Minerales

Un mineral es una sustancia natural que se diferencia del resto por su origen inorgánico, su homogeneidad, composición química preestablecida y que corrientemente ostenta una estructura de cristal. Entre sus funciones principales se cuenta la de ser un componente decisivo y fundamental para la conservación y la salud de los seres vivos, ya que su presencia resulta determinante para la actividad de las distintas células (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.2.5. Minerales auríferos

El mineral oro no se encuentra en la naturaleza formando compuestos. La presentación habitual es en estado nativo o formando aleación, generalmente con plata (Electrum). En la naturaleza aparece diseminado en pequeñas cantidades y se halla comúnmente en filones que

tienen relación de formación con rocas ígneas de tipo silíceo. La principal fuente de oro se encuentra en filones hidrotermales de cuarzo y oro, asociado con la pirita (Py) y otros sulfuros, donde el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían (Ros, 2017).

El oro no se encuentra en combinación química alguna con los sulfuros, pero si se encuentra mezclado mecánicamente con los sulfuros. Cerca de la superficie, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción más fácil. En gran parte de los filones, el oro se encuentra finamente bien dividido y distribuido de forma tan uniforme, que su presencia no puede ser detectada por simple inspección (Ros, 2017).

Según Ros (2017) existe una clasificación de menas de oro orientada a la extracción del metal:

- Menas de oro nativo, en las cuales el metal precioso puede recogerse mediante separación por gravedad, amalgamación y/o cianuración.
- Oro asociado con sulfuros, donde el oro se puede encontrar en forma de partículas libres o diseminadas en los sulfuros.
- Teluros de oro, generalmente aparecen junto con oro nativo y sulfuros.
- Oro en otros minerales, con arsénico y/o antimonio, minerales de plomo y zinc y con materiales carbonáceos.

Considerando esta clasificación y desde el punto de vista de la extracción de oro, se puede considerar dos grandes grupos de minerales de oro, los refractarios y lo no refractarios.

4.2.6. Muestreo

Muestreo, en el sentido más amplio representa el conjunto de operaciones que permite la obtención de una muestra que puede ser analizada. En su sentido más estricto, puede ser definido como la operación de remover una pequeña fracción de o parte, que denominaremos muestra, desde un conjunto de material de mucho mayor volumen, de tal manera que las características del conjunto pueden estimarse estudiando las características de las muestras (Lambert, 2006).

4.2.7. Técnicas de muestreo en vetas

Los métodos geoestadísticos son aplicados en el modelamiento de recursos minerales. La geoestadística comprende un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo, de una forma continua. La aplicación de estos métodos tiene diferentes etapas (INGEOMINAS, 2010).

Existen una serie de métodos para la recolección muestras. El tipo de muestreo depende de la información que se pretende analizar y se establece los siguientes:

- **Ranurado continuo (“Channel sampling”).** – Según Carrazana (2022), consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, bien a lo largo de la capa o vena o bien en ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones de la acanaladura suelen ser del orden de 8-10 cm de anchura por 2-3 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible.
- **Ranurado discontinuo (“Chip sampling”).**- Consiste en tomar el material de cuerpo mineral de puntos distribuidos geoméricamente en la masa mineral, bien de forma lineal o bien formando una malla regular en dos dimensiones.
- **Muestreo a partir del material ya extraído (“grab sampling”).**- Se realiza con la toma de grandes muestras a partir de material ya extraído previamente y acumulado en centros de acopio así como también puede ser cuando el material se encuentra en los medios de transporte empleados para el transporte del material (p.e volquetas, vagones, etc.). El tamaño de la muestra se encuentra en proporción de los fragmentos de la muestra (Carrazana, 2022)
- **Muestreo en masa (“bulk sampling”).**- Según Carrazana (2022) este método consiste en la recogida de muestras de gran volumen (frecuentemente varias toneladas y pudiendo llegar hasta las 500 toneladas o incluso más). Se utiliza en yacimientos de muy baja ley (p.e. diamantes, oro aluvionar o platino) en los que las pequeñas desviaciones en la ley pueden tener un efecto crítico, y, sobre todo, como aporte de mineral a una planta piloto.
- **Muestreo en sondeos (“drill sampling”).**- La realización de sondeos en minería resulta una labor sumamente frecuente, por lo que su adecuado muestreo resulta básico, tanto en la etapa de exploración como en la de evaluación e, incluso, en la de explotación (Carrazana, 2022).

4.2.8. Petrografía

La Petrografía es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos,

lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma (SGMexicano, 2017).

Un estudio petrográfico requiere, en primer lugar, del examen físico de la roca (descripción macroscópica) que nos brinde información sobre el aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca. Una descripción microscópica consiste en determinar la composición mineralógica y los rasgos texturales, con lo que es posible obtener mucha información de donde se originó la roca; también se determina la forma y color de los cristales, tipo u origen de cada mineral (primarios o secundarios), la textura, la relación mutua entre los minerales y/o asociaciones minerales, así como la matriz o cementante en caso que esté presente. Cada tipo de roca tiene características microscópicas específicas muy importantes en una clasificación. Cabe señalar que ambos análisis en conjunto (macroscópica y microscópica) brindan los parámetros necesarios para describir y clasificar acertadamente una roca (SGMexicano, 2017).

4.2.9. *Proceso de Conminución*

Según Napier et al. (2006), definen que el principio de comunicación parte de entender la rotura desde la red cristalina. Expresan: “La mayoría de los minerales son materiales cristalinos en los que los átomos están ordenados regularmente en arreglos tridimensionales. La configuración de los átomos está determinada por el tamaño y los tipos de enlaces físicos y químicos que los mantienen unidos. En la red cristalina de los minerales, estos enlaces interatómicos son efectivos solo en distancias pequeñas y pueden romperse si se extienden por un esfuerzo de tracción. Dichos esfuerzos pueden ser generados por cargas de tracción o compresión”. La teoría de la conminución básicamente se ocupa de la relación entre la entrada de energía y el tamaño de las partículas obtenidas a partir de un tamaño de alimentación dado. Se han expuesto varias teorías, ninguna de las cuales es completamente satisfactoria (Wills & Atkinson, 1993).

En el Manual General de Minería y Metalurgia. Minas del Portal Minero S.A. (2006), define la conceptualización de Razón de reducción (Rr). Todos los equipos involucrados, ya sean chancadores o molinos, tienen una relación diferente entre los tamaños de alimentación y descarga. A la relación entre el tamaño de alimentación y el tamaño de descarga de cualquier equipo de conminución se la llama “razón de reducción”. $Rr = F80/P80$.

4.2.10. *Trituración.*

Kojovic (1997) señala que la trituración es la primera etapa mecánica del proceso de trituración en la que el objetivo principal es la liberación de los minerales valiosos de la ganga.

Generalmente es una operación en seco y suele ser realizado en dos o tres etapas. Los terrones de mineral extraído de la mina pueden tener un tamaño de hasta 1,5 m de ancho y se reducen en la etapa de trituración primaria a 10-20 cm en máquinas de servicio pesado. Las trituradoras primarias son comúnmente diseñadas para operar el 75 % del tiempo disponible, principalmente debido a interrupciones causadas por alimentación insuficiente de la trituradora y por retrasos mecánicos en la trituradora (Lewis & Bhappu, 1976)

Cuatro son los factores de importancia para la elección del triturador adecuado:

- El tipo de mineral a tratar,
- El tamaño de la alimentación,
- La capacidad; y,
- Las características requeridas para el producto final del chancado.

De estos factores, sólo los dos primeros están relacionados directamente con el mineral, ya que los otros tienen relación directa con la máquina escogida.

Taggart, desarrolló una fórmula práctica para determinar la capacidad de producción de los triturados de mandíbulas, cuya expresión es:

$$Q = 0.093 * b * d$$

Donde:

Q.- capacidad en tph

b.- ancho de la mandíbula, cm.

d.- tamaño del material triturado, en cm.

Esta fórmula coincide bien con los resultados prácticos obtenidos con trituradores de tamaño medio. Para los grandes trituradores la fórmula da valores bajos para el caudal obtenido.

Lewenson, elaboró la fórmula para determinar la capacidad de producción de trituradores de mandíbulas:

$$Q = 150 * \eta * b * s * d * u * \gamma$$

Donde:

Q.- capacidad en tph

η .- capacidad en tph $d * u * \gamma$

b.- ancho de la mandíbula oscilante, en m.

s.- amplitud de oscilación de la mandíbula oscilante en cm.

d.- tamaño medio del material triturado, en m.

u.- grado de llenado del material triturado, dependiente de sus propiedades físicas.

aproximadamente entre 0.25 y 0.5. triturado

4.2.11. Molienda

Shi (2004) menciona que la molienda es la última etapa del proceso de conminución; en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión, ya sea en seco o en suspensión en agua. Se realiza en recipientes de acero (cilíndricos giratorios) que contienen una carga de cuerpos de trituración sueltos, el medio de molienda, que puede moverse libremente dentro del molino, reduciendo así las partículas de mineral.

Los molinos pueden tener varias clasificaciones: De acuerdo con las formas: cortos, alargados y tubulares. En función del medio moledor: de bolas, barras o guijarros. En molienda tradicional, el medio de molienda puede ser varillas de acero, bolas o su propia roca.

Los molinos se emplean típicamente en la industria minera para procesos de molienda con ingresos entre 5 y 250 mm; y, se reduce de tamaño a entre 40 y 300 mm. En los molinos agitados, la carcasa del molino con una orientación horizontal o vertical es estacionaria y el movimiento de un agitador interno imparte movimiento a la carga.

Se busca establecer las correlaciones confiables entre la energía específica [kWh/ton] consumida en un proceso de conminución y la correspondiente reducción de tamaño alcanzada en dicho proceso. Se analiza tres (3) postulados:

- **Postulado de RITTINGER (1867) (Primera Ley de la Conminución):** “La energía necesaria para fragmentar una partícula, producir una cierta reducción de tamaño, es proporcional a la nueva superficie creada”.
- **Postulado de KICK (1885) (Segunda Ley de la Conminución):** “La energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la reducción de volumen de las partículas”.
- **Postulado de BOND (1952) (Tercera Ley de la Conminución):** La energía necesaria para la fragmentación, reducción de tamaño de los materiales, es proporcional a la nueva longitud de fisura creada”.

4.3. Leyes de la Conminución:

Dentro de los procesos de la tecnología mineralúrgica, la fragmentación, es la operación de mayor consumo energético, y normalmente la de mayor costo.

4.3.1. Teoría de Rittinger (1867)

Este postulado considera solamente la energía necesaria para producir la ruptura de cuerpos sólidos ideales (homogéneos, isotrópicos y sin fallas), una vez que el material ha alcanzado su deformación crítica o límite de ruptura.

$$\hat{E}_k = K_k \left[\left(\frac{1}{P_{80}} \right) - \left(\frac{1}{F_{80}} \right) \right]$$

Donde:

\hat{E}_k : Energía específica de conminución (kWh/ton)

K_k : Constante de Rittinger

P80: Tamaño de 80% acumulado pasante en el producto

F80: Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

Aun cuando el postulado de Rittinger carece de suficiente respaldo experimental, se ha demostrado en la práctica que dicha teoría funciona mejor para la fracturación de partículas gruesas, es decir, en la etapa de chancado del material.

4.3.2. Teoría de Kick (1885)

Esto significa que iguales cantidades de energía producirán iguales cambios geométricos en el tamaño de un sólido. Kick consideró que la energía utilizada en la fractura de un cuerpo sólido ideal (homogéneo, isotrópico y sin fallas), era sólo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura; despreciando la energía adicional para producir la ruptura del mismo.

$$\hat{E}_k = K_k \text{Log} \left(\frac{F_{80}}{P_{80}} \right)$$

Donde:

\hat{E}_k : Energía específica de conminución (kWh/ton)

K_k : Constante de Kick

P80: Tamaño de 80% acumulado pasante en el producto

F80: Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

Aun cuando el postulado de Kick carece de suficiente respaldo experimental; se ha demostrado en la práctica, que su aplicación funciona mejor para el caso de la molienda de partículas finas.

4.3.3. Tercera teoría o teoría de F.C. Bond (EEUU 1951):

Bond definió el parámetro KB en función del Work Index WI (índice de trabajo del material), que corresponde al trabajo total (expresado en [kWh/ton. corta]), necesario para reducir una tonelada corta de material desde un tamaño teóricamente infinito hasta partículas que en un 80% sean inferiores a 100 [μm].

$$E_B = 10 * W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

$$W_B = 10 * W_i \frac{1}{\sqrt{D80}} (\sqrt{Rr} - 1)$$

Siendo:

WB: Energía necesaria kWh por tonelada conta tratada (1 tonelada corta =907.2kg)

D80: Tamaño de malla por la que pasa el 80% de la alimentación, expresado en μm

d80: Tamaño de malla por la que pasa el 80% del producto, expresado en μm

Rr: Relación de reducción dada por D80/d80

W_i: Índice de Bond, índice de trabajo, work index, Magnitud que representa la resistencia que ofrece un material a ser fragmentado y que depende de su propia naturaleza

El parámetro WI depende tanto del material (resistencia a la conminución) como del equipo de conminución utilizado, debiendo ser determinado experimentalmente para cada aplicación requerida. También representa la dureza del material y la eficiencia mecánica del equipo.

El WI se determina a través de ensayos de laboratorio, que son específicos para cada etapa (chancado, molienda de barras, molienda de bolas). Estos ensayos entregan los parámetros experimentales, respectivos de cada material, los que se utilizan en las ecuaciones respectivas, que se indican a continuación.

4.4. Proceso Metalúrgico

El beneficio o recuperación de minerales de material de mena requiere de técnicas especiales de concentración; las causas que imponen estas exigencias son las propiedades físicas, químicas o mineralógicas del material de la mena (Hinojosa, 2016).

4.4.1. Gravimetría

La concentración de oro por medio del proceso gravimétrico se caracteriza por el atrapamiento de oro “Grueso” que es sometido a gravimetría, su principal inicio se fundamenta en el alto peso específico del oro.

Existen algunos métodos utilizados, pero el principal y más utilizado son los molinos chilenos acompañado con la colocación de bayetas al largo del circuito de agua a un ángulo promedio de 15°.

Los cuerpos mineralizados que contiene oro en forma libre y de fácil recuperación por métodos de concentración gravimétrica directa o utilizando lixiviación por cianuro, son y serán cada vez más escasos (Nochols, 2015).

4.4.2. Cianuración

Según Ros (2017), la cianuración es el proceso más usado para la recuperación de oro, de manera especial a menas no refractarias. El cianuro sódico es un agente de lixiviación con gran uso debido a su gran capacidad para extraer el oro de una gran variedad de menas y a de bajos costos.

Se considera como sistema relativamente simple, el oro se disuelve con facilidad y las únicas condiciones que se requieren son: que el oro esté libre y limpio; que la solución de cianuro no contenga impurezas que puedan inhibir la reacción y que se mantenga un adecuado abastecimiento de oxígeno a la solución durante todo el proceso de la reacción. El de oro, en la práctica, se comportan adecuadamente a este proceso, los problemas que se presenta en la extracción del mineral son más de tipo mecánicas que químicas.

4.4.3. Flotación

Según el Portal Minero (2006) la flotación, se define como un proceso físico-químico que se utiliza para la separación de los minerales sulfurados del metal de interés a recuperar del resto de los minerales y especies que componen la mayor parte de la roca de mena. Previamente el material de mena debe someterse a un proceso de conminución donde el material en forma de pulpa proveniente de la molienda pasa a las celdas de flotación con los reactivos necesarios para la flotación. Este método funciona a partir de la hidrofobicidad de los minerales; para que tenga eficiencia en el fondo de las celdas se hace burbujear aire, no en todas, a través de las aspas de agitadores rotatorios ubicados uno por celda, lo cual mantiene la pulpa en constante agitación para permitir que todas las partículas de mineral dispersas en la pulpa mantengan el mejor contacto con los reactivos, el agua y el aire para que con ello el proceso de flotación se lleve a cabo en forma eficiente

Para conseguir una pulpa homogénea a la entrada de la flotación, se debe utilizar diferentes reactivos desde las etapas previas a la flotación, cada reactivo tiene diferente naturaleza y cumplen distintas funciones.

Los reactivos para utilizar para el proceso de flotación son: espumantes, colectores, depresantes y modificadores de pH.

4.5. Técnicas de caracterización de minerales

A menudo el estudio que se realiza para la valoración de un yacimiento solo se determina como un estudio genérico de las leyes de los elementos presentes y determinar si es interesante o no, haciendo de lado el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. Un estudio detallado de la mineralogía puede ayudar a incrementar el valor añadido de la explotación, e incluso solo con este análisis se puede tener como ayuda para descartar o confirmar el interés del yacimiento. Teniendo en cuenta el bajo costo de los análisis mineralógicos, cuando se comparan con otros métodos, no deja de ser sorprendente este comportamiento erróneo de muchas empresas. (SGMexicano, 2017)

Es por lo que se deben considerar las técnicas de caracterización mineral, así como valorar la incidencia de los estudios mineralógicos en las distintas etapas de la minería, así como en los procesos de recuperación del mineral de interés. Las técnicas han sido clasificadas en 2 grupos. El primer grupo incluye a las técnicas de mayor uso, son las de un costo accesible, denominadas “técnicas convencionales” y las de segundo grupo que son de alto costo económico denominadas “técnicas no convencionales”. (SGMexicano, 2017)

A continuación, se citan las principales técnicas convencionales:

4.5.1. Difracción de rayos X

Este método instrumental se considera como una herramienta efectiva y complementaria para la identificación de minerales, debido a que nos permite obtener información mineralógica básica en forma rápida. Por lo general, se la utiliza como técnica de aproximación de análisis mineralógicos. Con esta técnica instrumental se puede identificar los minerales asociados de mena y los minerales finos granulares en depósitos auríferos (INGEOMINAS, 2010).

4.5.2. Microscopía óptica

Según Párraga (2017), la microscopía óptica de luz reflejada es un estudio que aprovecha las propiedades ópticas de los minerales opacos siendo posible identificarlos por sus propiedades físicas. Permite determinar algunos minerales opacos, de manera particular a los sulfuros metálicos, siendo posible determinar sus tamaños, asociaciones y liberaciones

mediante un cuidadoso conteo de partículas y complementa a los ensayos de técnicas instrumentales.

4.5.3. Sección Delgada o Pulidas

Es una de las herramientas indispensables para el análisis de los minerales translucidos con el microscopio de polarización identificando los minerales opacos mediante luz reflejada y es destinado principalmente en geología económica para determinar el tipo de mineral de mena como oro, cobre, coltán entre otros.

Las secciones delgadas pulidas son láminas delgadas de 25µm de espesor de rocas o minerales, preparadas para ser observados bajo microscopio petrográfico con el fin de efectuar descripciones detalladas acerca de la naturaleza de las muestras objeto de análisis. Cada mineral tiene sus propias características ópticas, que permiten identificarlo y analizarlo con alto grado de certeza. Las secciones delgadas pulidas son una técnica ampliamente aceptada para el estudio petrográfico y petrológico de rocas y minerales (INGEOMINAS, 2010).

4.5.4. Láminas delgadas

Las láminas delgadas o secciones delgadas son preparaciones que se realizan en rocas para su estudio con microscopio petrográfico, y que consisten en rodajas de la roca de un espesor de unas 30 µm que se adhieren a láminas de vidrio mediante resina epoxi, para posteriormente ser recubiertas con un cubre objetos. El objetivo de preparar una lámina delgada dejándola a 30 µm es para permitir que la luz la atraviese. El microscopio petrográfico posee un polarizador que convierte la luz que emite en luz polarizada, un analizador, que es una lente que polariza la luz perpendicularmente al polarizador. Las observaciones se pueden realizar con el analizador activado o sin él. Cuando se observa una lámina delgada al microscopio la luz atraviesa el polarizador y una vez polarizada atraviesa la lámina delgada y llega al analizador (si está activado) y luego al observador. A partir de la observación, con y sin analizador, de las distintas propiedades de los minerales en láminas delgadas, se puede conseguir su identificación (Escuela Politécnica del Ecuador [ESPOL], 2023).

4.5.5. Propiedades físico-químicas y mineralógica

4.5.5.1. Propiedades físicas.

4.5.5.1.1. El peso específico. El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia en el espacio (Leskow, 2021).

4.5.5.1.2. Resistencia a la compresión simple. Se denomina resistencia a la compresión simple o uniaxial de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. La resistencia a la compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso (Burbano y García, 2016).

4.5.5.1.3. Análisis Granulométrico. El material explotado en mina por medio de la fase de la voladura y que ingresa a las operaciones de beneficio está conformado por un sinnúmero de tamaños, estructura y forma, por tal motivo el análisis granulométrico es de suma importancia para el planeamiento, seguimiento y control en el procesamiento de minerales. (Bustamante, 2020)

Uno de los métodos más efectivos para definir el tamaño de la partícula de un mineral, es la malla valorada por donde el 80% de material pasa, esto es conocido como d80. (Bustamante, 2020). Una malla valorada tiene como objetivo primordial conocer la distribución de oro en distintas mallas granulométricas, para lo cual se utiliza una serie de tamices de diferente mallaje que permiten pasar y retener parte del mineral según sea el tamaño de cada partícula.

4.5.5.2. Propiedades químicas. La composición química elemental de la mena consiste en la determinación del contenido de elementos metálicos y no metálicos; se puede determinar por técnicas instrumentales como difracción de rayos X, que permiten determinar cuantitativa y cualitativamente los minerales existentes en el material de mena.

4.5.5.2.1. Ensayo al fuego. El ensayo al fuego es una rama del análisis químico cuantitativo en el cual los metales preciosos presentes en menas y concentrados minerales son determinados utilizando altas temperaturas y reactivos fundentes (Bugbee, 1940) .

El análisis de oro (Au) por medio del ensayo al fuego se basa en dos procesos. El primer proceso radica en la segmentación del oro (Au) con otros minerales que compone la estructura mineralizada, por medio un metal colector. El siguiente paso consiste en la separación del oro (Au) con el metal colector, se lo realiza por lo general con la copelación.

4.5.5.3. Caracterización mineralógica. Según INGEOMINAS (2010) el estudio de minerales por microscopía óptica es la técnica más importante para la identificación y caracterización de minerales y sus relaciones texturales. En depósitos minerales, el estudio de los minerales opacos se ha conocido tradicionalmente como microscopía de mena o calcografía. Las asociaciones minerales y sus texturas no solamente indican las condiciones de formación de los depósitos, sino que aportan valiosa información en el beneficio y procesamiento de minerales.

La importancia de la aplicación de las técnicas petrográficas y analíticas en la caracterización de menas auríferas y las propiedades que influyen en el beneficio de minerales. En este laboratorio se realizan análisis petrográficos y mineralógicos, que ayudan a obtener la identificación y especiación de minerales, la clasificación de las rocas, la caracterización de menas auríferas y otros depósitos metálicos, el control mineralógico de procesos extractivos y la caracterización de minerales industriales (INGEOMINAS, 2010).

5. Metodología.

5.1. Área de estudio

La zona de estudio se concentra en el análisis petrográfico de las principales vetas de la Mina Casa Negra, localizada en la Provincia de El Oro, cantón Portovelo, parroquia Portovelo, es un proyecto establecido bajo el régimen de pequeña minería, sus operaciones mineras de exploración, explotación y beneficio de minerales se encuentran establecidas dentro del distrito minero Zaruma – Portovelo, sobre el yacimiento hidrotermal vetiforme de baja y media sulfuración, emplazado sobre la Unidad Portovelo, entre la falla Puente Buza - Palestina y falla Piñas Portovelo.

5.1.1. Ubicación

La Mina Casa Negra, se encuentra ubicada en la parroquia Portovelo, cantón Portovelo, provincia de El Oro.

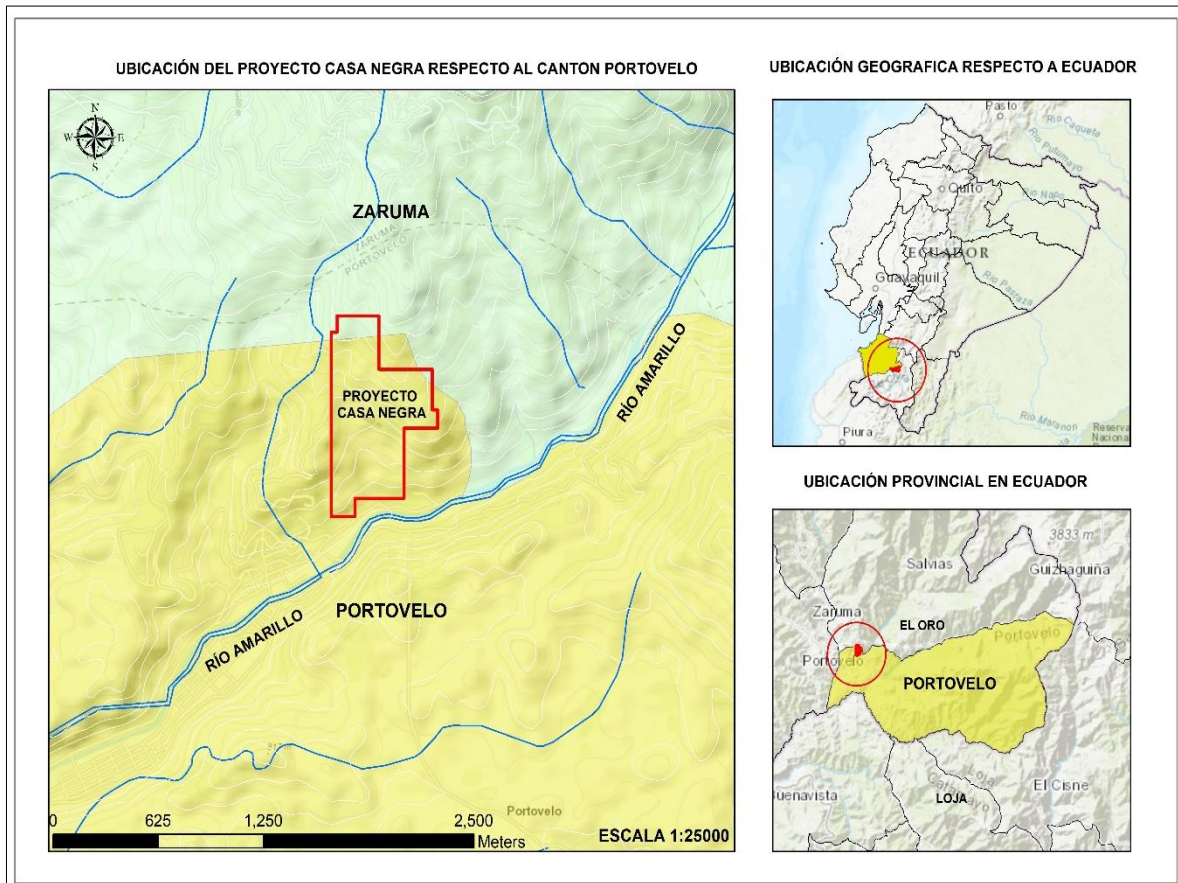


Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto minero Casa Negra. Minesadco S.A.

Fuente: Minesadco S.A.

5.1.2. Acceso

Para llegar a la Mina Casa Negra, se lo realiza por la vía de primer desde la ciudad Loja hacia el cantón Catamayo una distancia de 44 km., se retoma una vía de segundo orden desde el sector de las Chinchas hasta la ciudad de Portovelo una distancia de 59 km.

5.1.3. Geología Regional

La zona de estudio se encuentra establecido sobre el distrito minero Zaruma – Portovelo, en el Suroeste de la cordillera Occidental, en una secuencia de rocas volcánicas calco-alcalinas y volcano-sedimentos, pertenecientes al grupo Saraguro, formadas en el Eoceno – Mioceno, según Dunkley y Gaibor (1997) yacen sobre rocas del complejo metamórfico de El Oro (Figura 2).

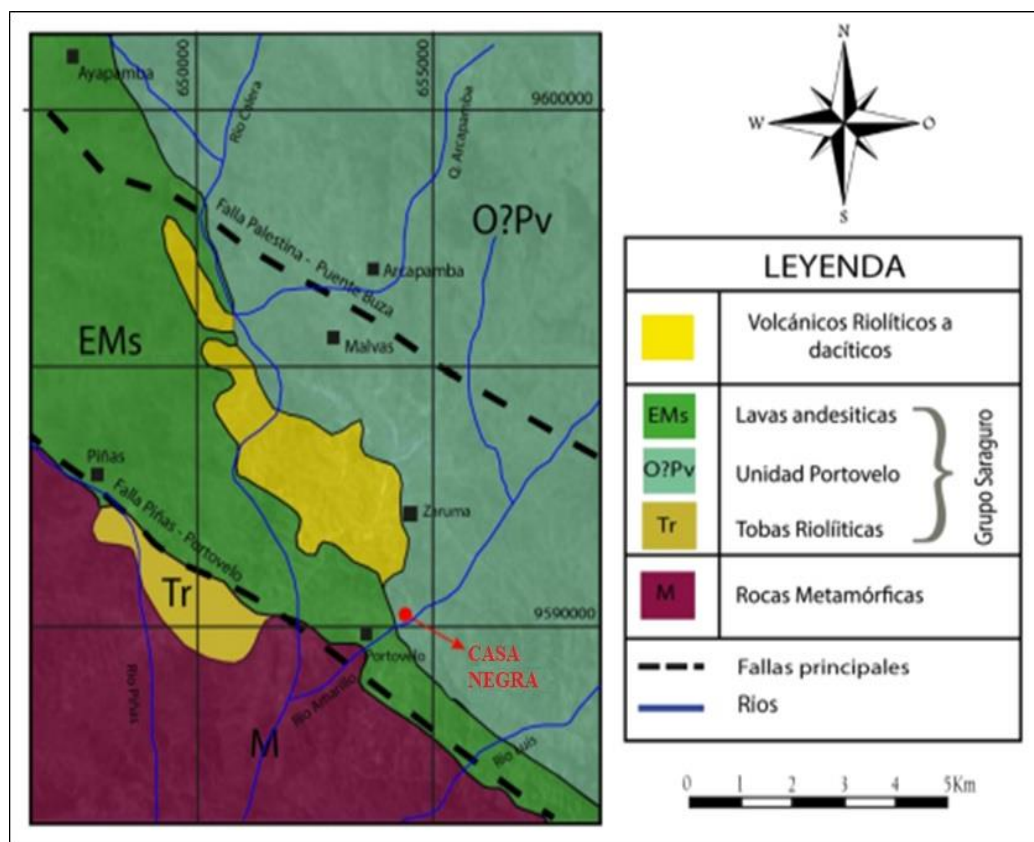


Figura 2. La geología del distrito minero Zaruma – Portovelo engloba principalmente rocas ígneas y metamórficas. El círculo rojo muestra el área de estudio. Modificado de Bonilla (2009).

Fuente: Bonilla (2009)

Regionalmente se encuentra constituido por rocas Metamórficas, Paleozoico a Cretácico según Aspden (1995) establece que se formaron a partir de un prisma de acreción, en donde existe una intercalación de rocas de alto y bajo grado de metamorfismo (Pratt, 1997). Los 9 eventos metamórficos ocurrieron presumiblemente en el Triásico y Cretácico (Aspden, 1995).

En el área comprendida entre las fallas Piñas – Portovelo y Jubones, afloran principalmente como ventanas erosiónales: esquistos verdes, anfibolitas, gneiss de alto grado, pizarras de bajo grado de metamorfismo, filitas grafíticas y lentes de serpentina (Aspden, 1995).

Para Dunkley y Gaibor (1997) este grupo comprende una secuencia de rocas volcánicas calco-alcalinas del Eoceno - Mioceno, que cubren gran parte del Sur de la Cordillera Occidental y está conformado principalmente por: tobas soldadas, flujos de ceniza de composición dacítica a riolítica, lavas andesíticas y material volcánico retrabajado. Estas rocas se encuentran en contacto discordante con las rocas metamórficas del bloque Amotape Tahuín y con la unidad Pallatanga. En el área correspondiente al distrito minero Zaruma - Portovelo, la mayor parte del grupo está indiferenciado, reconociéndose solamente a la Unidad Portovelo (Pratt, 1997).

Según Pratt (1997), aflora al Norte de la falla Piñas-Portovelo, donde sobreyace a rocas del complejo metamórfico, definiendo un amplio registro de la actividad plutónica y efusiva terciaria (Bonilla, 2009). Esta unidad comprende: lavas basalto-andesíticas y andesíticas, tobas andesíticas meteorizadas y tobas dacíticas de edad Oligoceno tardío – Mioceno temprano. (Dunkley y Gaibor, 1997).

Anteriormente las rocas de esta unidad estuvieron catalogadas dentro de la formación Celica menciona Kennerley (1973), así mismo, fueron clasificadas en tres series estratigráficas con continuidad en el tiempo: Muluncay, Portovelo y Faique (Bonilla, 2009)

Rocas Intrusivas: Existen intrusiones aisladas de afinidad calco-alcalina, principalmente cuarzo dioritas y granodioritas (Pratt, 1997). Para Chiaradia et al. (2004), tienen una edad de ~32 Ma. Además, existen stocks subvolcánicos de riolita afírica y andesita porfirítica dentro del Grupo Saraguro (Pratt, 1997).

5.1.4. Geología Estructural

Van Thournout et al. (1996) indica que de forma regional, las fallas que estructuralmente predominan poseen una tendencia N-S; NO-SE; E-O; y E-SE, son estructuras circulares y fallas de bajo ángulo. Los límites del distrito minero están definidos por tres estructuras principales:

Al Sur está delimitado por el sistema de fallas Piñas-Portovelo. Estas fallas de cabalgamiento con dirección E-SE señala Pratt (1997), que separan los estratos volcánicos del grupo Saraguro de las rocas del complejo metamórfico (Aspden, 1995).

Hacia el Norte el distrito está limitado por la estructura Jubones, con dirección EO, que en gran parte de su extensión se interpreta como una falla inversa con cabalgamiento hacia el Norte y evidencia de deslizamiento sinistral establece Pratt (1997); esta falla acerca los basaltos de la unidad Pallatanga con las rocas del complejo metamórfico de El Oro (Aspden, 1995).

Según Pratt (1997) señala que la falla regional Peltetec, establece el límite Este del distrito minero. Esta falla converge en su sección Sur con la falla Jubones, tomando un rumbo prácticamente N-S y adoptando el nombre de falla Girón; se trata de una falla inversa activa, con buzamiento SE que cabalga las tobas del Grupo Saraguro. Esta estructura también está compuesta por pliegues, fallas inversas subordinadas y cabalgamientos con dirección N a NE (Litherland, 1994).

Para Bonilla (2009), las estructuras del área se clasifican como fallas de primer orden (Girón), segundo orden (Piñas – Portovelo y Jubones) y tercer orden (Subordinadas de corta extensión). Las estructuras de tercer orden juegan un papel importante en la dinámica de la zona y tienen rumbos variables.

Puntualmente, las estructuras que controlan y delimitan el distrito aurífero Zaruma Portovelo, es el sistema de fallas Piñas - Portovelo y Puente Buza – Palestina, mantienen un rumbo paralelo. El primer sistema, es una falla de cabalgamiento, en una longitud de 40 km con un azimut aproximado de 295° que separa a su vez, al Grupo Saraguro del Complejo Metamórfico de El Oro al Sur. El desplazamiento del Grupo Saraguro al Oeste de Zaruma indica un salto vertical de al menos 3 km entre Piñas y Zaruma. Mientras que, al Oeste de Piñas, la falla aparece con buzamiento alto, entre Piñas y Salatí y al este de Portovelo, es un cabalgamiento con tendencia al Sur, buzando al Norte. Al norte, la falla Puente Buza-Palestina, sigue un rumbo paralelo a la Falla Piñas-Portovelo y se extiende aproximada de 10 km.

Por su parte Van Thournout (1996), las falla Piñas-Portovelo y Palestina-Puente Buza, son las responsables de la generación de espacios dilatantes en con rumbo N-S, permitiendo la inyección de fluidos hidrotermales dando lugar a la mineralización de rocas andesíticas, formando así el enjambre de filones comprendidos entre Portovelo y Zaruma.

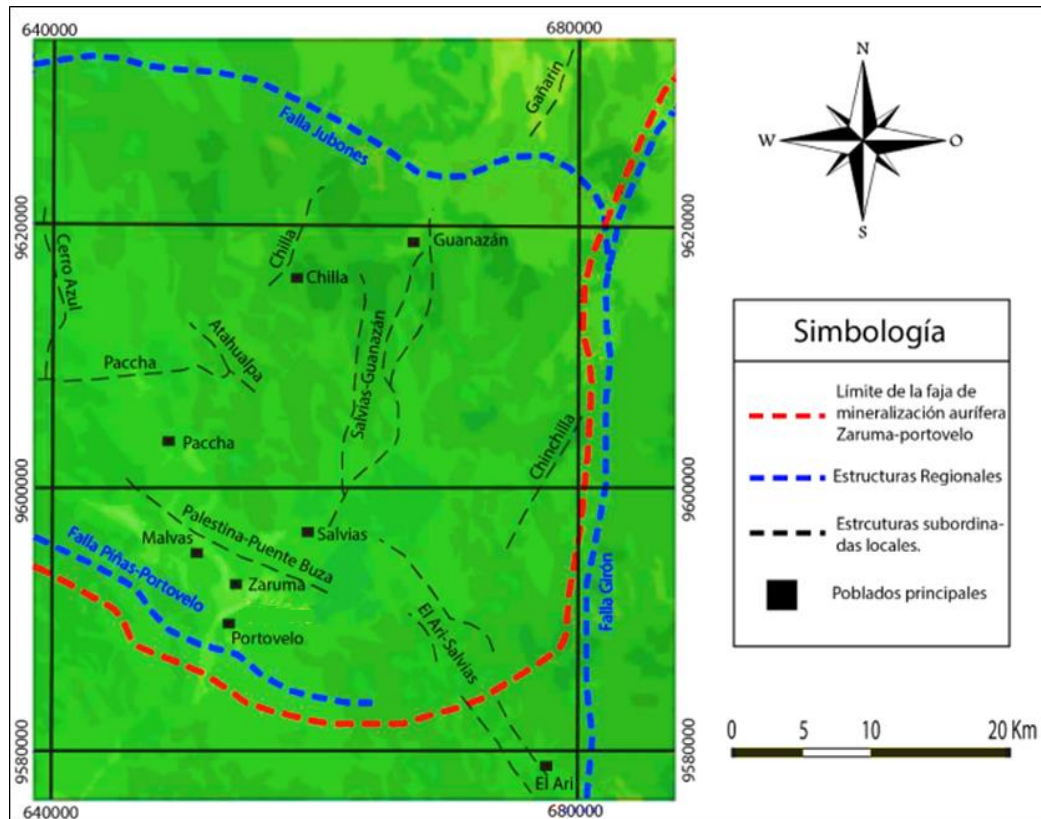


Figura 3. Mapa de estructuras geológicas de Zaruma-Portovelo. Se muestra la localización de las megaestructuras regionales y estructuras subordinadas locales. Modificado de Bonilla (2009).

Fuente: Bonilla (2009).

5.1.5. Geología Local

La zona de estudio se encuentra situada sobre la unidad geológica Portovelo, la zona de la veta Matalanga, Nudo y centro norte de las vetas Abundancia y Jorupe presenta un basamento de andesitas básica de portovelo a andesitas basáltica, las rocas son de tipo ígneas plutónicas, muestra una textura porfirítica a piroxénica y están compuestas por cristales de (10%) piroxeno, (5%) anfíbol, (2%) biotita, (5) feldespatos y (8%) plagioclasas, conjuntamente con minerales de alteración como: (~5%) clorita, (~2%) caolín, (~2%) pirita (Py) y (<2%) calcopirita (Ccp) además de vetillas de cuarzo, calcita y de forma esporádica la presencia de epidota. Parte de zona sur de la veta Abundancia y Cantabria, se ve afectada por una roca diorita de grano fino con alteración propilítica en contacto con la roca andesita piroxénica. Al noroeste de la veta Matalanga se observa una roca andesita basáltica con alteración afanítica. La roca encajante presenta una densidad promedio de 2.65 a 2.7 gr/cm³ y una dureza de 5 a 6 según la escala de Mohs. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.)

Circundante a las estructuras mineralizadas Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia existe una zona de alteración, caracterizada por vetillas de cuarzo y calcita en algunos casos se presentan stockwork.

En algunas zonas por la filtración de agua provenientes de partes superior existen soluciones minerales lixiviadas principalmente: carbonatos, malaquita y óxidos ferrosos instalándose en las fallas, micro fallas, fracturas, diaclasas.

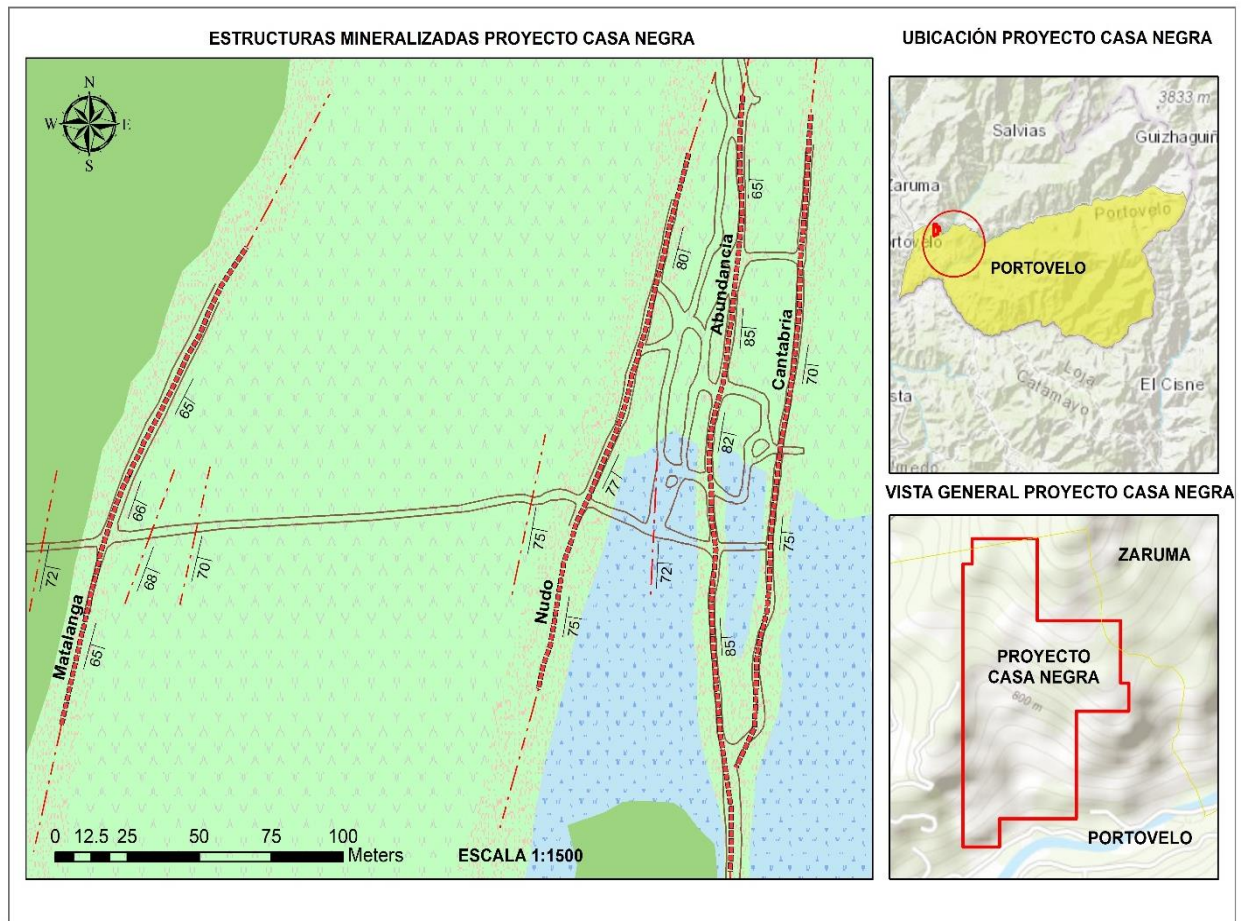


Figura 4. Geología Local Proyecto Casa Negra. Minesadco S.A.
Fuente: MINESADCO (2022)

5.2. Método

5.2.1. Recopilación de información

La recolección de información existente permite tener un enfoque claro para obtener información de diferentes fuentes con el fin de alcanzar un enfoque completo y preciso de la zona de interés. Tal es el caso que la información obtenida proviene de diferentes revistas y artículos científicos, tesis relacionadas al tema de investigación desarrollados en el distrito minero Zaruma – Portovelo, como también de la información generada por parte de la empresa minera Minesadco S.A.

5.2.2. Trabajos de campo

Se realizó una serie de visitas de campo, que permitió analizar y verificar el estado actual de la zona de estudio, tanto de la zona de exploración y explotación, procediendo a la

recolección de datos de campo; como es la litología de la roca encajante, los datos estructurales (rumbo - buzamiento) de las vetas, fallas, diaclasas, fracturas y la recolección y toma de muestras específicamente de la veta Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia. Como también los diferentes procesos mineralúrgicos y metalúrgicos establecidos en la planta de benéfico Casa Negra.

5.2.3. Ensayos de laboratorio

Se utilizaron los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Minas, de la Universidad Nacional de Loja (UNL) para la realización de los ensayos que se puedan realizar dependiendo de los equipos e instrumentos de la misma. En cambio, para los ensayos que no se lograron realizarlos en los laboratorios de la UNL, las muestras investigadas se ensayaron en laboratorios externos, como por ejemplo el laboratorio LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador UCE, para realizar los ensayos de difracción de rayos x - DRX y de la ESPOL. Para generar las secciones pulidas.

5.2.4. Trabajos de oficina

Con la información obtenida en las etapas antes mencionadas; tanto en la recopilación bibliográfica, información levantada en campo y los resultados obtenidos en los diferentes laboratorios, se procederá al procesamiento y análisis de datos para validar la información generada y dar respuesta a los diferentes objetivos planteados en la presente investigación.

5.2.5. Metodología para el primer objetivo

Las muestras tomadas en campo se enviaron a un laboratorio para el estudio de secciones pulidas, mismas que fueron realizadas en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional. Se realizó el análisis mineralógico y conteo de minerales con la utilización del microscopio petrográfico de luz polarizada marca Nikon Optiphotpol.

El microscopio petrográfico es un instrumento esencial para determinar los minerales que forman las rocas. Permite analizar los fenómenos que tienen lugar cuando la luz polarizada atraviesa los minerales y así poder identificarlos por sus propiedades ópticas. (Martines, 2017)

5.2.5.1. Muestreo. El sistema de muestreo se utilizó el ranurado continuo, propuesto por (Carrazana, 2022) consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, a lo ancho de la estructura mineralizada, con un ángulo recto al trazado de ésta. Las dimensiones del canal son entre de 8-10 cm de anchura por 2-3 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones lo más constantes posible.

Se lo realizo de manera sistemática, partiendo de un punto topográfico conocido, marcando cada dos metros hacia la dirección (N-S) de la estructura mineralizada. Con la ayuda

de combo y cincel se procedió a extraer parte de la veta cortando de forma transversal. El mineral roto se colocó en una manta para su posterior cuarteo y etiquetado de la muestra. Adicional se toman medidas del ancho de veta y ancho de minado para definir el porcentaje de discusión. Así mismo, se procede a realizar una descripción macroscópica de la veta como también la toma de datos estructurales como son rumbo y buzamiento. Este proceso se lo desarrollo por estructura mineralizada.



Figura 5. Extrayendo muestra con combo y cuña.



Figura 6. Homogenizando y cuarteando la muestra.

5.2.6. Metodología para el segundo objetivo

Una parte de las muestras tomadas en campo sirvieron para la caracterización física de la densidad, porosidad, peso específico, RQD y humedad; mismas que fueron determinadas en el laboratorio de la carrera de minas de la Universidad Nacional de Loja.

Para los análisis química del contenido de minerales, estos se obtuvieron mediante ensayos de difracción de rayos X, en laboratorio de Universidad Central del Ecuador, mismos que permitieran determinar la presencia de minerales de ganga y minerales que se encuentran asociados directamente al Au.

Para determinar la ley de cabeza, se lo realizo en el laboratorio de la empresa minera Minesadco S.A. y se empleó el método del ensayo al fuego, mismo que servirá para determinar la presencia de Au en las estructuras estudiadas.

Una vez obtenido los datos de la caracterización físico – químicas del mineral analizado en laboratorio se procedió a determinar y definir el proceso de conminución de acuerdo a estas características.

5.2.7. Metodología para el tercer objetivo

Indicar un proceso metalúrgico de acuerdo a las características físico – químicas y petrográficas de las vetas de la Mina Casa Negra.

De acuerdo a las caracterización física- química y petrográfica de las vetas analizadas se determinó que el método que se puede emplear en este tipo de vetas para el proceso metalúrgico en la concentración y recuperación de Au será flotación y cianuración.

5.2.8. Materiales

Para la ejecución de los objetivos propuestos en la esta investigación, se necesita una serie de materiales, equipos y software específicos para el desarrollo del presente proyecto.

- Materiales de campo: GPS, brújula, lupa, martillo geológico, tablero, fundas para muestras, lápiz, esferográficos, libreta de campo.
- Equipo de protección personal: Casco, zapato de seguridad, chaleco reflectivo.
- Material de oficina: Hojas geológicas, planos topográficos, computadora.
- Software: Arcgis 10.5, Autocad, Civil3D, Paquete de office 2023.
- Laboratorios: laboratorios de la carrera de GAYOT - minas de la U.N.L.

6. Resultados

6.1. Caracterización Petrográfica

De acuerdo a la información de MINESADCO (2022) hace referencia a lo siguiente: La veta Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia, se formaron por eventos post magmáticos, donde la inyección de soluciones hidrotermales se instaló en espacios dilatantes de las principales fallas de rumbo norte-sur, dando origen a la formación de cuerpos vetiformes epitermales de baja y media sulfuración. Los cuerpos mineralizados sufren esfuerzos compresionales generando el sistema de vetas en forma de rosario y echelon. Las vetas están compuestas por minerales de ganga como el cuarzo lechoso blanco, cuarzo ahumado, cuarzo marrón (irrigación de hematita); carbonatos como la calcita espática y arcillas como la illita (Il). Mientras que los minerales de mena se caracterizan por la pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena (Gal), esfalerita (Sp), ilmenita (Ill) y trazas de pirrotina (Prr) y en algunos casos se evidencia oro (Au) libre. (p. ...) (MINESADCO, 2022).

Las estructuras mineralizadas o vetas tienen un rumbo referencial N-S con un buzamiento promedio de 60 a 85°E.

Por efecto de presión y temperatura ejercida sobre la roca encajante es evidente la presencia de brechas hidrotermales, vetillas cargadas de sulfuros y ramificaciones tipo stockwork al contorno de las vetas principales con disseminación de sulfuros.

También se presentan estructuras mineralizadas de origen secundario que básicamente están compuestas de cuarzo más calcita y con disseminación de minerales base como la pirita (Py) y calcopirita (Ccp), con un rumbo paralelo a las estructuras principales N_S con una potencia promedio de 0.10 a 0.25m, y no reportan concentraciones de Au.

Se evidencia un último evento magmático de inyección hidrotermal tipo vetilla, considerando su disposición compresiva dentro de fracturas, diaclasas y fallas secundarias pos-mineralizantes y mantienen diferentes rumbos con un espesor promedio de entre 0.03m a 0.10m.

6.1.1. Veta Matalanga

La estructura se encuentra encajada sobre una roca andesita basáltica con textura porfirítica, con elementos estructurales (rumbo y buzamiento) de N5E/75°E, mantiene su lineamiento estructural definido. Su estructura mineralógica presenta dos texturas bien marcadas; textura masiva correspondiente a la presencia de cuarzo lechoso blanco (qz lbl) + de cuarzo ahumado (qz ah) + calcita (cal) y la textura crustiforme presenta bandeamiento

asimétrico de sulfuros como la (Cpy) + pirita (Py) + hematita (Hm) + esfalerita (Sp) ± galena (gal), observados de forma macroscópica.

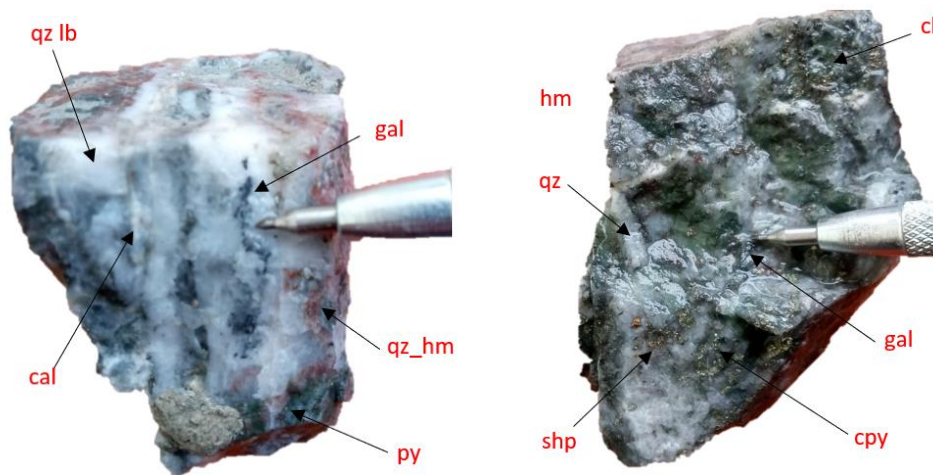


Figura 7 y 8. Muestras de la veta Matalanga con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.

Bajo el análisis de difracción de rayos X, la veta Matalanga se caracteriza por la presencia significativa de minerales de ganga dentro de su matriz, donde la Illita ($Al_2H_2KO_{12}Si_4$) está presente con el 51.40%, el cuarzo (SO_2) con el 39.40%.

Tabla 1. Análisis por Difracción de Rayos X – LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador

Fecha Ensayo	Método Aplicado	Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje
5/4/2023	DRX	Quarzo	SO_2	39.40%
		Illita	$Al_2H_2KO_{12}Si_4$	51.40%
		Wollastonita	$Ca_{0.96}Mn_{0.04}O_3Si$	5.90%
		Calcita	$CaCO_3$	3.10%
		Galena	PbS	25.00%

El estudio petrográfico permitió caracterizar e identificar los diferentes componentes mineralógicos existentes en la veta, tales como: galena (Gal), calcopirita (Ccp), pirita (Py), esfalerita (Sp), oro (Au), pirrotina (Prr) e ilmenita (Ill), conforme se puede observar en la imagen de secciones:

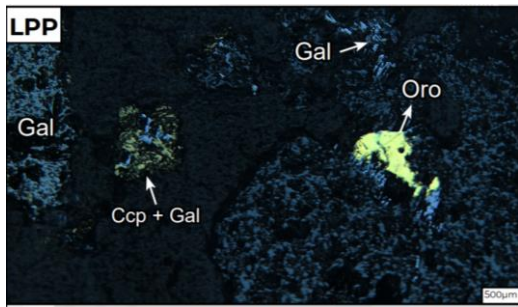


Figura 9. Cristales de galena, calcopirita (Ccp) y oro, siendo este último el de mayor reflectancia. Tamaño del oro (Au) 100µm

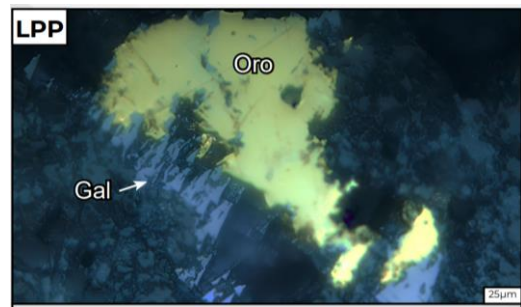


Figura 10. Misma sección, en la cual se observa al oro con alta reflectancia junto a la galena con hoyos triangulares. Tamaño del oro (Au) 100µm.

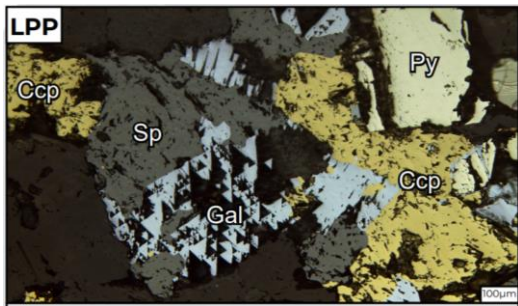


Figura 11. Cristales cúbicos de pirita (Py) y calcopirita (Ccp). Se aprecian huecos triangulares de galena. Tamaño 75 - 100µm de Calcopirita, Esfalerita, Pirita.

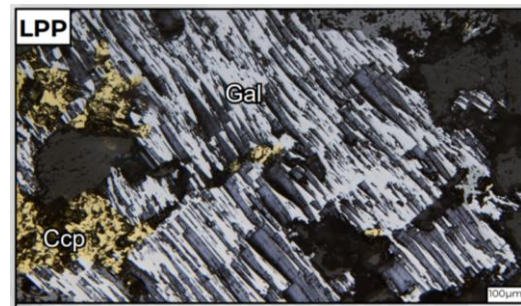


Figura 12. Cristal rectangular de calcopirita (Ccp), en su interior se aprecian cristales cúbicos y rectangulares de pirita (Py). Tamaño 75 - 100µm de Galena, Calcopirita.

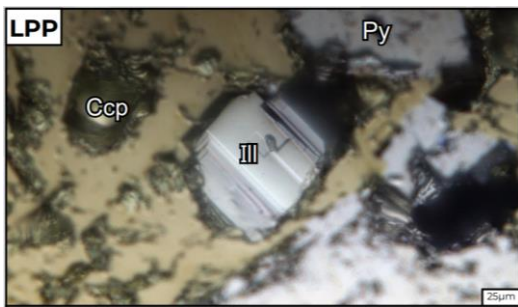


Figura 13. Cristal de ilmenita (Ill) cúbico con maclas lamelares dentro de un cristal de calcopirita (Ccp). Se observan algunas piritas (Py). Tamaño 75-100µm de Pirita, Calcopirita, Illita.

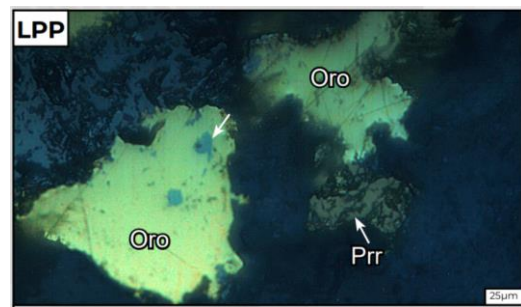


Figura 14. Oro con alta reflectancia, presenta inclusiones de magnetita al interior. Se observa pirrotina (Prr) de color castaño. Tamaño del oro (Au) 50-100 µm.

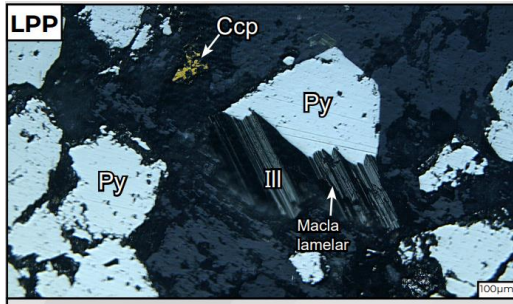


Figura 15. Cristales subhedrales de pirita (Py), se aprecia un cristal de ilmenita (Ill) con macla lamelar y un cristal aislado de calcopirita (Ccp). Tamaño 75-100µm de Pirita, Illita, Calcopirita.

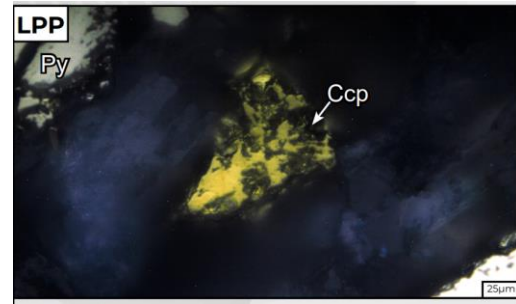


Figura 16. Cristal anhedral de calcopirita (Ccp), es apreciable solo con mayor aumento. Se observa un pequeño cristal de pirita (Py). Tamaño 25-75µm de Pirita y Calcopirita.

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: galena (Gal), calcopirita (Ccp), pirita (Py), esfalerita (Sp), oro (Au), pirrotina (Prr) e ilmenita (Ill), se define que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio. Así lo demuestra el diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad determinado por el laboratorio de la EPN.

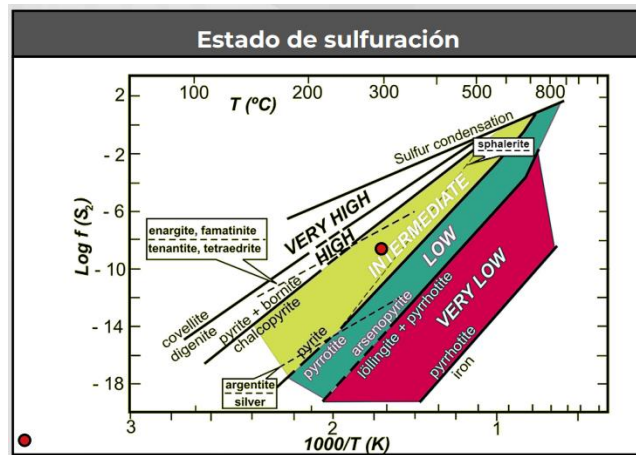


Figura 17. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).

De acuerdo al departamento geológico de la empresa minera Minesadco S.A. luego del análisis en laboratorio de las muestras tomadas (25) se determinó una ley promedio de 5.18 gr/t Au. pero por la dilución calculada por el mismo departamento de la empresa, determina que el proceso de dilución por voladura reduce a una ley media 3.76 grAu/Tn, conforme se enuncia en la siguiente tabla.

Tabla Nro.2. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.)

COD.	AREA	VETA	BLOQUE	LABOR	MUESTREO	METODO	REFERENCIA	P.V.	A.M.	L.LAB	L.DIL	%DIL
101	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 0 m N	0.70	1.10	3.85	3.85	36.36
102	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 2 m N	0.60	1.10	6.62	6.18	45.45
103	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 4 m N	0.70	1.20	22.48	6.18	41.67
104	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 6 m N	0.80	1.10	3.56	3.56	27.27
105	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 8 m N	0.70	1.20	3.85	3.85	41.67
106	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 10 m N	0.60	1.00	6.62	6.18	40.00
107	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 12 m N	0.60	1.10	7.55	6.18	45.45
108	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 14 m N	0.80	1.00	1.35	1.45	20.00
109	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 16 m N	0.80	1.10	12.23	6.18	27.27
110	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 18 m N	0.80	1.20	12.23	6.18	33.33
111	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 20 m N	0.50	1.00	1.93	1.93	50.00
112	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 22 m N	0.50	1.00	0.98	1.45	50.00
113	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 24 m N	0.90	1.20	0.25	1.45	25.00
114	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 26 m N	0.90	1.20	13.77	6.18	25.00
115	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 28 m N	0.60	1.10	0.70	1.45	45.45
116	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 30 m N	0.50	1.10	0.45	1.45	54.55
117	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 32 m N	0.60	1.00	3.50	3.50	40.00
118	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 34 m N	0.55	1.10	1.15	1.45	50.00
119	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 36 m N	0.50	1.10	3.20	3.20	54.55
120	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 38 m N	0.55	1.00	7.50	6.18	45.00
121	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 40 m N	0.60	1.10	2.96	2.96	45.45
122	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 42 m N	0.45	1.00	1.17	1.45	55.00
123	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 44 m N	0.50	1.10	4.00	4.00	54.55
124	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 46 m N	0.55	1.10	1.17	1.45	50.00
125	Casa Negra	Matalanga	100	SN880	Sistemático	Canal	P.T. CX2 + 48 m N	0.55	1.10	6.55	6.18	50.00
Promedio								0.63	1.09	5.18	3.76	42.12

P.V: Potencia Veta; A.M: Ancho Minado; L.LAB: Ley Laboratorio; L.DIL: Ley Diluida; % Dilución

6.1.2. Veta Cantabria

La estructura presenta una concentración de sulfuros bien definidos, su roca encajante es una andesita basáltica con textura porfirítica. Posee una potencia que varía de 0.50 m a 1.50 m; con elementos estructurales (rumbo y buzamiento) de N35°E. Presenta una textura crustiforme _ coliforme y su asociación mineralógica está caracterizado por; cuarzo blanco, cuarzo ahumado + cuarzo marrón (irrigación hematita) + calcita y concentración de sulfuros

como la calcopirita (Ccp) + pirita (Py) + esfalerita (Sp) ± galena (gal) y trazas de bornita (Brn). No se evidencia oro (Au) de forma libre, pero con los resultados obtenidos en laboratorio se determina la presencia de oro (Au) esto indica que se encuentra encapsulado y diseminado dentro de la estructura mineralizada.

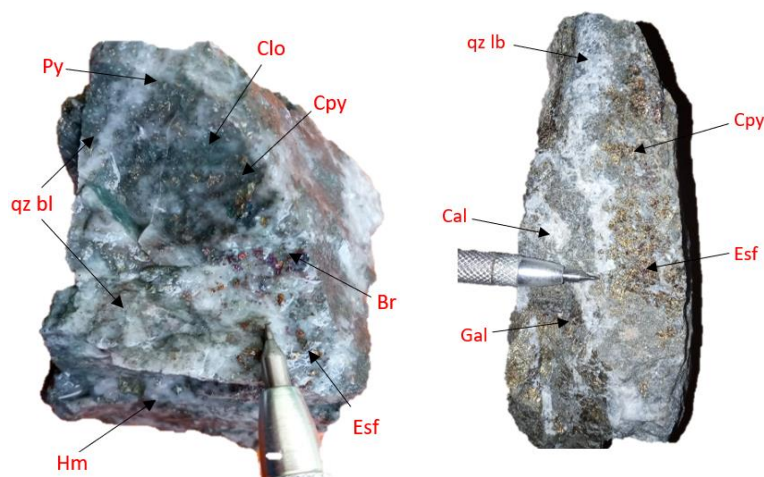


Figura 18 y 19. Muestras de la veta Cantabria con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.

Con el análisis de difracción de rayos X, la muestra de la veta Cantabria se determinó la presencia de cuarzo (SiO_2), cuprita (Cu_2O), birnesita ($\text{H}_2\text{K}_{0,23}\text{Mn}_{02,776}$), estanita ($\text{Cu}_2\text{Fe}_{0,8}\text{S}_4\text{SnZn}_{0,2}$), silvanita (AgAuFe_4) pirita ($\text{AS}_{0,026}\text{FeS}_{1,974}$). El cuarzo representa el 91.80% sobre la composición mineralógica, la cual es el cementante donde se concentran minerales.

Tabla 3. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador

Fecha Ensayo	Método Aplicado	Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje
5/4/2023	DRX	Quarzo	SiO_2	91.80%
		Cuprita	Cu_2O	2.20%
		Birnesita	$\text{H}_2\text{K}_{0,23}\text{Mn}_{02,776}$	1.70%
		Estanita	$\text{Cu}_2\text{Fe}_{0,8}\text{S}_4\text{SnZn}_{0,2}$	1.40%
		Silvanita	AgAuFe_4	0.90%
		Pirita (Py)	$\text{AS}_{0,026}\text{FeS}_{1,974}$	2.00%

Por medio del estudio petrográfico se caracterizó e identifico los diferentes componentes mineralógicos existentes en la estructura mineralizada, tales como: pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena (Gal), oro (Au), ilmenita (Il). Estos cristales se encuentran en forma de vetillas, y forman alternancias entre ellos. Las vetillas observadas son muy discontinuas y

cortan unas con otras. Se define que la estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio.

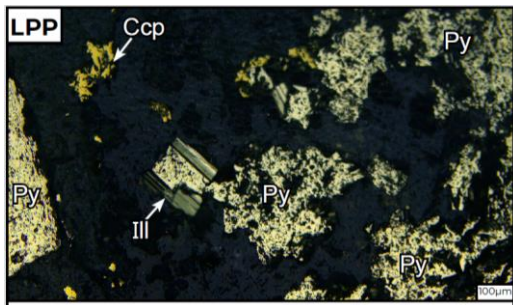


Figura 20. Se observa cristales pirita de (Py), calcopirita (Ccp) e ilmenita (Ilm) como macla lamelar. Tamaño 100 um de Pirita, Calcopirita, Ilmenita.

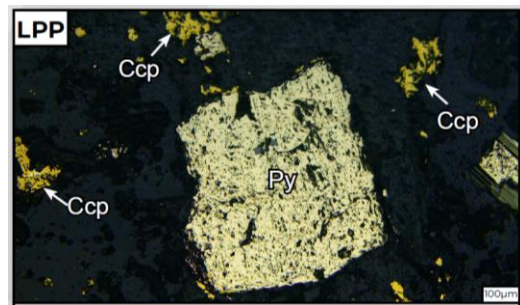


Figura 21. Cristal cúbico de pirita, se observan cristales anhedrales aislados de calcopirita. Tamaño 100 um de Pirita, Calcopirita.

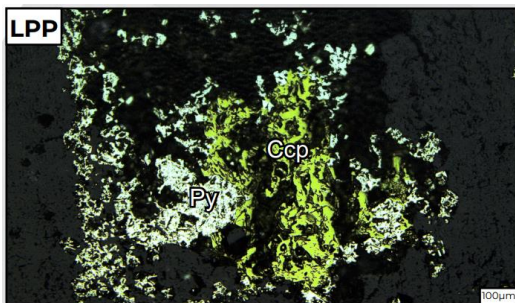


Figura 22. Se observa de pirita (Py), se aprecia una aglomeración de cristales con hábito pseudomórfico. Tamaño de pirita 100um

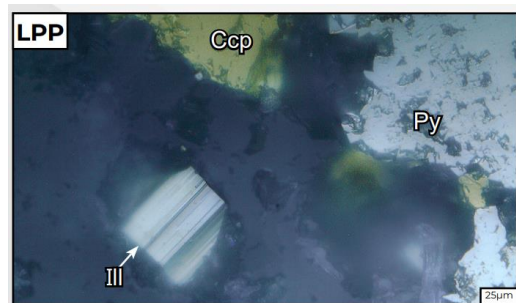


Figura 23. Se observa un cristal de ilmenita (Ilm) con macla lamelar. Se aprecian cristales de pirita (Py) y calcopirita (Ccp) anhedrales. Tamaño de ilmenita 25um

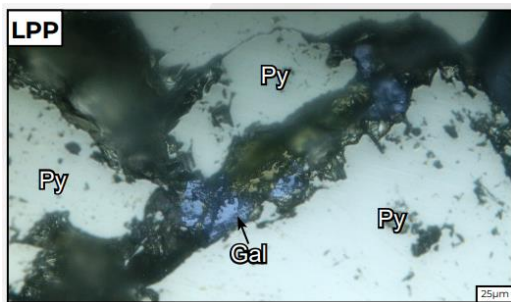


Figura 24. Cristales de pirita (Py) a mayor aumento, se aprecian cristales de galena entre estos cristales. Tamaño de pirita 25um

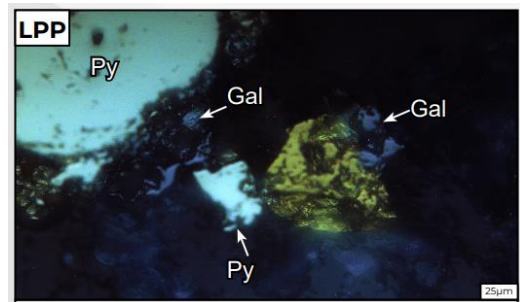


Figura 25. Cristales anhedrales de galena junto a cristales de pirita (Py) y calcopirita (Ccp). Tamaño de galena 25 um

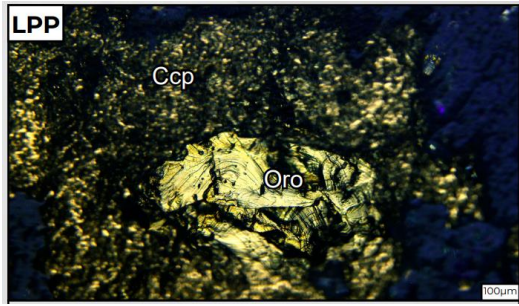


Figura 26. Cristal de oro, con mayor reflectancia que la calcopirita, con textura rugosa. El oro se encuentra encapsulado dentro de la calcopirita. Tamaño del oro (Au) 120µm

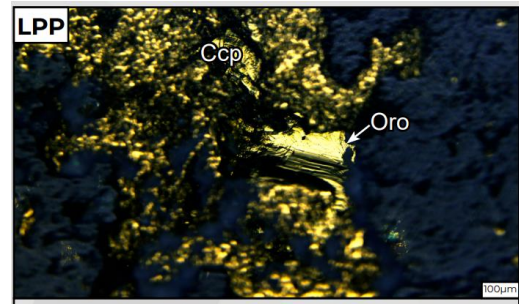


Figura 27. Cristal de oro dentro de un cristal de calcopirita, se aprecia con mayor reflectividad. El oro se encuentra encapsulado dentro de la calcopirita. Tamaño del oro (Au) 120µm.

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena, ilmenita (Il) y oro (Au) mismo que se encuentra encapsulado dentro de la calcopirita. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad determinado por el laboratorio de la EPN se define que esta estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio.

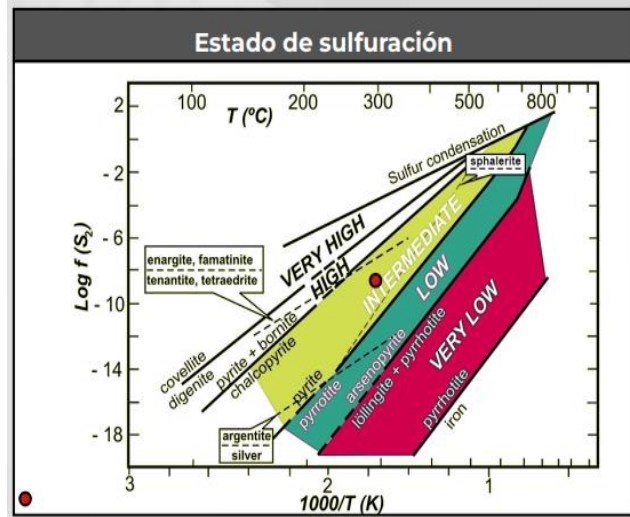


Figura 28. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).

Fuente: Einaudi et al. (2003).

Según el departamento geológico de la empresa miera Minesadco S.A. determinó una ley promedio de 5.04 gr/t Au. pero por la dilución calculada por el mismo departamento de la empresa, determina que el proceso de dilución por voladura reduce a una ley promedio de 3.57 grAu/t, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla Nro. 4. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.)

COD. M.	VETA	BLOQUE	LABOR	MUESTREO	METODO	REFERENCIA	P.V.	A.M.	L.LAB	L.DIL	%DIL
201	Cantabria	200	SN200	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 0 m N	0.90	1.20	5.50	4.13	25.00
202	Cantabria	200	SN201	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 2 m N	1.05	1.20	4.31	3.77	12.50
203	Cantabria	200	SN202	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 4 m N	1.20	1.30	1.54	1.42	7.69
204	Cantabria	200	SN203	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 6 m N	1.20	1.35	2.13	1.89	11.11
205	Cantabria	200	SN204	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 8 m N	1.30	1.40	1.70	1.58	7.14
206	Cantabria	200	SN205	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 10 m N	1.30	1.40	1.15	1.07	7.14
207	Cantabria	200	SN206	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 12 m N	1.20	1.45	2.38	1.97	17.24
208	Cantabria	200	SN207	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 14 m N	1.30	1.40	3.35	3.11	7.14
209	Cantabria	200	SN208	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 16 m N	0.50	1.10	1.45	0.66	54.55
210	Cantabria	200	SN209	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 18 m N	0.80	1.00	1.45	1.16	20.00
211	Cantabria	200	SN210	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 20 m N	0.40	1.00	1.45	0.58	60.00
212	Cantabria	200	SN211	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 22 m N	0.50	1.00	1.45	0.73	50.00
213	Cantabria	200	SN212	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 24 m N	0.90	1.10	1.45	1.19	18.18
214	Cantabria	200	SN213	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 26 m N	0.25	1.00	1.45	0.36	75.00
215	Cantabria	200	SN214	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 28 m N	0.40	1.10	4.50	1.64	63.64
216	Cantabria	200	SN215	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 30 m N	0.95	1.15	6.20	5.12	17.39
217	Cantabria	200	SN216	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 32 m N	0.90	1.30	15.40	10.66	30.77
218	Cantabria	200	SN217	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 34 m N	1.70	1.80	8.43	7.96	5.56
219	Cantabria	200	SN218	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 36 m N	0.60	1.20	17.57	8.79	50.00
220	Cantabria	200	SN219	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 38 m N	0.50	1.20	8.70	3.63	58.33
221	Cantabria	200	SN220	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 40 m N	0.40	1.10	0.93	0.34	63.64
222	Cantabria	200	SN221	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 42 m N	0.50	1.10	1.18	0.54	54.55
223	Cantabria	200	SN222	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 44 m N	1.20	1.30	5.53	5.10	7.69
224	Cantabria	200	SN223	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 46 m N	0.70	1.10	10.25	6.52	36.36
225	Cantabria	200	SN224	Sistemático	Canal	P.T. M3 + 48 m N	1.50	1.60	16.45	15.42	6.25
							0.89	1.23	5.04	3.57	30.67

P.V: Potencia Veta; A.M: Ancho Minado; L.LAB: Ley Laboratorio; L.DIL: Ley Diluida; % Dilución

6.1.3. Veta Nudo (Nudo)

La veta Nudo posee una potencia que varía de 0.50 m a 1.50 m; con elementos de buzamiento (rumbo y buzamiento) de N20°E con buzamiento vertical, mantiene su lineamiento estructural definido. La estructura se encuentra encajada sobre una roca andesita basáltica con textura porfirítica. Tiene una textura crustiforme bandeada, su asociación mineralógica está representado por; cuarzo blanco, cuarzo ahumado + cuarzo marrón (irrigación hematita) + calcita y concentración de sulfuros como la calcopirita (Ccp) + pirita (Py) + esfalerita (Sp) ±

galena (gal). El oro (Au) visualmente en estado libre es esporádico, aunque en los resultados obtenidos en laboratorio se determina la presencia de oro (Au), por tal motivo este mineral se encuentra encapsulado y diseminado dentro de la estructura mineralizada.

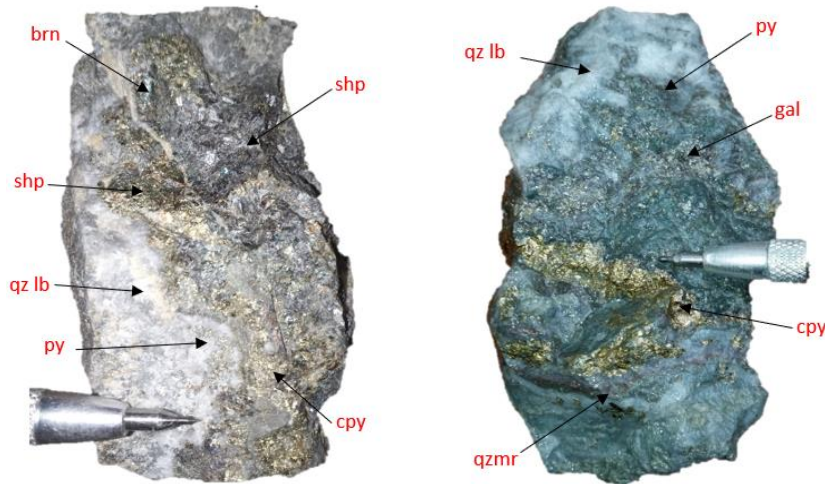


Figura 29 y 30. Muestras de la veta Nudo con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros
Fuente:

El análisis de la muestra de la veta Nudo por medio de la difracción de rayos X, se determinó la presencia significativa de cuarzo, pirita (Py) y calcopirita (Ccp).

Tabla 5. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador

Fecha Ensayo	Método Aplicado	Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje
5/4/2023	DRX	Quarzo	SiO ₂	91.60%
		Pirita (Py)	AS _{0,026} FeS _{1,974}	7.40%
		Calcopirita (Ccp)	CuFe ₂	1.00%

Con el estudio petrográfico se identificó diferentes unidades mineralógicas existentes en la veta, tales como: esfalerita (Sp), calcopirita (Ccp), pirita (Py), galena (Gal), ilmenita (Ill). Estos cristales se encuentran formando parte de sistemas de vetillas de cuarzo, clorita y hematita. Las vetillas observadas son casi continuas. Se aprecian varias fracturas en la roca. Se define que la estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio.

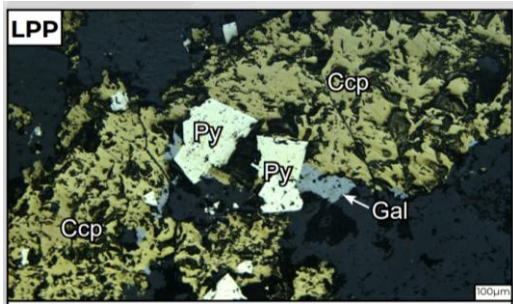


Figura 31. Cristales de pirita (Py) y galena (Gal) dentro de calcopirita, se observa a la galena recrystalizando a los bordes. Tamaño 100 um

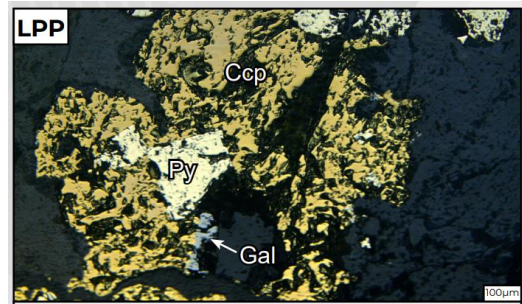


Figura 32. Cristal de calcopirita (Ccp), se observan a los bordes cristalización de galena. Además, se aprecian cristales de pirita (Py). Tamaño 100um

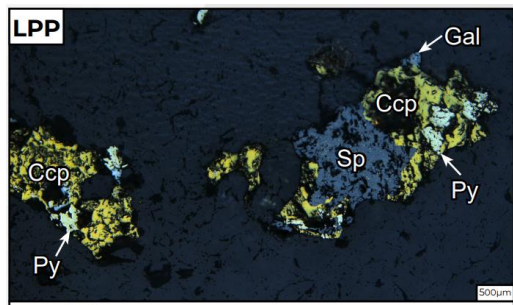


Figura 33. Cristales de esfalerita (Sp), pirita (Py), calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Tamaño de minerales 500um

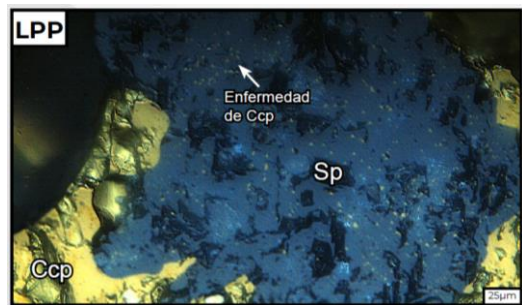


Figura 34. Cristal de esfalerita con pequeños cristales de calcopirita. Tamaño de la esfalerita 25 um.

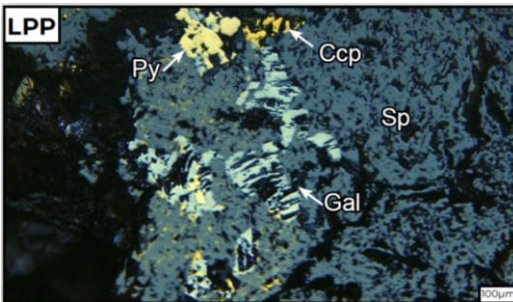


Figura 35. Cristal de esfalerita con incrustaciones de pequeños cristales de pirita, calcopirita y galena. Tamaño de 100um de esfalerita.

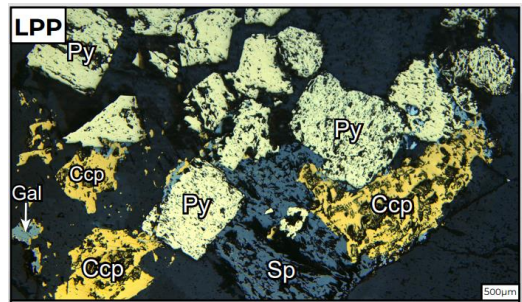


Figura 36. Cristales anhedrales a euhedrales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) esfalerita (Sp) y galena (Gal). Tamaño de minerales 500um.

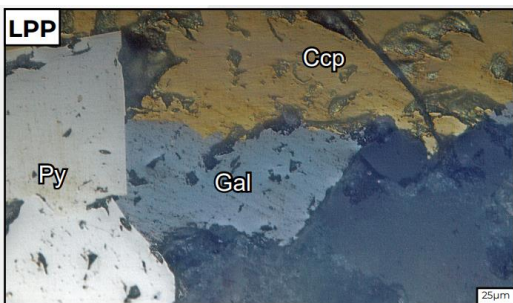


Figura 37. Cristales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Tamaño 25 um



Figura 38. Cristal cúbico de ilmenita (Ill) con macla lamelar, se aprecian cristales de pirita (Py). Tamaño 25 um

Según la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita (Py), calcopirita (Ccp), esfalerita (Sp), galena (Gal), ilmenita (Ill) se define que la estructura se encuentra asociada a un estado de sulfuración intermedio. Así lo demuestra el diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad.

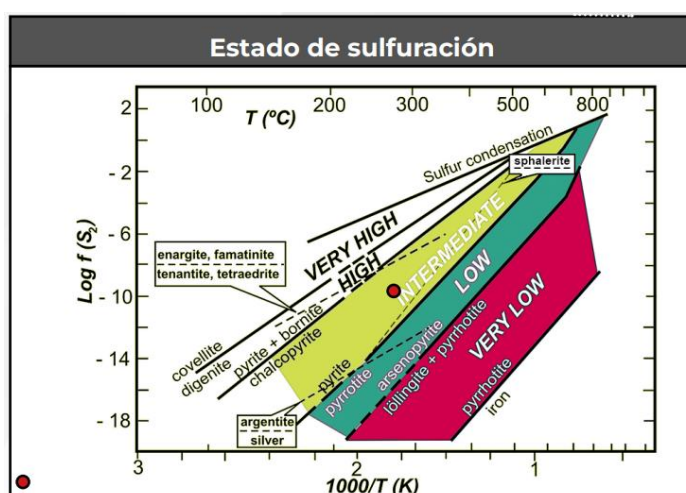


Figura 39. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).

Fuente: Einaudi et al. (2003).

Según los datos proporcionados por el departamento geológico de la empresa minera Minesadco S.A. determinó una ley promedio de 4.65 gr/t Au. pero por la dilución calculada por el mismo departamento de la empresa, determina que el proceso de dilución por voladura reduce a una ley media 3.77 gr/t Au, lo que se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla Nro. 6. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.)

COD. M.	VETA	BLOQUE	LABOR	MUESTREO	METODO	REFERENCIA	P.V.	A.M.	L.LAB	L.DIL	%DIL
301	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 0 m S	0.90	1.20	3.30	2.48	25.00
302	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 2 m S	1.00	1.20	2.05	1.71	16.67
303	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 4 m S	0.90	1.10	4.00	3.27	18.18
304	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 6 m S	0.60	1.10	1.45	0.79	45.45
305	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 8 m S	0.90	1.20	14.17	10.63	25.00
306	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 10 m S	0.60	1.10	15.40	8.40	45.45
307	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 12 m S	1.45	1.50	3.66	3.54	3.33
308	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 14 m S	1.15	1.30	7.77	6.87	11.54
309	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 16 m S	1.30	1.50	5.74	4.97	13.33
310	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 18 m S	1.60	1.70	3.64	3.43	5.88
311	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 20 m S	1.80	1.90	6.07	5.75	5.26

312	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 22 m S	1.65	1.90	1.45	1.26	13.16
313	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 24 m S	1.45	1.60	6.24	5.66	9.38
314	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 26 m S	1.40	1.60	1.97	1.72	12.50
315	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 28 m S	0.70	1.30	1.45	0.78	46.15
316	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 30 m S	1.10	1.25	6.11	5.38	12.00
317	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 32 m S	1.10	1.28	3.90	3.35	14.06
318	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 34 m S	1.10	1.23	4.01	3.59	10.57
319	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 36 m S	1.10	1.34	6.03	4.95	17.91
320	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 38 m S	1.20	1.35	2.05	1.82	11.11
321	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 40 m S	0.90	1.30	2.63	1.82	30.77
322	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 42 m S	1.30	1.40	3.72	3.45	7.14
323	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 44 m S	1.20	1.35	1.45	1.29	11.11
324	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 46 m S	1.30	1.45	4.34	3.89	10.34
325	Nudo	300	SN300	Sistemático	Canal	P.T. E2 + 48 m S	1.25	1.35	3.66	3.39	7.41
							1.16	1.38	4.65	3.77	17.15

P.V: Potencia Veta; A.M: Ancho Minado; L.LAB: Ley Laboratorio; L.DIL: Ley Diluida: % Dilución

6.1.4. Veta Abundancia (Abundancia)

La veta Abundancia se ha desarrollado sobre una falla de rumbo N-S, Existen zonas estrangulamiento y de dilatación en forma de rosario, por lo general la estructura posee una potencia que varía de 0.50 m a 2.50 m; con elementos de buzamiento (rumbo y buzamiento) de N10E/75°E, y mantiene su lineamiento estructural definido cuando está sometida a esfuerzos compresionales. La estructura se encuentra encajada sobre una roca andesita con textura porfirítica. Tiene una textura crustiforme bandeada, su asociación mineralógica está representado por minerales de ganga como; cuarzo lechoso blanco, cuarzo ahumado + cuarzo marrón (irrigación hematita) + calcita y concentración de minerales de mena como la calcopirita (Ccp) + pirita (Py) (Py) + esfalerita (Sp) ± galena (gal). La presencia de oro (Au) de forma visual es ocasional, pero los resultados obtenidos en laboratorio se determina la presencia de oro (Au), por tal motivo este mineral se encuentra encapsulado y diseminado dentro de la veta Abundancia.

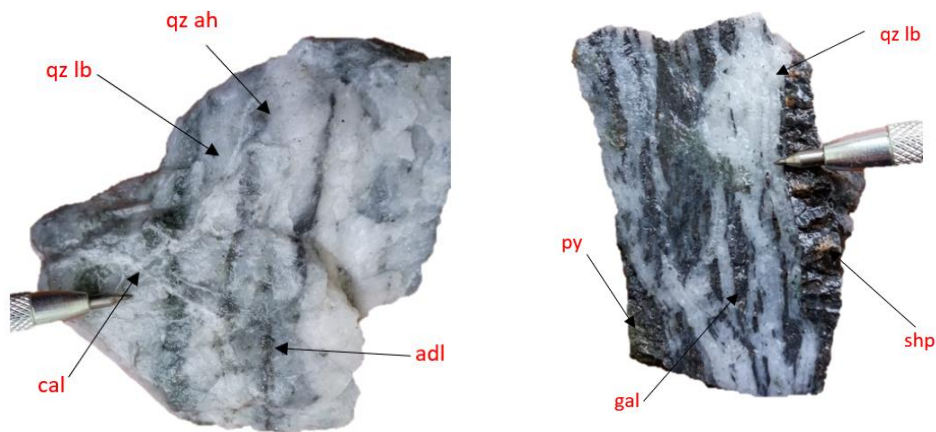


Figura 40 y 41. Muestras de la veta Cantabria con presencia de cuarzo – calcita y sulfuros.
Fuente:

Con el análisis de difracción de rayos X, se pudo identificar y determinó la presencia de cuarzo (SiO_2) con el 86.40%, calcita (CaCO_3) con el 12.90% y cobre-oro. (Au_3Cu) el 0.70%.

Tabla 7. Análisis por Difracción de Rayos X - LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador

Fecha Ensayo	Método Aplicado	Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje	Fecha Ensayo
5/4/2023	DRX	Cuarzo	SiO_2		86.40%
		Calcita	CaCO_3		12.90%
		Cobre-Oro	Au_3Cu		0.70%

El estudio petrográfico permitió caracterizar e identificar los diferentes componentes mineralógicos existentes en la veta, tales como: pirita (Py), calcopirita (Ccp), esfalerita (Sp), galena (Gal), oro (Au), pirrotina (Prr) e ilmenita (Ill), se define que la estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio.

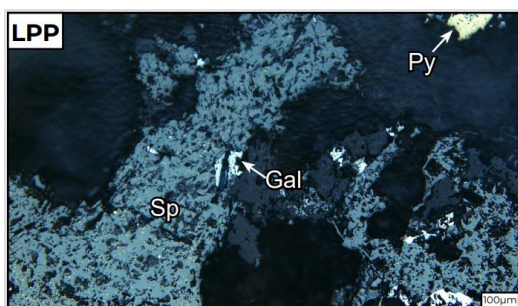


Figura 42. Cristal de esfalerita, dentro se presentan pequeños cristales de galena (Gal) y algunos cristales de pirita (Py). Tamaño de minerales 100µm

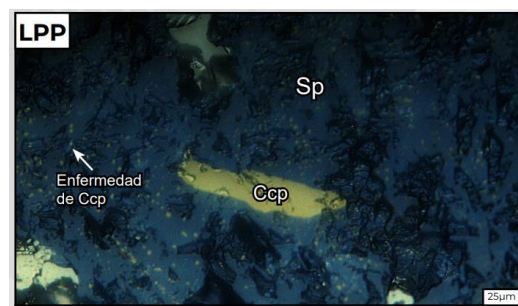


Figura 43. Se aprecia la enfermedad de calcopirita (Ccp), sobre la esfalerita (Sp). Tamaño de la esfalerita 25 µm

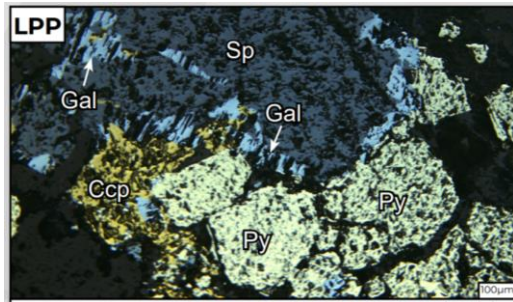


Figura 44. Cristales de esfalerita (Sp) con fracturas, se aprecian cristales de pirita (Py) calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Tamaño 100um

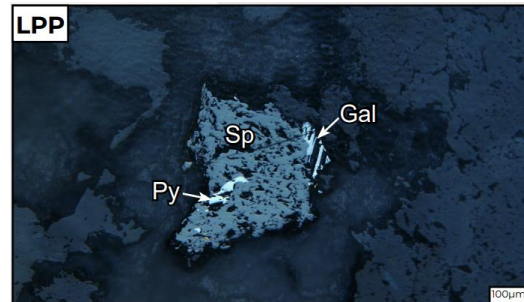


Figura 45. Cristal de esfalerita (Sp) que presenta cristalización de galena (Gal) con huecos triangulares y pirita (Py) en sus fracturas y bordes. Tamaño 100um

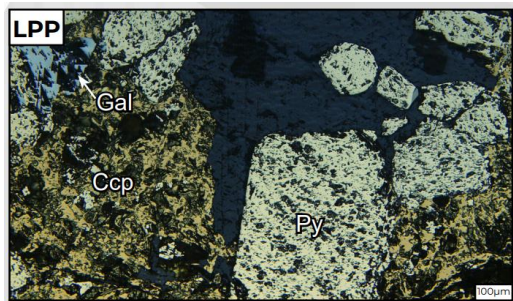


Figura 46. Cristales de pirita (Py), calcopirita (Ccp) y galena (Gal). Se aprecia a la galena (Gal) con hoyos triangulares típicos del cristal. Tamaño 100um

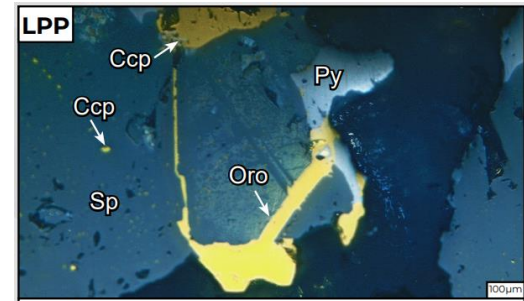


Figura 47. Cristal de oro (Au), presenta mayor reflectancia que la calcopirita (Ccp) y pirita (Py). Se aprecia dentro del cristal de esfalerita (Sp). Tamaño de oro (Au) 25um a 100um.

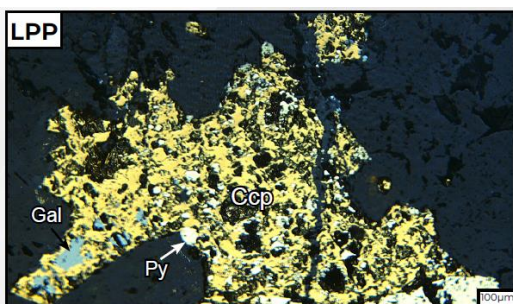


Figura 48. Cristales de calcopirita presenta pequeños cristales de pirita y galena dentro de su matriz. Tamaño 100um de calcopirita.

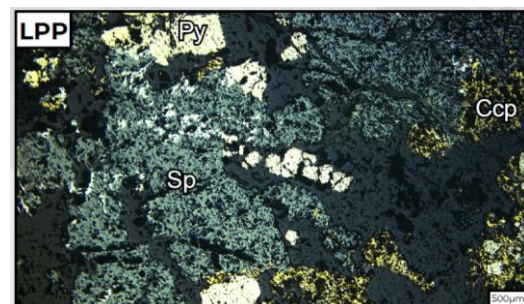


Figura 49. Cristales de esfalerita presentan varios cristales de pirita y algunos de calcopirita en sus bordes. Tamaño 500um de esfalerita, pirita y calcopirita.

La asociación de minerales observados y determinados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena, e ilmenita (Ill), se define que la

estructura se encuentra asociada a un estado de sulfuración intermedio. Así lo demuestra el diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad.

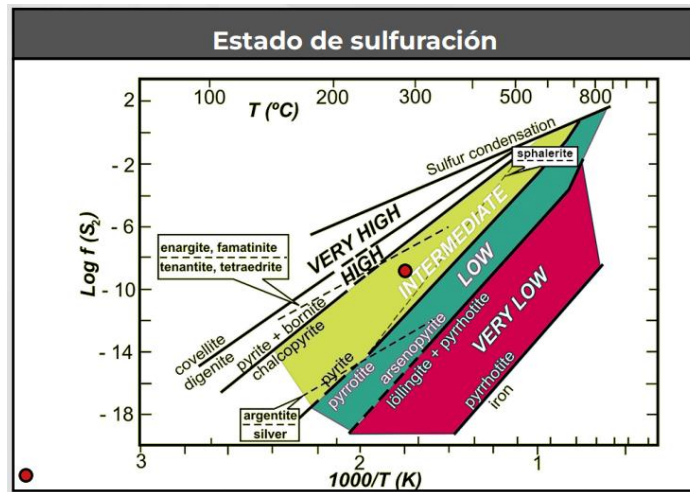


Figura 50. El diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que la muestra pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Adaptado de Einaudi et al. (2003).

Según los resultados proporcionados por el departamento geológico de la empresa minera MINESADCO S. A. posterior el análisis de las muestras tomadas (25) en laboratorio se determinó una ley promedio de 3.63 grAu/t. pero por la dilución calculada por el mismo departamento de la empresa, determina que el proceso de dilución por voladura reduce a una ley media 2.85 grAu/t conforme se enuncia en el siguiente cuadro.

Tabla Nro. 8. Resultados de laboratorio. (Información proporcionada por DG Minesadco S.A.)

COD. M.	VETA	BLOQUE	LABOR	MUESTREO	METODO	REFERENCIA	P.V.	A.M.	L.LAB	L.DIL	%DIL
401	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 0 m	1.10	1.20	5.35	4.90	8.33
402	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 2 m	1.00	1.15	3.00	2.61	13.04
403	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 4 m	0.90	1.20	3.20	2.40	25.00
404	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 6 m	0.60	1.00	5.44	3.26	40.00
405	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 8 m	0.60	1.00	5.00	3.00	40.00
406	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 10 m	0.90	1.20	1.45	1.09	25.00
407	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 12 m	1.00	1.20	5.17	4.31	16.67
408	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 14 m	0.95	1.15	6.45	5.33	17.39
409	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 16 m	0.90	1.15	1.45	1.13	21.74
410	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 28 m	1.00	1.25	6.10	4.88	20.00
411	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 20 m	1.00	1.20	1.45	1.21	16.67
412	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 22 m	1.00	1.10	3.30	3.00	9.09
413	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 24 m	1.00	1.30	2.98	2.29	23.08
414	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 26 m	0.40	1.10	6.51	2.37	63.64
415	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 28 m	1.20	1.30	5.46	5.04	7.69

416	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 30 m	1.40	1.40	3.50	3.50	0.00
417	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 32 m	1.20	1.20	2.50	2.50	0.00
418	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 34 m	1.00	1.25	1.60	1.28	20.00
419	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 36 m	1.10	1.30	1.45	1.23	15.38
420	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 38 m	1.00	1.15	1.50	1.30	13.04
421	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 40 m	1.00	1.20	5.05	4.21	16.67
422	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 42 m	1.01	1.20	3.20	2.69	15.83
423	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 44 m	0.95	1.15	5.05	4.17	17.39
424	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 46 m	0.90	1.10	3.00	2.45	18.18
425	Abundancia	400	SN400	Sistemático	Canal	P.T. A1 + 48 m	0.80	1.10	1.50	1.09	27.27
							0.96	1.18	3.63	2.85	19.64

P.V: Potencia Veta; A.M: Ancho Minado; L.LAB: Ley Laboratorio; L.DIL: Ley Diluida: % Dilución

6.2. Análisis Granulométrico

Para el análisis granulométrico nos basamos en una malla valorada, que permitió determinar el contenido de Au por cada una de las estructuras mineralizadas, como también se analizó el relave producto del procesamiento de la planta de benéfico Casa Negra.

Con respecto a la veta Matalanga, se determinó que existe mayor concentración de oro bajo la malla 400 equivalente a 37 μ m que representa el 33.16%, igualmente en la malla 200 que equivale a 74 μ m y representa el 25.43%, esto nos indica que existe más del 68% de oro fino bajo las 74 μ m. Lo que corresponde a un oro (Au) con granulometría gruesa lo encontramos entre la malla 70 (210 μ m) hasta la malla 140 (105 μ m) y representa aproximadamente el 31% de concentración de oro (Au) dentro de esta muestra. En total refleja una ley valorada de 77.00 grAu/Tn.

La veta Cantabria es la estructura que presento mayor porcentaje de oro (Au) fino que bajo la malla - 400 equivalente a >37 μ m representa el 31.83%, en la malla 400 que equivale a 37 μ m representa el 27,59% y en la malla 200 que retiene mineral hasta 74 μ m representa el 15.55%, dándonos entender que existe aproximadamente el 75% de oro fino dentro de esta estructura. Referente al oro (Au) grueso, determinado entre la malla 70 (210 μ m) y 140 (105 μ m) es bajo y en conjunto representa el 25% de oro (Au) dentro de esta estructura. En general refleja una ley valorada de 3.98 grAu/Tn.

La veta Nudo también refleja un alto contenido de oro (Au) muy fino ya que en la malla - 400, oro menor a 37 μ m representa el 31.83% del total de la muestra. El oro (Au) fino fue determinado en la malla 400 que equivale hasta las 37 μ m que representa un 19.58% y en la malla 200 hasta las 74 μ m representa el 15,52%, esto nos indica que tenemos el 35.10% de oro fino dentro de esta estructura. Así mismo, el oro (Au) con granulometría gruesa es regular entre

la malla 70 (210um) y 140 (105um) representa el 32.05% de oro (Au) dentro de esta estructura En total refleja una ley valorada de 5.17 grAu/Tn.

La veta Abundancia refleja un porcentaje equitativo en todas las mallas valoradas, pero existe un elevado porcentaje de oro (Au) grueso contemplado entre la malla 70 (210um) hasta la malla 140 (105um) que representa el 52.34% y oro (Au) fino considerado desde la malla 200 (74um) hasta la malla 400 (37um) que representa el 37.71% y oro muy fino detectado en la malla – 400 equivalente a -37um que representa el 15.95% de concentración de oro dentro de esta estructura.

De forma general, podemos indicar que existe una mayor concentración de oro (Au) fino, bajo la malla 200 equivalente a 74um y representa aproximadamente el 64.83%. El oro (Au) catalogado como grueso se encuentra entre la malla 70 (210um) hasta la malla 140 (105um) y representa el 35.16% dentro de estas estructuras mineralizadas.

En el siguiente cuadro se expone la concentración de Au por malla valorada de cada estructura mineralizada.

Tabla Nro. 9. Malla Valorada de oro (Au) por veta ((Información generada por DG Minesadco S.A.)

Nº	VETA	NUMERO MALLA	TAMAÑO UM	PESO POR MALLA Gr	% DE PESO MALLA	PESO DE ESCAMA Gr	LEY Gr/Tn	%
1	MATALANGA	70	210	3.00	1.02	0.0000178	5.93	1.48
2		100	149	20.00	12.10	0.0009670	48.35	12.04
3		140	105	20.00	15.74	0.0014236	71.18	17.72
4		200	74	20.00	7.65	0.0020424	102.12	25.43
5		400	37	20.00	17.17	0.0026638	133.19	33.16
6		-400	>37	20.00	46.32	0.0008166	40.83	10.17
				103	100	0.0079312	77.00	100
1	CANTABRIA	70	210	7.00	2.39	0.0000098	1.40	6.31
2		100	149	20.00	18.87	0.0000402	2.01	9.06
3		140	105	20.00	14.94	0.0000428	2.14	9.65
4		200	74	20.00	7.69	0.0000690	3.45	15.55
5		400	37	20.00	17.71	0.0001224	6.12	27.59
6		-400	>37	20.00	38.40	0.0001412	7.06	31.83
				107	100	0.0004254	3.98	100
1	NUDO	70	210	20.00	9.12	0.0000414	2.07	9.53
2		100	149	20.00	20.05	0.0000476	2.38	10.96
3		140	105	20.00	16.82	0.0000502	2.51	11.56
4		200	74	20.00	7.69	0.0000674	3.37	15.52
5		400	37	20.00	17.01	0.0000850	4.25	19.58
6		-400	>37	20.00	29.31	0.0001426	7.13	32.84
				120	100	0.0004342	3.62	100
1	ABUNDANCIA	70	210	14.20	4.80	0.0000734	5.17	14.37
2		100	149	20.00	21.85	0.0001286	6.43	17.87
3		140	105	20.00	17.48	0.0001446	7.23	20.10
4		200	74	20.00	8.22	0.0001212	6.06	16.84
5		400	37	20.00	18.33	0.0001070	5.35	14.87
6		-400	>37	20.00	29.32	0.0001148	5.74	15.95
				114.2	100	0.0006896	6.04	100

Así mismo, se realizó el análisis granulométrico de los relaves generados por la planta de beneficio Casa Negra y se determinó la presencia de Au dentro de los relaves.

En base a los datos obtenidos podemos identificar que existe oro (Au) dentro del relave. La mayor concentración de distribución de oro (Au) fino se encuentra en la malla fina 200 (74um) hasta la malla - 400 (>37um) representa el 91%. Mientras que la concentración de distribución de oro (Au) entre la malla 70 (210um) hasta la malla 200 (74um) representa 9%. Bajo este contexto, podemos definir que existe oro (Au) fino que no es recuperado dentro del proceso cianuración.

Tabla Nro.10. Malla Valorada de Au. (Información generada por DG Minesadco S.A.)

ANÁLISIS GRANULOMETRICO - MALLA VALORADA – RELAVE							
MALLA VALORADA DE FECHA 13 – 04 - 2023							
Nº	NUMERO MALLAS	TAMAÑO UM	PESO SECO		LEY Gr/Tn	DISTRIBUCIÓN %	Au VALORADO
			(gr)	%			
1	70	210	1.8	0.61	1.660	0.18	0.010
2	100	149	10.8	3.67	0.940	0.61	0.034
3	140	105	24.1	8.20	2.610	3.78	0.210
4	200	74	21.8	7.42	1.560	2.05	0.120
5	400	37	67.5	20.00	3.470	12.27	0.800
6	-400	>37	167.9	57.13	7.840	79.21	4.480
TOTAL			293.9	100.00	18.080	100.00	5.655
MALLA VALORADA DE FECHA 24 – 07 - 2023							
1	70	210	7.9	1.60	0.200	0.14	0.003
2	100	149	22.4	4.54	0.930	1.82	0.042
3	140	105	40	8.11	0.712	2.48	0.058
4	200	74	37	7.51	0.480	1.55	0.036
5	400	37	117	23.73	1.064	9.15	0.253
6	-400	>37	268.7	54.50	3.55	30.52	1.93
TOTAL			493	100	6.936	15.13	2.33

6.3. Proceso de conminución

Napier et al. (2006), definen que el principio de conminución parte de entender la rotura desde la red cristalina. Expresan: “La mayoría de los minerales son materiales cristalinos en los que los átomos están ordenados regularmente en arreglos tridimensionales.

El proceso de conminución permite la destrucción total o parcial de la estructura cristalográfica, su forma, tamaño y asociación mineralógica de una veta.

6.3.1. Datos Técnicos

La roca encajante donde reposan las estructuras mineralizadas es una andesita basáltica con textura porfirítica, perteneciente a la unidad geológica de Portovelo, las vetas Matalanga,

Cantabria, Nudo y Abundancia están conformados por minerales de ganga como cuarzo y carbonatos y minerales de mena como la pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena, esfalerita (Sp), etc. El tamaño de oro dentro de estas estructuras es muy fino con dimensiones menores a 25µm.

Existe una serie de minerales que por su concentración química afectan a los diferentes procesos mineralúrgicos y metalúrgicos como la illita (Il), pirrotina (Prr) y sulfuración intermedia.

6.3.2. Propiedades físicas del mineral

6.3.2.1. Peso específico. Para determinar el peso específico de las estructuras mineralizadas se utilizó el método del picnómetro. El análisis por estructura mineralizada se determinó que la veta Cantabria quien posee mayor concentración de sulfuros presenta un peso específico de 3.23. Así mismo, la veta Nudo posee un peso específico considerable de 2.92. Mientras que la veta Abundancia y veta Matalanga presenta un específico de 2.7. En el siguiente cuadro se presenta a detalle los datos obtenidos sobre el peso específico de cada veta.

Tabla Nro. 11. Determinación del Peso Específico. – LAB_UNL

COD. MUESTRA	W. AGREGADO	W. RECIP. LLENO H2O	W. AGRE +H₂O	PESO ESPECIFICO
MATALANGA	30	147.21	166.07	2.693
CANTABRIA	30	147.52	168.23	3.229
NUDO	30	147.21	168.04	2.922
ABUNDANCIA	30	147.52	166.47	2.715

6.3.2.2. Propiedades Físico Mecánicas. El proyecto minero Casa Negra, al encontrarse bajo el régimen de pequeña minería el volumen autorizado para el procesamiento de minerales es de 300 Tn/día. El mineral tiene una resistencia a la compresión simple de 800 a 1000Kgf/cm equivalente a 100 Mpa que representa el esfuerzo aplicado a la compresión cubica de la roca analizada.

De acuerdo a Protodiákonov presenta una resistencia de media a alta $f = 10$. El porcentaje de cuarzo dentro de las estructuras es alto por lo que se la defino como una roca abrasiva a ser considerara en el proceso de conminución, posee con una densidad aparente de 2.65 a 3.1 gr/cm³.

Para el trabajo inicial de reducción en el proceso de conminución del mineral parte de 18 Kw.h/Tn.

6.3.3. Características Técnicas Para el Proceso de Conminución

En base a las características petrográficas, físico químicas de las estructuras mineralizadas se considera establecer una zona de skockpile una serie de trituración primaria hasta la terciaria. Al considerar un volumen de 300 Tn/día se ve la necesidad operar un molino de bolas de 7*12 pie.

6.3.3.1. Calculo del Skockpile. (Mineral acumulado en patio)

Donde:

- B=35°-
45°
- D= 20m
- h= 10m

$$V = \frac{\Pi * r^3 * \text{tang}B}{3}$$

$$V = \frac{\Pi * 10^3 * \text{tang}15}{3}$$

$$V = 280.65 \text{ m}^3$$

Coefficiente de esponjamiento:

$$je = (1 - 0.4) \times 2.8 \frac{Tn}{m^3}$$

$$je = 1.68 \frac{Tn}{m^3}$$

Conversión a toneladas:

$$V = 280.65 \times 1.68 \frac{Tn}{m^3}$$

$$V = 472 \text{ Tn}$$

6.3.3.2. Calculo de tolva de gruesos.

Donde:

A1= Abertura

A2= Salida

h = Altura

$$V = \frac{h}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) * A1 * h$$

$$G$$

$$V = \frac{5}{3} (9 + 1.44 + \sqrt{9 * 1.44}) + 9 * 5$$

$$V = 68.4 \text{ m}^3$$

Coefficiente de esponjamiento:

$$je = (1 - 0.4) \times 2.8 \frac{Tn}{m^3}$$

$$je = 1.68 \frac{Tn}{m^3}$$

$$V = 68.4 \text{ m}^3 * 1.68 \frac{Tn}{m^3}$$

$$V = 115 \text{ Tn}$$

6.3.3.3. Cálculo de trituradora primaria.

a. Tamaño.

$$D_{\max} = 0.85 * B$$

$$D_{\max} = 0.85 * 400\text{mm}$$

$$D_{\max} = 340 \text{ mm}$$

Equivalente para procesar rocas con diámetro hasta 12"

b. Índice de reducción

- 10" * 25.4mm = 254 mm * 1000 = 254000 μm
- 2" * 25.4mm = 50.8 mm * 1000 = 50800 μm

$$i = F_{80}/P_{80}$$

$$i = \frac{254000 \mu\text{m}}{50800 \mu\text{m}}$$

$$i = 5 \text{ veces}$$

Equivalente a una reducción de 2"

c. Capacidad de producción según Taggart

Donde:

Q.- capacidad Tn/h $Q = 0.093 * b \text{ (cm)} * d \text{ (cm)}$

b.- ancho m, cm. $Q = 0.093 * 40\text{cm} * 25.4 \text{ cm}$

d.- triturado, cm. $Q = 94.5 \text{ Tn/h}$

6.3.3.4. Cálculo de trituradora secundaria.

a. Tamaño.

$$D_{\max} = 0.85 * B$$

$$D_{\max} = 0.85 * 250\text{mm}$$

$$D_{\max} = 210 \text{ mm}$$

Equivalente para procesar rocas hasta un diámetro de 2"

b. Índice de reducción

- 2" * 25.4mm = 50.8 mm * 1000 = 50800 μm
- 1" * 25.4mm = 25.4 mm * 1000 = 25400 μm

$$i = F_{80}/P_{80}$$

$$i = \frac{50800 \mu\text{m}}{25.400 \mu\text{m}}$$

$$i = 2 \text{ veces}$$

Equivalente a una reducción de 1"

c. Capacidad de producción según Taggart

Donde: $Q = 0.093 * b \text{ (cm)} * d \text{ (cm)}$

Q.- capacidad Tn/h $Q = 0.093 * 30 * 5.08$

b.- ancho m, cm.

$$Q = 14.17 \text{ Tn/h}$$

d.- triturado, cm.

6.3.3.5. Calculo de trituradora terciaria.

a. Tamaño.

$$D_{\text{max}} = 0.85 * B$$

$$D_{\text{max}} = 0.85 * 250\text{mm}$$

$$D_{\text{max}} = 212 \text{ mm}$$

Equivalente para procesar rocas hasta un diámetro de 8"

b. Índice de reducción

- 1" * 25.4mm = 25.4 mm*1000 = 25400 μm
- 3/8" * 25.4mm = 9.525 mm*1000 = 9525 μm

$$i = F80/P80$$

$$i = \frac{25400 \mu\text{m}}{9525 \mu\text{m}}$$

$$i = 2.6 \text{ veces}$$

Equivalente a una reducción de 3/8"

c. Capacidad de producción según Taggart

Donde:

Q.- capacidad Tn/h $Q = 0.093 * b \text{ (cm)} * d \text{ (cm)}$

b.- ancho m, cm.

$$Q = 0.093 * 60 * 2.54$$

d.- triturado, cm.

$$Q = 14.17 \text{ Tn/h}$$

Con el procesamiento promedio de 14 Tn/h se estará procesando aproximadamente 336 Tn/día. Sin considerar deficiencias y mantenimiento operacional.

6.3.3.6. Molino de bolas 7" * 12".

a. Volumen Cilindro

$$V_c = \pi(r)^2 h$$

$$V_c = 3.14 (1.07)^2 * 3.66$$

$$V_c = 13.66 m^3$$

b. Flujo de Mineral

Donde:

Tn= Tn dia

dm= Densidad mi

$$F_m = \frac{T_n}{d_m}$$

$$F_m = \frac{12.5 T_n}{1.6 \frac{T_n}{m^3}}$$

$$F_m = 7.81 m^3$$

c. Tiempo residencia

$$tr = \frac{\text{Volumen}}{\text{Flujo}} h$$

$$tr = \frac{13.16 m^3}{7.81 m^3} h$$

$$tr = 1.68 h$$

$$1.68 h \left(\frac{60 m}{1 h} \right) = 1h 40min$$

d. Índice de reducción

$$i = F_{80}/P_{80}$$

$$i = \frac{9525 \mu m}{74 \mu m}$$

$$i = 128 \text{ veces}$$

e. Calculo del peso de bolas – Volumen de carga

$$V_c = \frac{1}{4} \pi d^2 L \left(\frac{H}{D} \right)$$

$$V_c = \frac{1}{4} 3.14(7 * 0.3048)^2(12 * 0.3048)$$

$$V_c = (0.785)(4.55 \text{ m})(3.65\text{m})$$

$$V_c = 13\text{m}^3$$

Llenado de bolas 35% del volumen

$$35\% * 13\text{m}^3 = 4.55\text{m}^3$$

Considerando una bola de 4''

$$\text{Masa de bolas} = 1024\text{m}^3 * 4.55\text{m}^3 = 4659 \text{ bolas}$$

f. Grado de llenado

$$J = 1.13 - 1.22 \left(\frac{H}{D} \right)$$

$$J = 1.13 - 1.22 \left(\frac{1.10}{1.828} \right)$$

$$J = 39.5 = 40\%$$

g. Capacidad de Energía según Bond

$$E_B = 10 * W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

$$E_B = 10 * 18 \left(\frac{1}{\sqrt{74 \mu\text{m}}} - \frac{1}{\sqrt{9525 \mu\text{m}}} \right)$$

$$E_B = 180 \left(\frac{1}{8.60232} - \frac{1}{97.59610} \right)$$

$$E_B = 180(0.11624 - 0.01026)$$

$$E_B = 19.0764 \text{ kwh/Tn}$$

h. Determinación de potencia real

$$Pr = E_B * Q$$

$$Pr = 20.90 \frac{\text{kwh}}{\text{Tn}} * 12.5 \text{ Tn/h}$$

$$Pr = 238.45 \text{ Kw}$$

$$Pr = P \text{ Teórica} * \text{Factor Mejorado}$$

$$Pr = 265 \text{ Kw} * 1.3$$

$$Pr = 309 \text{ Kw}$$

i. Rotación – Velocidad Crítica

$$N = \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

$$N = \frac{42.3}{\sqrt{1.828}}$$

$$N = 31.28 \text{ rpm}$$

$$N = \frac{76.63}{\sqrt{D}}$$

$$N = \frac{76.63}{\sqrt{6}}$$

$$N = 31.29 \text{ rpm}$$

j. Rotación – Velocidad Operacional o Real

Los molinos rotan a una velocidad porcentual constante “fracción” $f_c = 75\%$

$$N_{real} = 0.75 * 31.29 \text{ rpm}$$

$$N_{real} = 23.46 \text{ rpm}$$

6.4. Consideraciones Técnico Mineralógicas en una Planta de Beneficio

El abastecimiento de mineral aurífero proveniente directamente de la fase de explotación debe tener un diámetro mínimo de 10” y máximo de 12” pulgadas. Para garantizar la producción diaria de 300 Tn, es importante implementar un Stockpile de 472 Tn de mineral

El mineral proveniente de mina debe ingresar directamente al proceso de trituración primaria de manera automatizada, sin la intervención de obreros en la reducción del tamaño del mineral en la tolva de gruesos.

6.4.1. Zona de Acopio de Mineral “Stockpile”

- Para garantizar la operación estable para el flujo de conminución se debe contar con un Stockpile de 472 Tn de mineral.

6.4.2. Trituración Primaria

- Trituradora primaria: PE 500*750, procesa un volumen de 40-100 Tn/h. Este equipo debe instalarse al inicio del proceso, el cual tritura la roca proveniente de mina de forma directa.

6.4.3. Tolva de gruesos

- Acopio de mineral de 2” proveniente de la trituración primaria y debe tener una capacidad de 115Tn.

6.4.4. Banda transportadora

- Esta banda transportadora estará instalada desde la tova de gruesos, pasar por la zaranda vibratoria hasta llegar a la trituración secundaria tendrá una longitud de 5m y un ancho de 24”

6.4.5. Zaranda Vibratoria

- Su función es la clasificación del mineral proveniente de la trituración primaria de hasta 2”, mineral que sobrepase esta dimensión retornara a la tolva de gruesos. Posee una dimensión de 5*15 m

6.4.6. Trituración Secundaria

- Trituradora secundaria: PE 1003 - 250*1000, su función es procesa un volumen de 12-65 Tn/h. Se basa en la trituración del mineral de 2” proveniente de la trituración primaria para posterior fragmentar el mineral hasta 1”.

6.4.7. Banda transportadora

- Tiene como objetivo transportar el mineral desde la trituración secundaria pasar por la zaranda vibratoria hasta llegar a la trituración terciaria tendrá una longitud de 8m y un ancho de 24”

6.4.8. Zaranda Vibratoria

- Clasifica el mineral proveniente de la trituración secundaria de 1", mineral que sobrepase esta dimensión retornara a la trituración secundaria. Posee una dimensión de 4*8 m

6.4.9. Trituración Terciaria

- Trituradora secundaria: PE 1003 - 250*1000, procesa un volumen de 12-65 Tn/h. Su objetivo es la conminución del mineral proveniente de la trituración secundaria de 1" hasta llegar a los 3/8".

6.4.10. Molino de bolas

- Para el proceso de molienda se ha definido un molino de bolas es de 7*12 pie, con un flujo de mineral promedio de $7.81 m^3$ equivalente 22 Tn. El mineral tendrá un tiempo de residencia 1.40 min. El mineral de 3/8" que ingresa al proceso de molienda tendrá un índice de reducción de 128 veces equivalente a 74um. El grado de llenado sobre el cilindro será del 40%. El molino de bolas tendrá una potencia real de 309Kw con una velocidad operacional real de 23.46rpm.

6.4.11. Hidrociclón

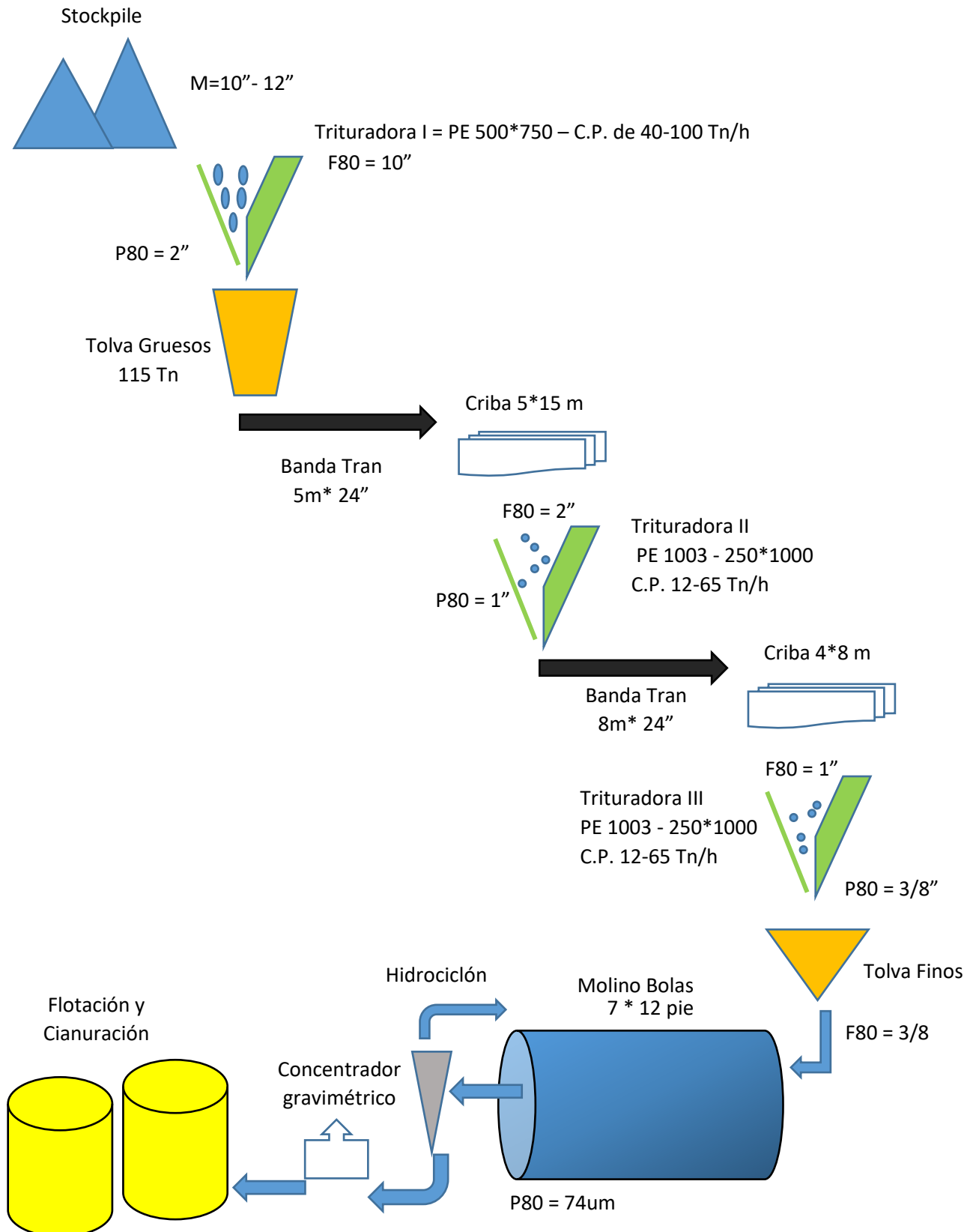
- Terminado el proceso de trituración, el mineral ingresa a un hidrociclón que tiene la particularidad de clasificar el mineral que ingresa al proceso de molienda, el cual permitirá pasar el 80% del mineral triturado, el mineral que no posee la dimensión requerida de 3/8 regresará automáticamente al proceso de trituración.

6.4.12. Concentrador Gravimétrico Knelson

- En base al análisis granulométrico, al estudio petrográfico y mineralógico por DRX la veta Abundancia presenta oro (Au) de forma libre, su encapsulamiento esporádico se encuentra dentro su matriz cuarzo – calcita. Gran parte del oro (Au) puede ser liberado en el proceso de conminución.
- En base al estudio petrográfico y análisis granulométrico realizada a cada muestra obtenida de las vetas estudiadas, se verifico la presencia de oro (Au) grueso con dimensiones de 210um hasta 74um, por tal motivo es posible la implementación de

un concentrador gravimétrico posterior al proceso de conminución, con la finalidad de atrapar o centrifugar láminas de oro (Au) mayores a 74um.

6.4.13. Diagrama de flujo propuesto



6.5. Proceso metalúrgico para la recuperación de Au

De acuerdo a la caracterización petrográfica y mineralógica de las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia se determinó un gran porcentaje de oro (Au) fino de 74 μm y muy fino de 25 μm que, además, se encuentra encapsulado dentro de minerales de mediana sulfuración principalmente dentro de la pirita, calcopirita, galena, esfalerita. Bajo este contexto, se debe considerar la implementación de un proceso de flotación por medio de colectores ya sean Z-6 o Z-11 para la concentración de minerales y posterior recuperación de oro (Au) por medio de la cianuración.

La implementación del proceso de flotación se lo define por las diferentes características mineralógicas y petrográficas que posee cada una de las estructuras mineralizadas, asociadas a un estado de sulfuración intermedio donde el oro (Au) se encuentra encapsulado o asociados a estos minerales.

Una vez analizada las características propias del mineral a procesar y en base a los requerimientos técnicos que el proceso flotación requiere se definió que el tamaño de 74 μm es el proceso de conminución óptimo para la concentración de oro.

Adicionalmente, podemos señalar que la veta Matalanga, Cantabria y Nudo presentó la particularidad de contener un mineral denominado ilmenita (Ilm) pirrotina (Prr) mismos que al entrar al proceso de conminución y beneficio tiene la propiedad de ser magnético, mismo que al ser liberado se carga y atrapa partículas de metales preciosos.

7. Discusión

Al realizar el análisis difracción de rayos X, la veta Matalanga, presenta una serie de minerales de ganga como el Illita 51.40% ($Al_2H_2KO_{12}Si_4$), Cuarzo (SiO_2) 39.40%, Wollastonita ($Ca_{0.96}Mn_{0.04}O_3Si$) 5.90%, Calcita ($CaCO_3$) 3.10% y como mineral de mena la Galena (PbS) 25%. En base a las secciones delgadas verificamos la asociación mineralógica galena (Gal), calcopirita (Ccp), pirita (Py), esfalerita (Sp), oro (Au), pirrotina (Prr) e ilmenita (Ill). Por medio del diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad indica que esta asociación mineralógica pertenece a un estado de sulfuración intermedia. Particularmente el oro (Au) presenta un tamaño de 120 μm con inclusiones de magnetita caracterizado por la pirrotina (Prr), y encapsulado dentro de la galena (Gal). Mediante el análisis de 25 muestras bajo el método de ensayo al fuego se determina que existe una ley promedio de 3.56 grAu/Tn con este antecedente se puede indicar que el oro (Au) se encuentra diseminado o encapsulado dentro de la matriz de los sulfuros.

La veta Cantabria, bajo el estudio de difracción de rayos X, se determinó minerales como el Cuarzo (SiO_2) 91.80%, Cuprita (Cu_2O), 2.20%, Birnesita ($H_2K_{0.23}Mn_{0.776}$) 1.70%, Estanita ($Cu_2Fe_{0.8}S_4SnZn_{0.2}$) 1.40%, Silvanita ($AgAuFe_4$) 0.90%, Pirita ($AS_{0.026}FeS_{1.974}$) 2.00%. Con el estudio de secciones delgadas se verificó la presencia de minerales como la pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena (Gal), oro (Au), ilmenita (Ill). En base al diagrama de correlación entre temperatura y fugacidad la estructura mineralógica pertenece a una sulfuración intermedia. El oro (Au) identificado dentro de esta estructura se encuentra encapsulado dentro de la matriz de la calcopirita (Ccp) con un tamaño de $\pm 100\mu m$. Con el método de ensayo al fuego de 25 muestras, se determina una ley promedio de 3.57 grAu/Tn. Bajo este contexto podemos indicar que el oro (Au) encuentra encapsulado y diseminado dentro de los sulfuros.

Los análisis de la veta Nudo por medio de la difracción de rayos X, revela la presencia de minerales de ganga como el cuarzo (SiO_2) 91.60%, Pirita ($AS_{0.026}FeS_{1.974}$) 7.40%, Calcopirita ($CuFe_2$) 1.00%. Por medio de análisis de secciones delgadas se verificó la presencia de minerales de mena como: esfalerita (Sp), calcopirita (Ccp), pirita (Py), galena (Gal), ilmenita (Ill) se define que la estructura se encuentra asociada a un estado de sulfuración intermedio. Dentro de las secciones delgadas no se evidencia oro (Au) en forma libre, pero en base a los análisis de ensayo al fuego de las 25 muestras se determinó una ley promedio de 3.77 grAu/Tn. Esto da entender que el oro (Au) se encuentra diseminado o encapsulado dentro de los sulfuros.

La veta Abundancia, con la difracción realizada a su composición mineralógica se determinó la presencia de minerales de ganga como el cuarzo (SiO_2) con el 86.40% y calcita

(CaCO₃) con el 12.90% y la asociación mineralógica Cobre-Oro (Au₃Cu) con el 0.70%. En el análisis de secciones delgadas se determinó la asociación mineralógica pirita (Py), calcopirita (Ccp), esfalerita (Sp), galena (Gal), oro (Au), pirrotina (Prr) e ilmenita (Ill) se define que la estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio. En una de las secciones delgadas se evidencio oro (Au) dentro de los cristales de la esfalerita (Sp) con un tamaño de 100um. Bajo el análisis de 25 muestras de esta veta se definió que la ley promedio es de 2.85 grAu/Tn.

La planta de beneficio casa negra en sus inicios fue diseñada para el tratamiento de minerales de baja sulfuración específicamente cuarzo más calcita, diseminación de sulfuros y en algunos casos oro (Au) libre, pero en la actualidad, al explotar minerales de sulfuración intermedia es necesario recomendar un circuito cerrado de flotación y cianuración dependiendo de las características mineralógicas y petrográficas del mineral que actualmente se está procesando.

El proceso de conminución estará caracterizado por una tolva de gruesos con una capacidad de 115 Tn, por tres etapas de trituración primaria, secundaria y terciaria. En la trituración primaria el mineral que ingresa F80 con una dimensión de 10” tendrá un grado de reducción de 5 veces equivalente a 2”. Para la trituración secundaria el mineral de F80 de 2” pulgadas tendrá una salida P80 de 1” pulgada y para la última fase de trituración terciaria el mineral tendrá una salida de 3/8” pulgada, el mineral producto de la trituración que no contenga las dimensiones requeridas en cada fase de trituración, dependiendo de su tamaño refregará a la fase de trituración requerida.

El mineral que llegue a cumplir las dimensiones solicitadas en el proceso de trituración por medio de la clasificación de un hidrociclón, el mineral ingresará al molino de bolas (7*12) con un F80 de 9525um, donde el índice de reducción seria de 125 veces, equivalente a un P80 de 74um”.

El molino de bolas de 7” *12”, posee un volumen de 13,63 m³, un flujo de mineral 7.81m³ y un índice de residencia de 1h 40 min. El grado de llenado seria de un 40% tanto de la pulpa como la cantidad de bolas. La velocidad de rotación es de 23.46rpm. El índice de reducción del mineral será de 128 veces, por tal motivo el mineral que ingresa F80 es de 9525um y el mineral que sale es de 74um.

Según el estudio de Inhibición efecto preg-robbing de la arcilla illita en la cianuración de las menas auroargentíferas del municipio de Vetas, Santander – Colombia, realizado por López y Pedraza (2001), manifiestan que la illita adsorbe el oro (Au) incluida la pirita (Py), durante la lixiviación y reduce su disolución en la cianuración, efecto conocido como “preg-robbing”. El porcentaje de disolución de oro (Au) se aumentó cuando se utilizaron compuestos

de potasio en las soluciones de cianuro, con lo que inhibió el efecto “preg-robbing” de las arcillas. Bajo este contexto, la veta Matalanga, que posee el 51.40% de Illita ($Al_2H_2KO_{12}Si_4$) en su composición mineralógica, es importante correlacionar la influencia de este mineral en los diferentes procesos metalúrgicos establecidos y por establecer dentro de la planta de beneficio Casa Negra.

La pirita (Py) es el mineral de mena que prevalece dentro de las 4 vetas estudiadas y generalmente presenta cristales que se encuentran bien formados, es un mineral netamente isotrópico, no posee maclas ni clivaje. Se encuentra asociado a la calcopirita (cpy) y se presenta rodeando a otros cristales como la esfalerita y la calcopirita.

La calcopirita (Cpy) igual que la pirita (Py) se presenta en todas las estructuras mineralizadas, muestra cristales en forma irregular, con una anisotropía débil, no muestran maclas ni clivaje y se asocian a cristales de esfalerita (Sp), pirita (Py) y galena (Gal). Además, a la calcopirita (Cpy) observa con la esfalerita, formando una textura “enfermedad de calcopirita”, la cual se forma con esfaleritas ricas en hierro

La esfalerita (esf) poseen una forma irregular y presenta isotropía, se caracteriza por su coloración marrón acaramelada, se asocia a otros cristales como el oro (Au), pirita (Py), calcopirita y galena.

El oro (Au) dentro de las estructuras mineralizadas presenta un color amarillo intenso, muestra una reflectancia muy alta, caracterizado como un mineral isotrópico, no muestran maclas ni clivaje. En la veta Matalanga se visualiza oro de ± 120 μm con inclusiones de magnetita caracterizado por la pirrotina. En la veta Cantabria el oro (Au) se encuentra encapsulado dentro de la matriz de la calcopirita (Ccp) con un tamaño de $\pm 100\mu m$. En la veta Nudo las partículas de oro (Au) no fueron determinados, pero presenta asociaciones mineralógicas ligadas al oro (Au). En la veta Abundancia el oro (Au) se lo encontró dentro de los cristales de la esfalerita (Sp) con un tamaño de 25 μm y 100 μm .

La pirrotina (pr) se encuentra caracterizado por su forma de cristales irregulares y con una anisotropía débil, por su naturaleza presenta un alto magnetismo, dentro de la estructura mineralizada se ubica cerca al oro (Au) principalmente en la veta Matalanga. La pirrotina es un elemento negativo dentro del proceso metalúrgico, se convierte en un encapsulador de oro fino.

La ilmenita (ilm) dentro de la estructura se presenta cristales bien definidos y formados, con una anisotropía fuerte y maclas laminares, está asociado junto a la pirita (Py) y calcopirita (Ccp).

El análisis granulométrico desarrollada a la veta Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia de forma general podemos indicar que existe una mayor concentración de oro (Au)

fino determinado en la malla 200 equivalente a 74 μ m y representa aproximadamente el 64.83% de oro fino. El oro (Au) catalogado como grueso que se encuentra entre la malla 70 (210 μ m) hasta la malla 140 (105 μ m) representa el 35.16% de concentración de oro dentro de las estructuras mineralizadas.

El análisis granulométrico realizado al relave que genera la planta de beneficio Casa Negra, indica concentraciones de oro (Au) fino distribuidas entre la malla 200 (74 μ m) hasta la malla fina - 400 (>37 μ m) y representa el 91%. Mientras que la concentración de distribución de oro (Au) entre la malla gruesa 70 (210 μ m) hasta la malla 200 (74 μ m) representa 9%. Bajo este contexto, podemos definir que existe oro (Au) fino que no es recuperado dentro del proceso de cianuración, establecido por la plana de beneficio Casa Negra.

El proceso de conminución que mantiene la planta de beneficio Casa Negra en la primera fase de trituración no se encuentra automatizada, donde se utiliza 5 trabajadores para romper mineral de forma manual, con el proceso planteado se elimina trabajos manuales, permitiendo que el mineral explotado ingrese directamente a la fase de trituración primaria y abastecer una tolva de 115Tn., con un tamaño de 2” ya abastezca paulatinamente de mineral según lo requiera la planta de beneficio Casa Negra.

La Consultora Chilena Empírica (2020), bajo diferentes estudios geometalúrgicas indica que el tamaño óptimo para flotar las partículas se encuentra en un rango máximo de 100 [μ m]. No obstante, una sobre molienda (inferiores a 30 [μ m]), no son capaces de flotar por causas hidrodinámicos, debido a que esta no adquiere la energía cinética para producir una agregada partícula/burbuja estable. Adicionalmente, la clasificación mediante hidrociclones, no solo discriminan por tamaños de partículas sino también por la gravedad específica de cada grano de sólido, ocasionando en muchos casos que partículas se desvíen por el “underflow” del hidrociclón, remoliéndose más de lo necesario. Bajo este contexto, en la fase de conminución se estableció en que el tamaño idóneo para establecer el proceso de flotación es de 74 μ m.

Los análisis de ensayo al fuego, aplicados al muestreo sistemático, mallas valoradas de las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia se determinó una ley promedio de 4.01 grAu/Tn. Mientras que los resultados obtenidos de la malla valorada realizado al relave generado por la planta de benéfico Casa Negra, se determinó la presencia de oro (Au), con un promedio de 3.98 gr/Tn Au. Entonces existe discrepancia en la determinación de la ley de cabeza y por otro lado existe una % de pérdida importante de oro, es decir entre el 48 al 69% de mineral.

8. Conclusiones

El análisis de ensayo al fuego de las 4 estructuras mineralizadas indica una ley promedio de 3.48 grAu/Tn con una dilución del 27%.

La dilución del 27% que corresponde a mineral estéril o roca encajante caracterizado principalmente por una andesita basáltica porfirítica. La cual no solo castiga la ley, sino que ocasiona desgaste y consumo de energía en la maquinaria en la fase de conminución.

Los minerales de ganga determinados dentro de las vetas estudiadas se caracterizan por la presencia significativa del cuarzo, calcita e illita, además de algunos clastos andesíticos por la presencia de brechas hidrotermales y por efecto de la dilución en la fase de explotación.

La veta Cantabria que posee una mayor concentración de sulfuros presenta un peso específico de 3.23. La veta Nudo posee un peso específico considerable de 2.92. Mientras que la veta Abundancia y veta Matalanga presenta un específico de 2.7. Tenemos un promedio de 2.8.

Dentro de la veta Matalanga se determinó la presencia de una arcilla la Illita ($Al_2H_2KO_{12}Si_4$) con un porcentaje de 51.40% respecto a los demás minerales presente en esta estructura, mineral que afecta en el proceso de conminución ya que actúa como un encapsulador de oro y en el proceso de cianuración se presenta el efecto preg-robbing.

La veta Matalanga presenta una asociación mineralógica pirita (Py) + calcopirita (Ccp) + esfalerita (Sp) + galena (Gal) + oro (Au) + pirrotina (Prr) + ilmenita (Ill) se define que la estructura está asociada a un estado de sulfuración intermedio. En una de las secciones delgadas se evidencio oro (Au) dentro de los cristales de la esfalerita (Sp) e inclusiones de magnetita por la presencia de la pirrotina.

En la veta Cantabria presenta una asociación mineralógica como la pirita (Py), calcopirita (Ccp), galena (Gal), oro (Au), ilmenita (Ill). Y por medio de las secciones delgadas se determinó que el oro (Au) se encuentra encapsulado dentro de la matriz de la calcopirita (Ccp) con un tamaño de $\pm 100\mu m$.

En la veta Nudo presenta la siguiente asociación mineralógica establecida por la esfalerita (Sp) + calcopirita (Ccp) + pirita (Py) + galena (Gal) + ilmenita (Ill). Partículas de oro (Au) no fueron determinados, pero presenta asociaciones mineralógicas ligadas al oro (Au)

En la veta Abundancia presenta una asociación mineralógica conformada pirita (Py) + calcopirita (Ccp) + esfalerita (Sp) + galena (Gal) + oro (Au) + pirrotina (Prr) + ilmenita (Ill). Específicamente el oro (Au) se lo determino dentro de los cristales de la esfalerita (Sp) con un tamaño de 25 μm y 120 μm .

Se determino la presencia de minerales que pueden afectar a los procesos metalúrgicos, como son la ilmenita $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3$ y la pirrotina $\text{Fe}_{0,8}\text{S}$. que actúan como encapsuladores oro (Au) que por lo general se precipitan y se disipan en los relaves.

En base a su caracterización petrográfica y mineralógica las vetas se encuentran asociadas a un estado de sulfuración intermedio.

En conclusión, podemos indicar que el oro (Au) se encuentra encapsulado y asociado a minerales de sulfuración intermedia.

Dentro de la veta Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia, existe una mayor concentración de oro (Au) fino determinado en la malla 200 equivalente a 74 μm y representa aproximadamente el 64.83% de oro fino. El oro (Au) catalogado como grueso, se encuentra entre la malla 70 (210 μm) hasta la malla 140 (105 μm) representa el 35.16%. bajo este contexto, podemos concluir que las estructuras mineralizadas poseen mayor concentración de oro fino.

El análisis granulométrico realizado al relave que genera la planta de beneficio Casa Negra, presenta concentraciones de oro (Au) fino distribuidas entre la malla 200 (74 μm) hasta la malla fina - 400 (>37 μm) y representa el 71.18%. Mientras que la concentración de distribución de oro (Au) entre la malla gruesa 70 (210 μm) hasta la malla 200 (74 μm) representa 37.45%. Bajo estos resultados podemos concluir que existe oro (Au) fino que no es recuperado dentro del proceso de cianuración, establecido por la plana de beneficio Casa Negra.

En base al muestreo sistemático realizado a cada veta y con el respectivo análisis de laboratorio de ensayo al fuego, se comprobó la presencia de oro (Au) en cada estructura mineralizada y en base a los resultados obtenidos por cada veta se determinó una ley promedio de 3.48 grAu/Tn.

Con la trituración directa desde el Stockpile hacia la trituración primaria automatizamos la fase de conminución y eliminamos la trituración manual, realizada por 5 trabajadores.

En la trituración primaria, el F80 de 10" tendrá un índice de reducción de 5 veces, equivalente a 2". En base a la ecuación de Taggart el equipo tendrá una producción de 94.5 Tn/h, este equipo trabajará de manera paulatina según el requerimiento que la planta de beneficio lo exija.

Para la trituración secundaria el mineral F80 de 2" tendrá una salida P80 de 1" tendrá un índice de reducción de 2 veces. La trituradora tendrá un flujo de producción de 14.17 Tn/h en base a la ecuación de Taggart.

En la trituración terciaria el mineral de entrada F80 de 1" tendrá un índice de reducción de 2.6 veces, equivalente a 3/8". Con una producción de 14.17 Tn/h según la ecuación de Taggart.

El mineral clasificado por medio de un hidrociclón ingresara primeramente a un concertador gravimétrico (Knelson) y posterior molino de bolas (7*12) con un F80 de 3/8” equivalente a 9525UM, que en la esta etapa de molienda se obtendrá un P80 de 74um”, donde el índice de reducción equivaldría a 125 veces el tamaño de partícula.

El tamaño óptimo del mineral para establecer la flotación se encuentra en un rango de 74µm., una remolienda de la partícula de mineral no es capaz de flotar por causas hidrodinámicos, debido a que la partícula de mineral no adquiere la energía cinética para producir una agregada partícula/burbuja estable.

No es necesario una remolienda, ya que ocasionaría un laminado del oro (Au) y que en muchos casos las partículas se desvíen por el “underflow” del hidrociclón y escapándose en el relave.

Como resultado del estudio petrográfico, físico químico y a las características mineralógicas del oro (Au) es necesario implementar un concentrador gravimétrico pos_proceso de conminución y establecer un circuito cerrado de flotación para la concentración de oro (Au) y posterior recuperación del mismo por medio de la cianuración.

9. Recomendaciones

Se recomienda que el mineral proveniente de la fase de perforación y voladura debe contener una dimensión máxima de 10”

Diseñar una tolva de gruesos que permita el circuito permanente de mineral en las diferentes fases de la mineralurgia, para lo cual debe considerarse una tolva con la capacidad de 115 Tn. Tomando en cuenta la capacidad de procesamiento de la planta que es de 300Tn/día.

En base a las propiedades y características físico químicas de las estructuras mineralizadas se recomienda la implementación de una trituradora de mandíbulas PE 500*750, procesa un volumen de 40-100 Tn/h. Este equipo debe instalarse al inicio del proceso, el cual tritura la roca proveniente de mina de forma directa.

En base a los requerimientos establecidos para la fase de molienda, para la trituración secundaria y terciaria es necesario implementar una trituradora de mandíbulas JCE 1003 - 250 * 1000 pulgadas.

Para las 300 Tn/día que tiene establecido procesar la planta de beneficio Casa Negra, se recomienda un molino de bolas de 7*12. Que trabajara con un F80 de 3/8 con un índice de reducción de 125 veces equivalente a un P80 de 74um.

Implementar la concentración gravimétrica pos_proceso de conminución, con la finalidad de recuperar el oro (Au) grueso mayor a 105um que representa aproximadamente el 32% del mineral existente en las estructuras mineralizadas.

Para implementar el proceso de flotación, es necesario mantener una molienda entre la malla 200, con un diámetro de partícula de 74um, donde el mineral contenga las características idóneas que permitan adquiere la energía cinética para producir una agregada partícula/burbuja estable, capaces de flotar.

En base a las características granulométricas, petrográficas y mineralógicas del oro (Au) que poseen las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo y Abundancia, podemos recomendar la implementación de un concentrador gravimétrico y establecer un circuito cerrado de flotación para la concentración de oro (Au) por medio de colectores y posterior recuperación del mismo por medio de la cianuración.

Continuar desarrollando la caracterización granulométrica, petrográfica y mineralógica de nuevas estructuras para definir su composición y asociación mineralógica para establecer los mecanismos idóneos para mejorar los procesos en la recuperación de oro.

10. Bibliografía

- Aspden, P. (1995). *Regional geochemical reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador: economic and environmental applications*. Quito, Ecuador: O. Selinus.
- Bárcena, A. (20 de noviembre de 2018). *Estado de situación de la minería en América*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116_extendidafinalconf erencia_a_los_ministros_mineria_lima.pdf: https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116_extendidafinalconf erencia_a_los_ministros_mineria_lima.pdf
- Bonilla, W. (2009). *METALOGENIA DEL DISTRITO MINEROZARUMA- PORTOVELOREPÚBLICA DEL ECUADOR*. Buenos Aires, argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Bugbee, P. (1940). Organizing to Prevent Fires. *Journal American Water Works Association*, 32(6), 987-992.
- Burbano, D., & García, T. (2016). Estimación empírica de la resistencia a compresión simple a partir del ensayo de carga puntual en rocas anisótropas (esquistos y pizarras). *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 2(2), 13 - 16. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2602-84842016000200013&script=sci_arttext
- Bustamante, G. (2020). Análisis de la granulometría fina y su relación con la resistencia. *Trabajo de graduación*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10414>: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10414>
- Carrazana, J. (2022). Tipos de muestreo en minería. *Ingeoexpert*, 1-2-3.
- Chávez, M. (2020). *La Gran Región Minera Chile - Perú*. TALCA - CHILE: EDITORIAL UNIVERSIDAD DE TALCA.
- Chiaradia, M., Fontboté, L., & Beate, B. (2004). *Cenozoic continental arc magmatism and associated mineralization in Ecuador*. USA: J. Richards.
- Dunkley, P., & Gaibor, A. (1997). *Geology of the area between 2 and 3 degrees south, western Cordillera, Ecuador*. Quito, Ecuador: PRODEMİNCA.

- Duval, M., Sahnouni, M., Parés, J., Van der Made, J., Abdessadok, S., Harichane, Z., . . . Pérez-González, A. (7 de 9 de 2021). The Plio-Pleistocene sequence of Oued Boucherit (Algeria): a unique chronologically-constrained archaeological and paleontological record in North Africa. *Quaternary Science Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107116>.
- Empirica. (2020). Efecto del tamaño de partícula en flotación. *Empirica Consultores Chile*, 1-3.
- ESPOL. (5 de 1 de 2023). *Laboratorio de Láminas Delgadas*. Obtenido de <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas>: <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas#:~:text=El%20objetivo%20de%20preparar%20una,la%20luz%20perpendicularmente%20al%20polarizador>.
- Griem, W. (16 de 7 de 2020). *Depósitos vetiformes: Vetas*. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>: <https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>
- Hinojosa, O. (2016). Concentración gravimétrica de menas auríferas. *Revista metalúrgica UTO*, 38.
- INGEOMINAS. (2010). *INFORME SOBRE LA BASE DE DATOS SOBRE EL CONOCIMIENTO GEOQUÍMICO Y PETROLÓGICO DEL VULCANISMO Ng-Q COLOMBIANO*. Bogota: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.
- INGEOMINAS. (2010). *Técnicas Mineralógicas Químicas Metalúrgicas para caracterización de menas auríferas*. Bogota - Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- INIGEMM. (2014). *Informe Técnico del Trabajo Desarrollado en las plantas de beneficio de los Sectores de Zaruma y Portovelo, Pprovincia del Oro – Ecuador*. Quito: INIGEMM.
- Kennerley, J. (1973). *Geology of Loja Province Southern Ecuador*. London : Institute of Geological Sciences, Report, 23, 1-34.
- Kojovic, T. (1997). The development of a flakiness model for the prediction of crusher product shape. *Annual Institute of Quarrying Cof., Brisbane*, 135-148.
- Lambert. (2006). Manual de Muestreo para Exploración, Minería Subterránea y Rajo Abierto. *Minerielibrosycursos.com*, 12.

- Leskow, E. (15 de 07 de 2021). *Peso específico*. Obtenido de <https://concepto.de/peso-especifico>: <https://concepto.de/peso-especifico>
- Lewis, F., & Bhappu, R. (1976). *International Journal of Mineral Processing*. Arizona, EE.UU.: Copyright © 1976 Publicado por Elsevier B.V.
- Litherland. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *Elsevier*, Volume 205, Issues 1–3, 30 April 1992, Pages 187-204.
- López, M., & Pedraza, J. (2001). Inhibición del efecto preg-robbing de la arcilla illita en la cianuración de las menas auroargentíferas del municipio de Vetas, Santander-Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 108-114.
- Martines, C. (14 de 06 de 2017). *Microscopio Especial Para Estudiar las Rocas*. Obtenido de <https://www.mncn.csic.es/es/comunicacion/blog/un-microscopio-especial-para-estudiar-las-rocas>
- Mexicano, S. G. (22 de marzo de 2017). https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html. Obtenido de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html
- MINESADCO. (2022). *Informe de producción 2022 Concesión Minera Casa Negra*. Portovelo: MINESADCO S.A.
- Murillo, R. (2000). *Zaruma, historia minera, Identidad Portovelo*. Quito - Ecuador: ABYA - YALA.
- Napier, M., Barry, A., Wills, A., & Tim, A. (2006). *Wills' Mineral Processing Technology*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Nochols, B. (2015). *Closure of Artisanal Small Scale Gold Mining Processing Plants in Ecuador'*. Canada: Center of Science and Education.
- Párraga, R. (2017). Yacimientos Mineros y Metalogenia II. *Guía de práctica N. 02*, 1-3. Obtenido de https://issuu.com/miguel3553/docs/guia_de_practica_02

- Portal Minero. (2006). Manual general de minería y metalurgia. *Portal minero ediciones.*, 20-25.
- Portal Minero S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*. Santiago, Chile: Portal Minero Ediciones.
- Pratt, L. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador. *Elsevier*.
- Robles, P. (26 de 11 de 2020). Estado actual de la minería del oro en el Ecuador; gran minería vs minería artesanal. *Estado actual de la minería del oro en el Ecuador; gran minería vs minería artesanal*. Manresa, Barcelona, España.
- Ros, A. (2017). RECOPIACIÓN SOBRE LA METALURGIA DEL ORO. *ISSUU*, 5.
- Sánchez, A., & Vayas, T. (01 de diciembre de 2020). https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N60.pdf.
Obtenido de https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N60.pdf:
https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N60.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales: <https://www.sgm.gob.mx>
- Servicio Geologico Mexicano. (22 de marzo de 2017). <https://www.sgm.gob.mx>. Obtenido de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html: <https://www.sgm.gob.mx>
- SGMexicano. (22 de Marzo de 2017). *GOBIERNO DE MEXICO*. Obtenido de APLICACIONES_GEOLOGICAS/YACIMIENTOS-MINERALES: <https://www.sgm.gob.mx>
- Shi, F. (2004). *A comparison of grinding media: Cylpebs versus balls, Minerals Engng. (in press)*. Queensland.: Universidad de Queensland.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *CIENCIAS DE LA TIERRA*. MADRID: ISBN - EDICIÓN ESPAÑOLA.
- Vanthournout, F., Salemink, J., Valenzuela, G., Merlyn, M., Boven, A., & Munchez, P. (1996). Portovelo - a volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America. *Mineralium Deposita*, 269-276.

Wills, B., & Atkinson, K. (1993). *Minerals Engineering*. Camborne School of Mines, Redruth, Cornwall, England: Copyright © 1993 Published by Elsevier Ltd.

11. Anexos

Anexo 1. Informe Calcográfico de Secciones Pulidas de las vetas Matalanga, Cantabria, Nudo Abundancia. Escuela Politécnica Nacional.





Contenido

51 AM	3
51 BM	7
53 AC	10
53 BC	13
55 AN	16
55 BN	19
57 AA	22
57 BA	25



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 51 AM

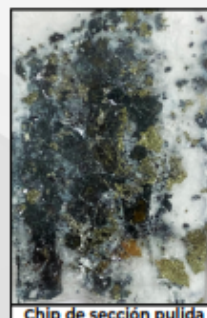
Color: Blanco y gris

Textura: Cristalina

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra representa una fracción de veta de cuarzo que posee secciones mineralizadas con sulfuros como pirita, calcopirita, galena y esfalerita. Estos cristales se encuentran en forma de vetillas, y forman alternancias entre ellos.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan rodeando a los cristales de esfalerita y junto con la calcopirita.	

Mineral: Calcopirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados con cristales de esfalerita, pirita y galena,	

Mineral: Galena	Concentración: Moderado
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Se presentan asociados junto con la pirita y calcopirita.	



Mineral: Esfalerita	Concentración: Muy alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales Reflectancia: Baja Color: Gris oscuro Bireflectancia: No presenta Pleocroísmo: No presenta	Anisotropía: Isotrópico Reflecciones internas: Marrón, acarameladas Maclas: No presenta Dureza: Suave
Clivaje: No presenta Observación: Se presenta abundantemente en la sección pulida, se asocia a otros cristales como pirita, calcopirita y galena.	

Mineral: Oro	Concentración: Baja
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales Reflectancia: Muy alta Color: Amarillo intenso Bireflectancia: No presenta Pleocroísmo: No presenta	Anisotropía: Isotrópico Reflecciones internas: No presenta Maclas: No presenta Dureza: Suave
Clivaje: No presenta Observación: Se diferencia de la calcopirita por su color amarillo intenso debido a su alta reflectancia. Se observa junto a la galena en algunas secciones y en otras junto a la pirrotina.	

Mineral: Pirrotina	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales Reflectancia: Baja Color: Castaño rosáceo Bireflectancia: Muy fuerte Pleocroísmo: De castaño claro a oscuro.	Anisotropía: Débil Reflecciones internas: No presenta Maclas: No presenta Dureza: Suave
Clivaje: No presenta Observación: Se presentan junto el oro en algunas secciones.	

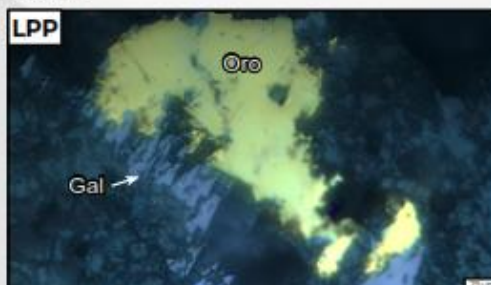
Mineral: Ilmenita	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales Reflectancia: Baja Color: Gris Bireflectancia: Si presenta Pleocroísmo: En tonos grises	Anisotropía: Fuerte Reflecciones internas: No presenta Maclas: Lamelares Dureza: Fuerte
Clivaje: No presenta Observación: Se presentan asociados junto con la pirita y calcopirita.	



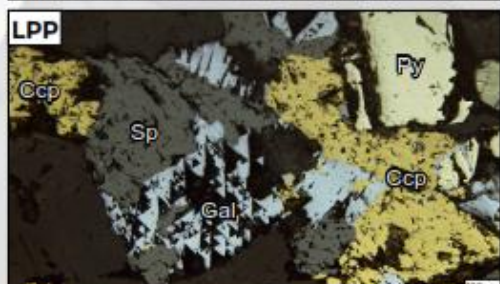
MICROFOTOGRAFÍAS



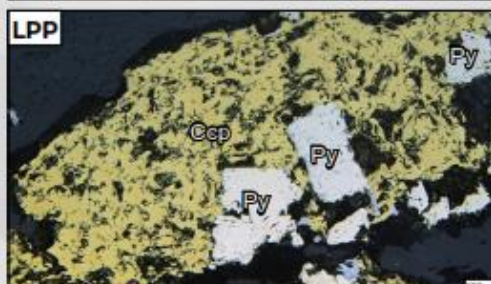
Descripción: Comparación entre calcopirita y oro, siendo este último el de mayor reflectancia. Se aprecia cristales de galena.



Descripción: Misma sección, en la cual se observa el oro con alta reflectancia junto a la galena con hoyos triangulares.



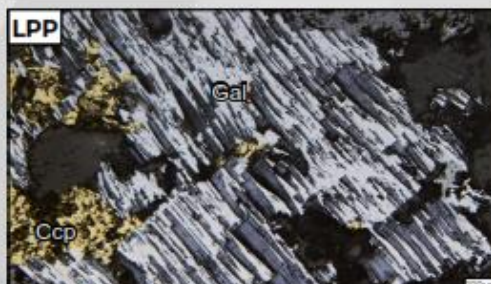
Descripción: Se presentan cristales cúbicos de pirita y calcopirita. Se aprecian huecos triangulares típicos de galena.



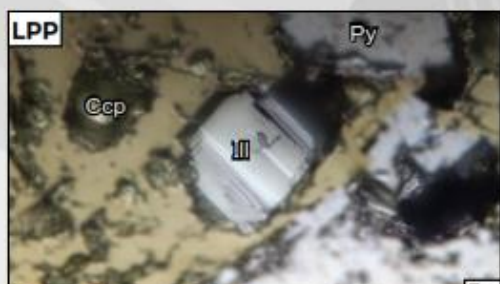
Descripción: Cristal rectangular de calcopirita, en su interior se aprecian cristales cúbicos y rectangulares de pirita.



Descripción: Cristal de esfalerita rodeado por cristales subhaciales de pirita y algunos anhedaes de calcopirita.



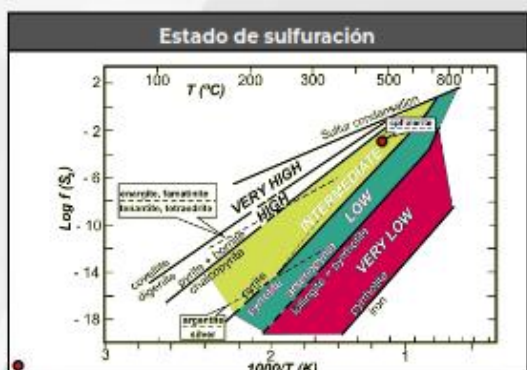
Descripción: Cristal de galena con huecos triangulares alargados. Se observan pequeños cristales anhedaes de calcopirita.



Descripción: Cristal de ilmenita cúbico con maclas lamelares dentro de un cristal de calcopirita. Se observan algunas piritas.



Descripción: Oro con alta reflectancia, presenta inclusiones de magnetita al interior. Se observa pirrotina de color castaño.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita, esfalerita, galena, oro, pirrotina e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 51 BM

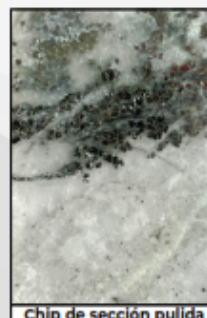
Color: Blanco / gris claro

Textura: Cristalina, algo clástica.

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra representa una fracción de veta de cuarzo, este fragmento presenta algunos clastos y dan una apariencia algo brechoide. La muestra posee secciones mineralizadas con sulfuros como pirita, calcopirita y galena. Estos cristales se encuentran en forma de vetillas, y forman alternancias entre ellos. Las vetillas observadas son muy discontinuas y cortan unas con otras.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Muy alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados junto con la calcopirita.	

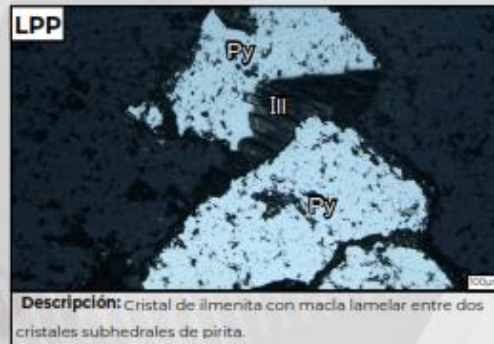
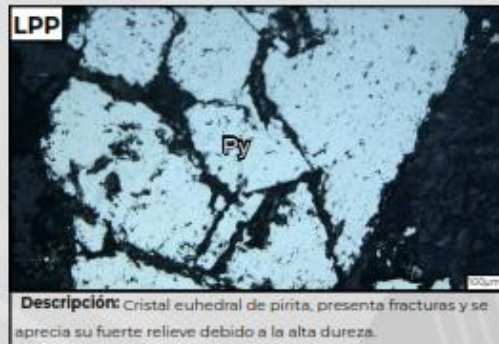
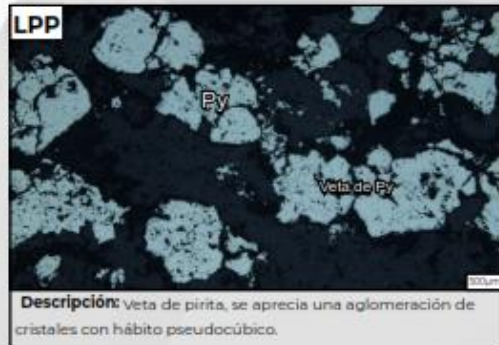
Mineral: Calcopirita	Concentración: Muy bajo
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan en forma de pequeños cristales y de forma aislada de los otros cristales.	

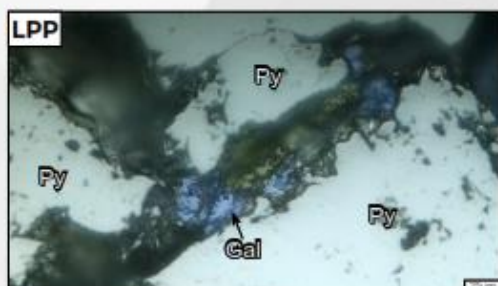
Mineral: Galena	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Se presentan asociados junto con la pirita y calcopirita, algunos se observan aislados.	



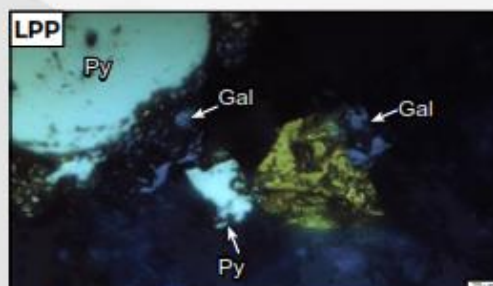
Mineral: Ilmenita	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Fuerte
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: Lamelares
Bireflectancia: Si presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: En tonos grises	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados junto con la pirita en su bordes y fracturas.	

MICROFOTOGRAFÍAS

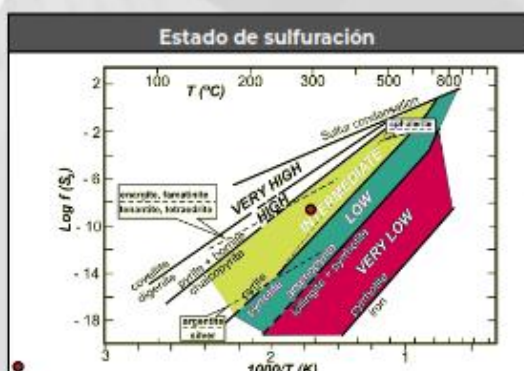




Descripción: Cristales de pirita a mayor aumento, se aprecian cristales de galena entre estos cristales.



Descripción: Cristales anhedrales de galena junto a cristales de pirita y calcopirita.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita, galena e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 53 AC

Color: Gris

Textura: Cristalina,

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra posee secciones mineralizadas con sulfuros como piritita y calcopiritita. Estos cristales se encuentran formando parte de sistemas de vetillas de cuarzo, clorita y hematita. Las vetillas observadas son casi continuas. Se aprecian varias fracturas en la roca.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

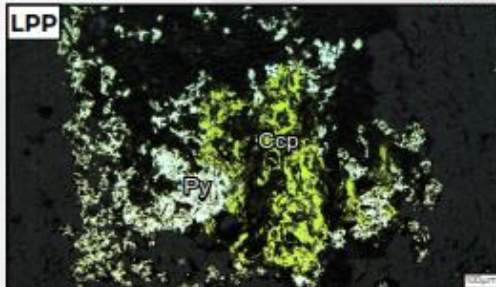
Mineral: Piritita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan dentro de cristales de calcopiritita y rodeando a cristales de calcopiritita.	

Mineral: Calcopiritita	Concentración: Muy alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan mayoritariamente junto con cristales de piritita.	

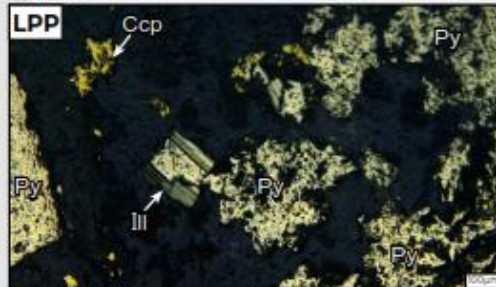
Mineral: Ilmenita	Concentración: Trazas
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Fuerte
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: Lamelares
Bireflectancia: Si presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: En tonos grises	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan aislados en referencia a otros cristales.	



MICROFOTOGRAFÍAS



Descripción: Cristal de pirita que presenta alteración a calcopirita, este presenta forma pseudocúbica.



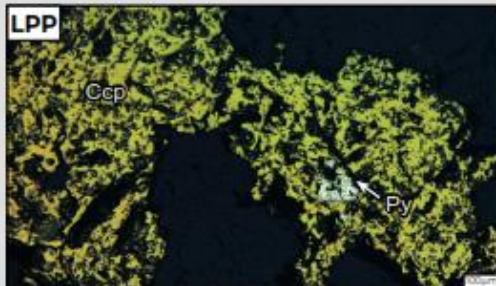
Descripción: Se observa un cristal de ilmenita con macla lamelar. Se aprecian cristales de pirita y calcopirita anhedrales.



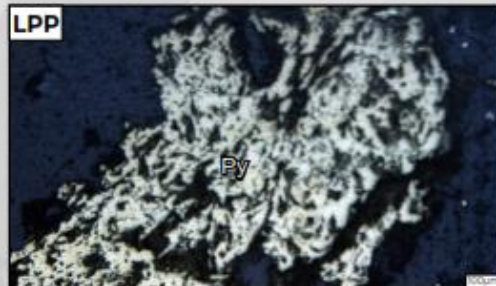
Descripción: Cristal de calcopirita con forma anhedrales, este se presenta de forma aislada.



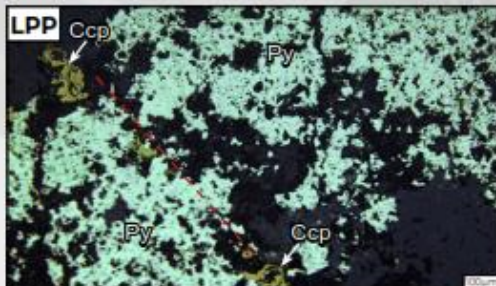
Descripción: Cristal cúbico de pirita, se observan cristales anhedrales aislados de calcopirita.



Descripción: Cristal anhedral de calcopirita con una inclusión de un cristal cúbico de pirita.



Descripción: Cristal subhedral de pirita con forma prismática rectangular.



Descripción: Cristales de calcopirita cristalizados entre una de las fracturas que posee la pirita (línea roja).



Descripción: Cristal cúbico de ilmenita con macla lamelar, se aprecian cristales de pirita y calcopirita.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 53 BC

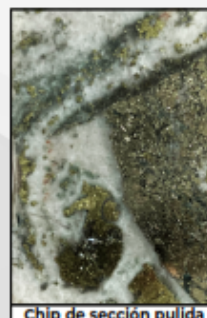
Color: Gris verdoso / blanco

Textura: Clástica

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra presenta fragmentos de roca mineralizado de color gris verdoso, estos pueden ser fragmentos de la roca caja y se encuentran mineralizados con sulfuros como pirita, calcopirita y galena. No se observan vetillas aparentes a mas del cuarzo que actua como matriz de la roca. Se puede sugerir que se trata de una veta de cuarzo con fragmentos de la roca caja.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados con la calcopirita en sus bordes o al interior de sus vesículas.	

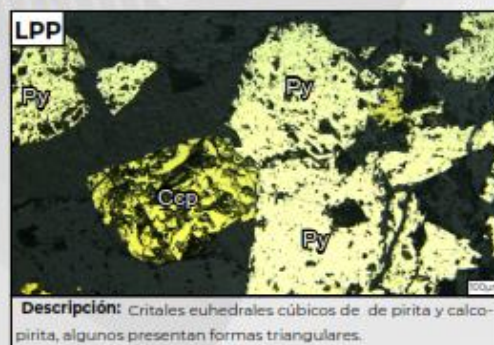
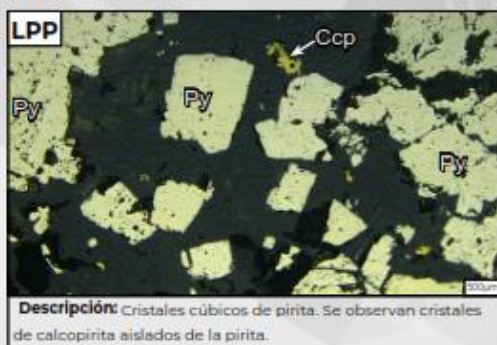
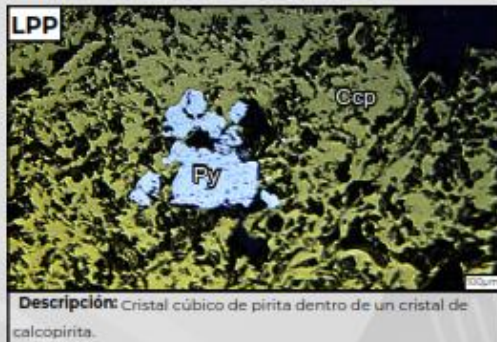
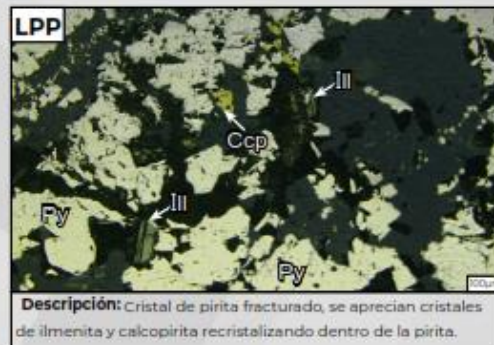
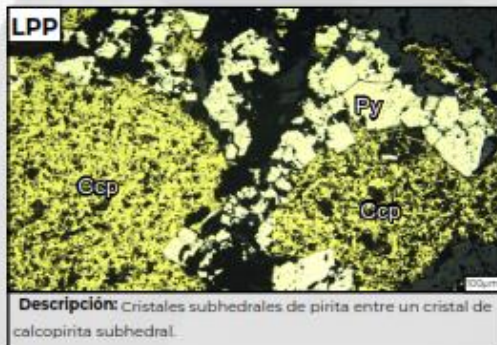
Mineral: Calcopirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados con la pirita y galena.	

Mineral: Galena	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Se presentan asociados con la calcopirita al interior de su vesículas.	



Mineral: Ilmenita	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Fuerte
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: Lamelares
Bireflectancia: Si presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: En tonos grises	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados con la pirita en sus bordes y fracturas.	

MICROFOTOGRAFÍAS





Descripción: Cristales cúbicos de ilmenita con maclas lamelares dentro de fracturas de un cristal de pirita.



Descripción: Cristal de calcopirita recrystalizado a partir de un cristal continuo de pirita.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita, galena e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 55 AN

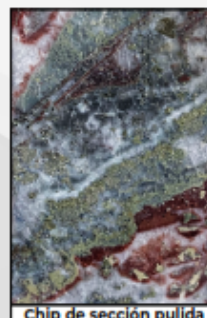
Color: Gris verdoso / blanco / rojizo

Textura: Cristalina / clástica

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra aparenta ser un fragmento de una veta con algunos fragmentos rocosos de color verde que pueden pertenecer a la roca encajante. Se aprecian sistemas de vetillas con sulfuros de pirita y calcopirita junto a otros óxidos de color rojo. No se observan vetillas continuas debido a que se cortan unas con otras.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados con la calcopirita, especialmente en forma de vetillas.	

Mineral: Calcopirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan junto con la pirita en forma de vetas y como cristales aislados.	

Mineral: Galena	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No se observan en esta sección pulida.	
Observación: Se identifican por color característico y su alta reflectancia, aparece junto a la calcopirita y pirita.	

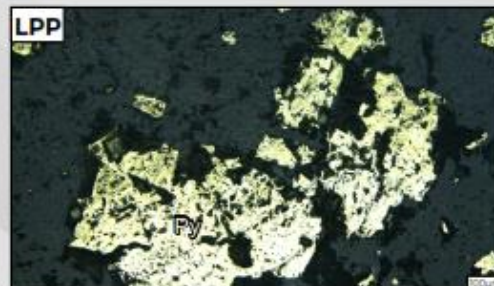


Mineral: Ilmenita	Concentración: Traza
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Fuerte
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: Lamelares
Bireflectancia: Si presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: En tonos grises	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados la pirita en sus bordes.	

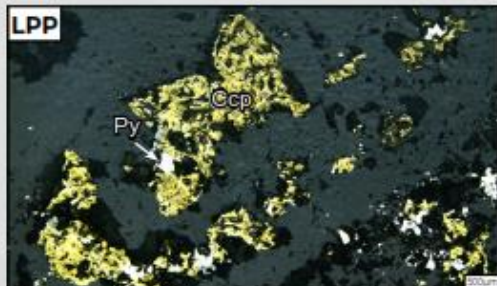
MICROFOTOGRAFÍAS



Descripción: Cristal de calcopirita junto a cristales de pirita cúbica. Al interior de la calcopirita se observa galena.



Descripción: Cristal aislado de pirita, se aprecia con fracturas.



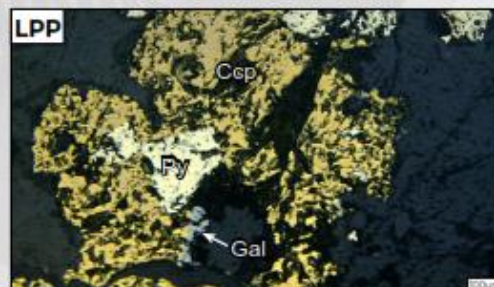
Descripción: Cristal de calcopirita con formas anhedrales, dentro de este se aprecia a la pirita.



Descripción: Cristales de pirita y galena dentro de un cristal de calcopirita, se observa a la galena recristalizando a los bordes.



Descripción: Cristales cúbicos de pirita, se observa en los bordes y en las fracturas cristalización de calcopirita.



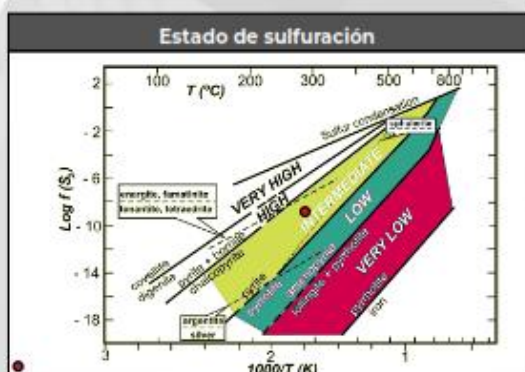
Descripción: Cristal de calcopirita, se observan a los bordes cristalización de galena. Además se aprecian cristales de pirita.



Descripción: Cristales de pirita, calcopirita y galena observados con un mayor aumento.



Descripción: Cristal cúbico de ilmenita con macla lamelar junto a un cristal de pirita.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita, galena e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 55 BN

Color: Gris y blanco

Textura: Clástica / cristalina

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: Se observan clastos de roca de color gris con formas triangulares, probablemente se tratan de fragmentos vítreos. Se aprecian cristales de feldespato en medio de toda la masa cristalina de cuarzo, por su color pueden tratarse de feldespatos de potasio al ser algo cremosos-rosáceos. No existe un claro sistema de vetillas ya que el cuarzo a deformado la roca. Puede tratarse de un fragmento de una veta de cuarzo mineralizada con pirita, calcopirita, galena y esfalerita.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Moderada
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Aparece comúnmente con la calcopirita, esfalerita y galena.	

Mineral: Calcopirita	Concentración: Baja
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados junto con la pirita y esfalerita y galena. Se puede observar que junto con la esfalerita forman una textura típica de esfaleritas ricas en hierro "Enfermedad de la calcopirita".	

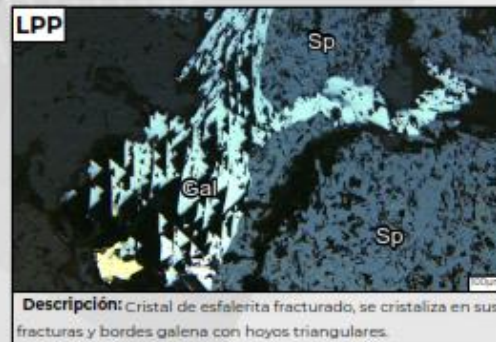
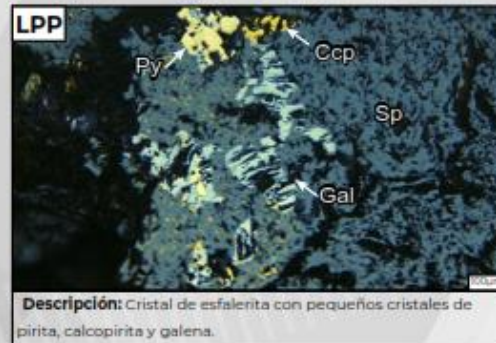
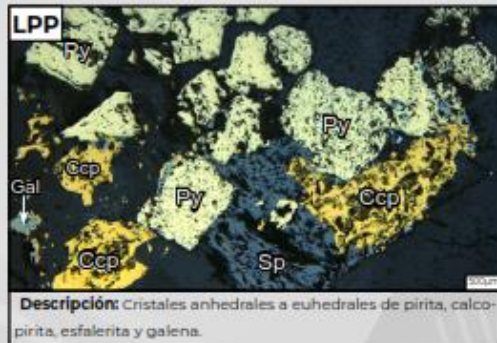
Mineral: Galena	Concentración: Moderada
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Aparecen principalmente formando parte de la esfalerita. Se observan en los bordes y fracturas observadas entre la pirita y calcopirita.	



Mineral: Esfalerita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: Marrón, acarameladas
Color: Gris oscuro	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presenta como mineral principal en toda la sección pulida, contiene a otros cristales como pirita, calcopirita y galena. Forma una textura típica de la esfalerita rica en hierro "Enfermedad de la calcopirita" en la cual se distribuye de forma aleatoria.	

Mineral: Ilmenita	Concentración: Trazas
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Fuerte
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: Lamelares
Bireflectancia: Sí presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: En tonos grises	
Clivaje: No presenta	
Observación: Aparecen formando parte de la esfalerita y algunos de forma aislada.	

MICROFOTOGRAFÍAS





Descripción: Cristales de esfalerita, pirita, calcopirita y galena. Se puede apreciar que el mineral principal es la esfalerita.



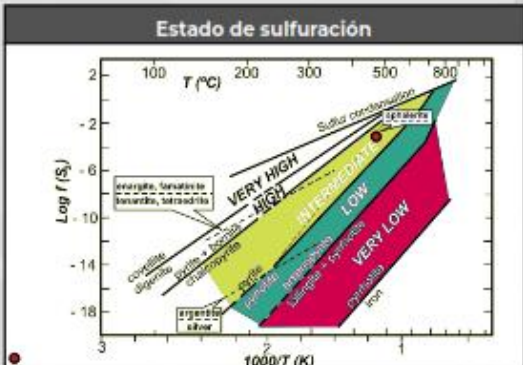
Descripción: Misma sección con mayor aumento. Se observa la enfermedad de calcopirita, típica textura observada en esfalerita.



Descripción: Cristal de ilmenita observado con su característica macía lamelar.



Descripción: Cristal de galena en donde se aprecia completamente su clivaje con hoyos triangulares alargados.



Resumen

En base a la asociación de minerales observados en muestra de mano y sección pulida, tales como: pirita, calcopirita, esfalerita, galena e ilmenita, se sugiere que la muestra está asociada a un estado de sulfuración intermedio.



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 57 AA

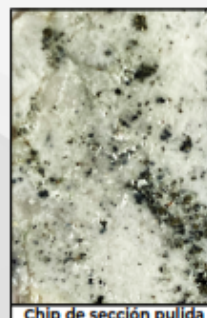
Color: Blanco

Textura: Cristalina

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: Al examinar la muestra de mano se observa una masa cristalina de cuarzo, esta se encuentra mineralizada por aparentes vetillas con sulfuros de pirita, calcopirita y galena. Presenta vetillas discontinuas. Se presenta una vetilla continua de feldespato (tal vez feldespato potásico por su color crema) con halos de cuarzo, esta vetilla presenta una forma sinuosa.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan asociados junto con la esfalerita y la galena.	

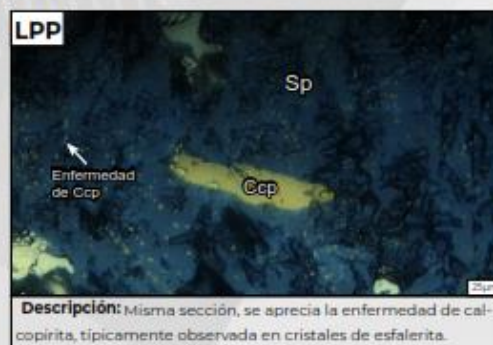
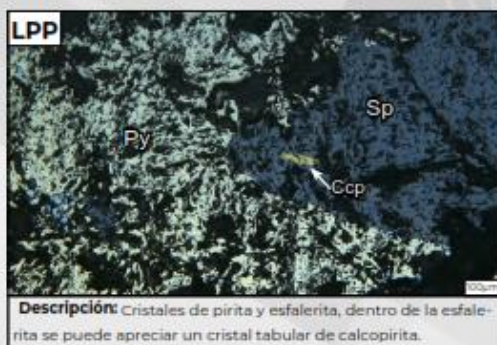
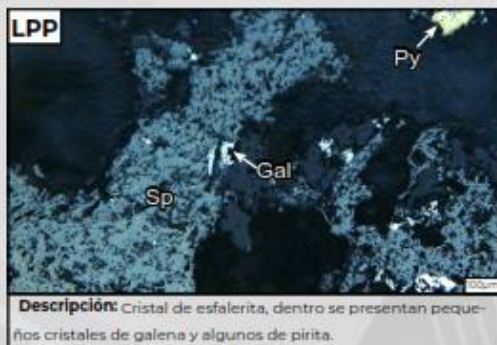
Mineral: Calcopirita	Concentración: Trazas
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se observa con la esfalerita, formando una textura "enfermedad de calcopirita", la cual se forma con esfaleritas ricas en hierro.	

Mineral: Galena	Concentración: Baja
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Se presentan asociados la esfalerita y pirita.	



Mineral: Esfalerita	Concentración: Moderada
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales Reflectancia: Baja Color: Gris oscuro Bireflectancia: No presenta Pleocroísmo: No presenta	Anisotropía: Isotrópico Reflecciones internas: Marrón, acarameladas
Clivaje: No presenta Observación: Se observan asociados a pirita y galena. Se aprecia con mayor aumento que posee la enfermedad de calcopirita, la cual es una textura típica de la esfalerita rica en hierro en donde se presentan inclusiones de cristales de calcopirita, estos cristales se encuentran distribuidos de forma aleatoria.	Maclas: No presenta Dureza: Suave

MICROFOTOGRAFÍAS





DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

CÓDIGO: 57 BA

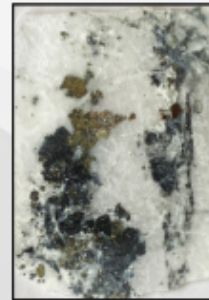
Color: Blanco

Textura: Cristalina

Estructura: Masiva

Magnetismo: No presenta

Observación: La muestra de mano es una masa cristalina de cuarzo, esta se encuentra con algunos fragmentos gris claro que presentan mineralización de sulfuros como pirita, calcopirita y galena. Es importante mencionar que los sulfuros de color anaranjado y rosáceos se tratan de calcopirita oxidada.



Chip de sección pulida

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Pirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales, cúbicos y prismas alargados	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Muy alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Blanco amarillento	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Fuerte
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se presentan junto con la esfalerita y calcopirita, se observan relleno vesículas presentes en estos minerales.	

Mineral: Calcopirita	Concentración: Alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Débil
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Amarillo	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Se asocia con la pirita, esfalerita y galena. Presenta vesículas rellenas de pirita y galena.	

Mineral: Galena	Concentración: Baja
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Euhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Alta	Reflecciones internas: No presenta
Color: Gris	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: Presenta exfoliación característica de la galena, huecos en forma triangular cortos y alargados.	
Observación: Se presentan en los bordes de la esfalerita, calcopirita y pirita. Se observa relleno vesículas.	

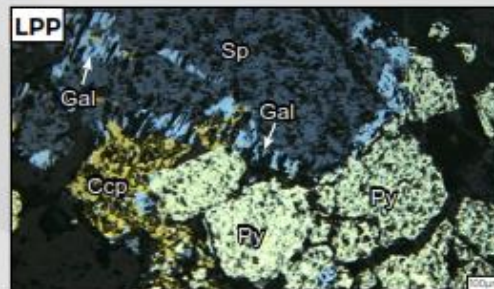


Mineral: Esfalerita	Concentración: Muy alta
LUZ POLARIZADA PLANA	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
Forma: Anhedrales	Anisotropía: Isotrópico
Reflectancia: Baja	Reflecciones internas: Marrón, acarameladas
Color: Gris oscuro	Maclas: No presenta
Bireflectancia: No presenta	Dureza: Suave
Pleocroísmo: No presenta	
Clivaje: No presenta	
Observación: Aparece como mineral principal en la sección pulida, se asocia con cristales de pirita, calcopirita y galena. Aparece comúnmente fracturado.	

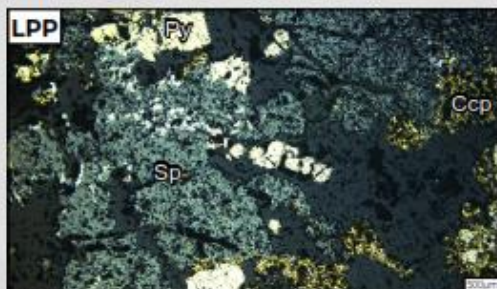
MICROFOTOGRAFÍAS



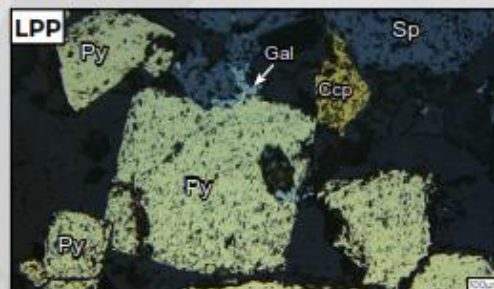
Descripción: Cristales de esfalerita con fracturas, se aprecian cristales de pirita aislados y calcopirita asociada a pirita.



Descripción: Cristal de esfalerita y pirita, se presentan entre estos cristales galena y calcopirita.



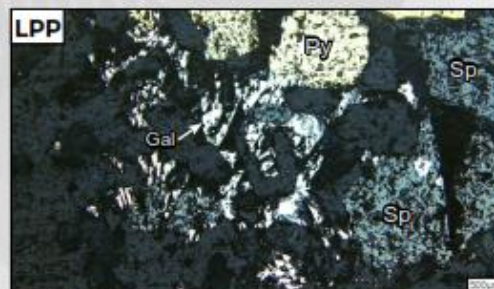
Descripción: Cristales de esfalerita, se presentan varios cristales de pirita y algunos de calcopirita en sus bordes.



Descripción: Cristales euhedrales de pirita, presentan formas cúbicas. Se observan cristales de galena entre la pirita y esfalerita.



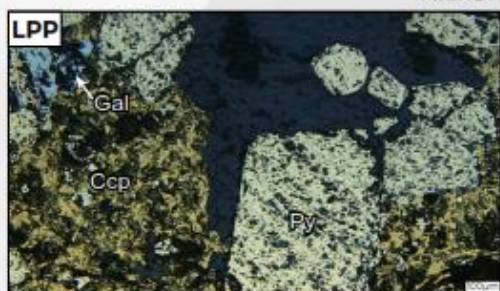
Descripción: Cristal de calcopirita, este presenta pequeños cristales de pirita y galena



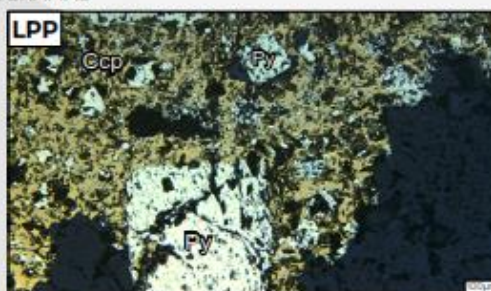
Descripción: Cristales de pirita y esfalerita, presentan cristalización de galena observado en sus bordes.



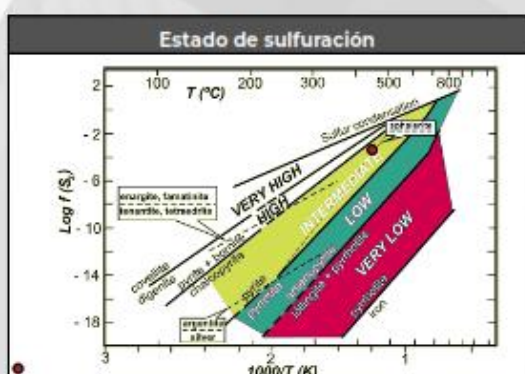
MICROFOTOGRAFÍAS



Descripción: Cristales de pirita, calcopirita y galena. Se aprecia a la galena con hoyos triangulares típicos del cristal.



Descripción: Cristal de calcopirita, se observa como ha cristalizado en las vesículas cristales de pirita. Se presenta pirita cúbica.



Resumen

En base a la muestra de mano se determinó que se trata de una brecha hidrotermal. Debido a la presencia de carbonatos se evidencia un sistema epitermal de baja temperatura y junto a la paragénesis mineral de sulfuros (pirita, arsenopirita e ilmenita) se sugiere que se trata de un depósito epitermal de baja sulfuración.



Firmas de elaboración



BRYAN STALIN
PILATASIG GUAMAN

Elaborado por:
Bryan Stalin Pilatasig Guamán
INGENIERO GEOLOGO
Especialista de Laboratorio de Ensayos

Anexo 2. Ensayo del Peso Específico, Porosidad y PH. Laboratorio de Geología y Minas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, de la Universidad Nacional de Loja.



Técnico: Ing. Fernando Cuenca
Solicitante: Ing Marco Vallejo

Fecha: 21/04/2023

COD (Muestra)	Peso Especifico			Peso Especifico
	W. agregado	W. recip. Lleno H2O	W. agre.+ H2O	
8 -- 01	30	147.21	166.07	2.693
8 -- 02	30	147.52	168.23	3.229
8 -- 03	31.67	147.21	168.04	2.922
8 -- 04	30	147.52	166.47	2.715

Observaciones: Ensayo realizado por el método del picnómetro.

COD	Peso aparente			W. aparente
	W. saturado	W. sumergido	W. seco	
8 -- 01	108.31	68.158	105.9	2.632
8 -- 02	177.155	118.895	176.659	3.026
8 -- 03	107.055	68.602	106.94	2.775
8 -- 04	140.739	87.25	140.263	2.617

Porosidad	
COD	Porosidad
8 -- 01	2.258
8 -- 02	6.289
8 -- 03	5.000
8 -- 04	3.606

pH	
COD	pH
8 -- 01	7.62
8 -- 02	7.65
8 -- 03	7.68
8 -- 04	8.3

Anexo 3. Ensayos de Difracción de rayos x - DRX LABFIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador UCE



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)**

**LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS**

Cliente :	Ing. Marco Vallejo	Número de Informe:	23-008
Dirección:	Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos	Fecha de Informe:	06-04-23
Teléfono:	0566673558	Recop. Laboratorio:	23-03-23
Atención:	Ing. Marco Vallejo	Nº de muestras entregadas:	4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		ROCA: 0113850			
Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
Quartz	SiO ₂	39.4%	DRX	25-03-23	05-04-23
Illite	Al ₂ H ₂ KO ₂ Si ₄	51.4%			
Wollastonite	Ca ₃ Mn ₂ O ₇ Si	5.9%			
Caliche	CaCO ₃	3.1%			
Galena	PbS	0.2%			

Identificación de la muestra:		ROCA: 0113852			
Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
Quartz	SiO ₂	91.8%	DRX	25-03-23	05-04-23
Chalcopyrite	Cu ₂ S	2.2%			
Bismutite	H ₂ K ₂ Mn ₂ O ₇ Si ₂	1.7%			
Stannite	Cu ₂ Fe ₂ S ₃ SnZn ₃	1.4%			
Sylvanite	Ag ₂ AuFe ₂	0.7%			
Pyrite	As ₈ Fe ₁₂ S ₁₂	2.0%			

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación de cliente.
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.
Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leizaola y Av. La Gasca- Casilla 872A - Teléf: 2566-726 /2559-588 / 3215-005
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)

LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Ing. Marco Vallejo
Dirección: Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos
Teléfono: 0986673558
Atención: Ing. Marco Vallejo
Número de informe: 23-008
Fecha de informe: 06-04-23
Recep. Laboratorio: 23-03-23
Nº de muestras entregadas: 4 rocas


1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:		ROCA: 0113854			
Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
Quartz	SiO ₂	91.6%	DRX	25-03-23	05-04-23
Pyrite	As _{1,002} FeS _{1,076}	7.4%			
Chalcopyrite	CuFeS ₂	1.0%			

Identificación de la muestra:		ROCA: 0113856			
Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Porcentaje	Método Aplicado	Fechas de ensayo	
				Inicial	Final
Quartz	SiO ₂	86.4%	DRX	25-03-23	05-04-23
Calcite	CaCO ₃	12.9%			
Cobre Oro	Au ₂ Cu	0.7%			

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.
Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM


Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)

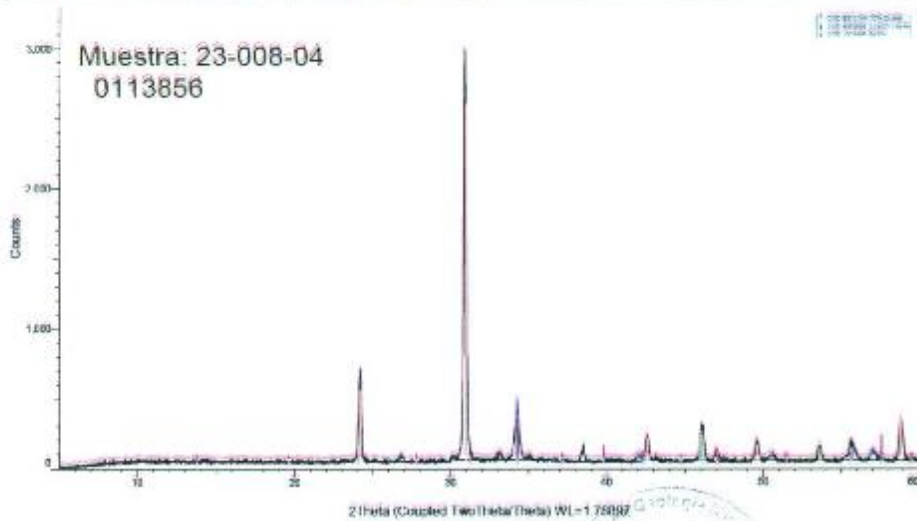
LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente:	Ing. Marco Vallejo	Número de Informe:	23-008
Dirección:	Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos	Fecha de informe:	06-04-23
Teléfono:	0986673558	Recep. Laboratorio:	23-03-23
Atención:	Ing. Marco Vallejo	Nº de muestras entregadas:	4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:	ROCA: 0113856
-------------------------------	---------------

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telés: 2566-726 /2350-588 / 3215-005
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)

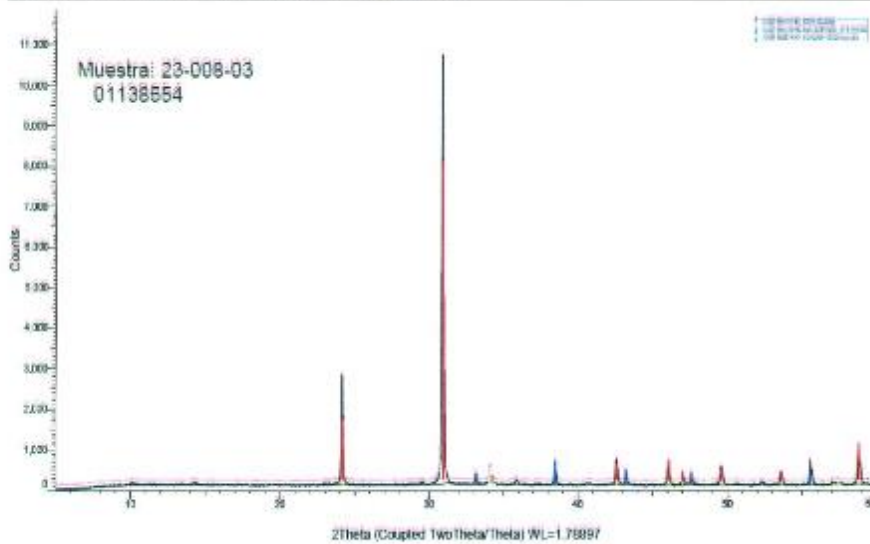
LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente:	Ing. Marco Vallejo	Número de Informe:	23-008
Dirección:	Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos	Fecha de Informe:	06-04-23
Teléfono:	0986673558	Recp. Laboratorio:	23-03-23
Atención:	Ing. Marco Vallejo	Nº de muestras entregadas:	4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:	ROCA: 0113854
-------------------------------	---------------

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.
Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telfs: 2566-726 /2558-588 / 3215-005
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)

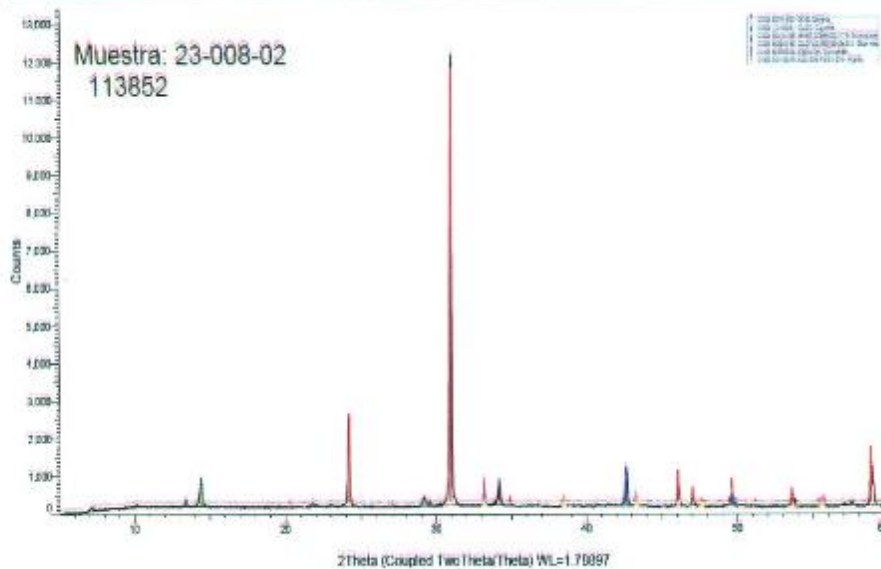
LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

Cliente:	Ing. Marco Vallejo	Número de Informe:	23-008
Dirección:	Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos	Fecha de Informe:	06-04-23
Teléfono:	0986673558	Recep. Laboratorio:	23-03-23
Atención:	Ing. Marco Vallejo	Nº de muestras entregadas:	4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:	ROCA: 0113852
-------------------------------	---------------

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



2
Nota: Nos responsabilizamos por este informe de los análisis de las muestras que ingresan a este laboratorio.
Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM


Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA

Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telfs: 2566-726 /2550-588 / 3215-005
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
(FIGEMPA)

LABFIGEMPA
INFORME DE RESULTADOS

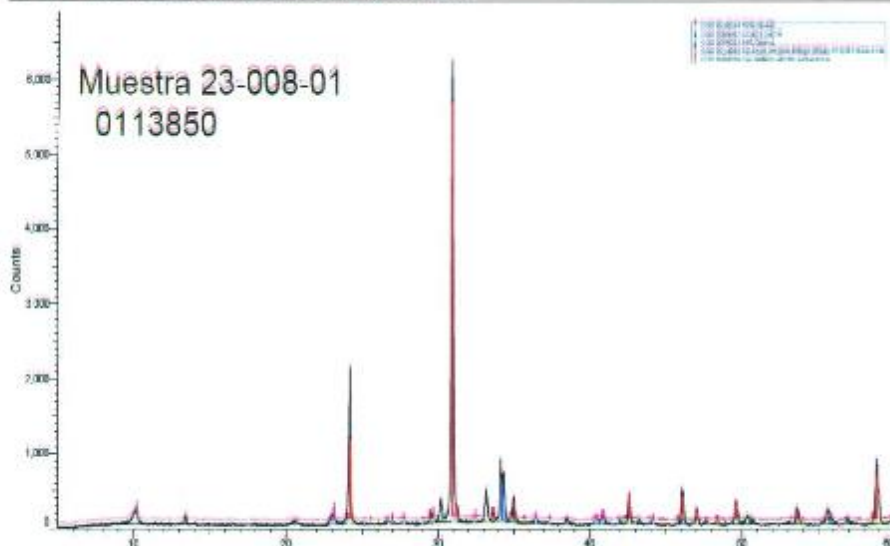
Cliente:	Ing. Marco Vallejo	Número de Informe:	23-008
Dirección:	Calle Valladolid y Montufar- Parroquia Malacatos	Fecha de informe:	06-04-23
Teléfono:	0586673558	Recep. Laboratorio:	23-03-23
Atención:	Ing. Marco Vallejo	Nº de muestras entregadas:	4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:

ROCA: 0113850

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la Instrucción. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ
Director encargado LABFIGEMPA




Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telfs. 2566-726 /2550-588 / 3215-005
Quito - Ecuador

Anexo 4. Resumen (Abstract) del trabajo de titulación “PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO.



UNIDAD EDUCATIVA
EMILIANO ORTEGA ESPINOZA
Técnica - Ciencia - Trabajo

Código AME: 11H01466 
Dirección: 18 de Agosto y Olmedo Esq.
Catastray - Loja - Ecuador 
Teléfono: 07 257 7848 

Loja, 21 de Julio de 2023

Lic. Melva María Paucar Chamba. Mgs.
DOCENTE DE IDIOMA INGLÉS DE LA UNIDAD EDUCATIVA EMILIANO
ORTEGA ESPINOZA.

CERTIFICA QUE:

El documento del apartado **resumen (Abstract)** del trabajo de titulación “PETROGRAFÍA DE LAS VETAS DE LA MINA CASA NEGRA PARA DEFINIR EL PROCESO DE CONMINUCIÓN, EMPRESA MINESADCO S.A., PROVINCIA EL ORO”, autoría del Ing. Marco Vinicio Vallejo Rodríguez, con número de cédula: 1104172299, de la facultad de la Energía, las Industrias, y los Recursos naturales no renovables, **es fiel traducción del idioma español al idioma inglés.**

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Atentamente:



Melva María Paucar Chamba
MASTER EN ENSEÑANZA DE IDIOMA INGLÉS.
1103992317
7241191889 rs

