



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica**

**Evaluación del carboximetil celulosa (CMC) en el  
proceso de flotación de un mineral aurífero polimetálico  
con contenido de carbón para mejorar el grado de  
concentrado, en la provincia de Azuay- Ecuador**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

**AUTOR**

Joel GIL MEDINA

**ASESOR**

Dr. Vidal Sixto ARAMBURÚ ROJAS

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Gil, J. (2023). *Evaluación del carboximetil celulosa (CMC) en el proceso de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón para mejorar el grado de concentrado, en la provincia de Azuay- Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Joel Gil Medina
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47144895
URL de ORCID	<b>NO APLICA</b>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Vidal Sixto Aramburú Rojas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08608364
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7411-3866">https://orcid.org/0000-0001-7411-3866</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Manuel Prudencio Caballero Rios
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09136425
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Daniel Florencio Lovera Dávila
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06450640
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Luis Américo Rivera del Valle
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10647742
<b>Datos de investigación</b>	

Línea de investigación	NO APLICA
Grupo de investigación	NO APLICA
Agencia de financiamiento	SIN FINANCIAMIENTO
Ubicación geográfica de la investigación	País: Ecuador Provincia: Azuay Cantón: Camilo Ponce Enríquez Sitio: La López Latitud: -3.08500 Longitud: -79.70839
Año o rango de años en que se realizó la investigación	DICIEMBRE 2022 – OCTUBRE 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de procesos <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02</a>  <b>Minería, Procesamiento de minerales</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
Universidad del Perú - Decana de América  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALÚRGICO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 06, del mes de Diciembre del 2023 siendo las 18:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Ing. MANUEL PRUDENCIO, Caballero Rios	(PRESIDENTE)
Dr. DANIEL FLORENCIO, Lovera Dávila	(MIEMBRO)
Mg. LUIS AMÉRICO, Rivera del Valle	(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS Titulada: «EVALUACIÓN DEL CARBOXIMETIL CELULOSA (CMC) EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN DE UN MINERAL AURÍFERO POLIMETÁLICO CON CONTENIDO DE CARBÓN PARA MEJORAR EL GRADO DE CONCENTRADO, EN LA PROVINCIA DE AZUAY-ECUADOR» presentada por Don: JOEL GIL MEDINA, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO.**

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....SATISFACCIÓN.....

Concluida la Sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....Dieciseis (16).....

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Joel Gil Medina.**

Siendo las 19:10 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Lima, 06 de diciembre de 2023

  
Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RIOS  
Presidente

  
Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DAVILA  
Miembro

  
Mg. LUIS AMÉRICO RIVERA DEL VALLE  
Miembro

  
Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS  
ASESOR DE TESIS



### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es EVALUACIÓN DEL CARBOXIMETIL CELULOSA (CMC) EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN DE UN MINERAL AURÍFERO POLIMETÁLICO CON CONTENIDO DE CARBÓN PARA MEJORAR EL GRADO DE CONCENTRADO, EN LA PROVINCIA DE AZUAY-ECUADOR, presentado por el bachiller **JOEL GIL MEDINA** para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **9%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor \_\_\_\_\_

DNI: 08608364

Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS



## **DEDICATORIA**

La presente tesis es dedicada a mis padres Ynes Medina y César Gil; a mis hermanos Dilmer, Edilson, Marisela e Irvin quienes me dieron su apoyo incondicional en toda mi preparación universitaria y me incentivaron a seguir creciendo como persona y profesional enseñándome siempre el camino de la superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A por todo el apoyo brindado durante la realización de la presente tesis y por haberme dado la oportunidad para seguir creciendo profesionalmente.

A mi querida Universidad Nacional Mayor de San Marcos por albergarme en sus aulas y a todos mis profesores que me inculcaron todos los conocimientos en base a su experiencia profesional.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
NOMENCLATURA .....	xv
CAPÍTULO I .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. <i>Introducción</i> .....	1
1.1.1. Breve descripción de la planta de beneficio SOMILOR S.A. ....	2
1.2. <i>Planteamiento del problema</i> .....	3
1.2.1. Descripción del problema .....	3
1.2.2. Formulación del problema .....	4
1.3. <i>Objetivos de la investigación</i> .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
1.4. <i>Importancia y alcance de la investigación</i> .....	5
1.5. <i>Limitaciones de la investigación</i> .....	6
CAPÍTULO II .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. <i>Antecedentes de la investigación</i> .....	7
2.2. <i>Bases teóricas</i> .....	12
2.2.1. Ocurrencia del oro en la naturaleza .....	12
2.2.2. Procesos metalúrgicos del oro y sus minerales .....	16
2.2.3. Parámetros de la flotación .....	20
2.2.4. Respuesta del oro y sus minerales al proceso de flotación .....	21

2.2.5. Evaluación del proceso de flotación.....	22
2.2.6. Reactivos usados en la flotación de minerales auríferos.....	23
2.2.7. La celulosa y sus derivados.....	28
2.2.8. El carboximetil celulosa (CMC) y sus principales usos.....	30
2.2.9. Carboximetil celulosa (CMC) en proceso de flotación de minerales.....	30
2.2.10. Depresores que afectan en la flotación de oro.....	33
2.3. Definición de términos.....	35
CAPÍTULO III.....	37
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	37
3.1. Hipótesis.....	37
3.1.1. Hipótesis general.....	37
3.1.2. Hipótesis específicas.....	37
3.2. Las variables.....	37
3.2.1. Variables dependientes.....	37
3.2.2. Variables independientes.....	37
3.2.3. Variables independientes constantes.....	38
3.3. Operacionalización de variables.....	38
CAPÍTULO IV.....	40
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
4.1. Área de estudio.....	40
4.1.1. Ubicación geográfica de la planta de la empresa SOMILOR S. A.....	40
4.1.2. Breve descripción del proceso del mineral investigado.....	40
4.2. Diseño de investigación.....	46
4.3. Población y muestra.....	46
4.4. Metodología, técnicas e instrumentos de recolección.....	46
4.4.1. Toma de muestra.....	47

4.4.2. Caracterización fisicoquímica del mineral. ....	48
4.4.3. Análisis químico de muestra de cabeza. ....	48
4.4.4. Análisis por difracción de rayos X (XRD) a muestra de cabeza. ....	49
4.4.5. Análisis granulométrico de la muestra de cabeza. ....	50
4.4.6. Análisis mineralógico y grado de liberación por fracción de malla. ....	53
4.4.7. Pruebas de flotación. ....	53
4.4.8. Reactivos usados en la flotación y su preparación. ....	56
4.5. <i>Variables y matriz de diseño experimental</i> .....	57
4.6. <i>Análisis estadístico</i> .....	58
CAPITULO V .....	59
5. RESULTADOS .....	59
5.1. <i>Análisis mineralógico y grado de liberación por fracción de malla</i> .....	59
5.1.1. Análisis mineralógico en la fracción +100 malla. ....	60
5.1.2. Análisis mineralógico en la fracción +150 malla. ....	62
5.1.3. Análisis mineralógico en la fracción +200 malla. ....	65
5.1.4. Análisis mineralógico en fracción +325 malla. ....	68
5.1.5. Análisis mineralógico en la fracción -325 malla. ....	71
5.2. <i>Resultados de las pruebas de flotación</i> .....	74
5.3. <i>Análisis de resultados de las pruebas de flotación</i> .....	75
5.3.1. Análisis de efectos. ....	75
5.3.2. Diagrama de Pareto, gráficas de contorno y efectos. ....	77
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	87
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
7.1. <i>Conclusiones</i> .....	89
7.2. <i>Recomendaciones</i> .....	90
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91

9. ANEXO.....	94
9.1. <i>Matriz de consistencia</i> .....	94
9.2. <i>Resultados de pruebas de flotación</i> .....	95
9.3. <i>Reporte de laboratorio externo</i> .....	107
9.4. <i>Fotografías de planta de procesos</i> .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Minerales y aleaciones naturales de oro.</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Gravedad específica de los minerales de oro.</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Minerales de oro: Composición, contenido de oro y propiedades de flotación.</i> .....	22
<b>Tabla 4</b> <i>Fórmulas química de los principales colectores para minerales sulfurados</i> .....	24
<b>Tabla 5</b> <i>Lista de polímeros orgánicos representativos de los cuatro principales grupos</i> .....	28
<b>Tabla 6</b> <i>Clases más comunes de derivados de celulosa (CD)</i> .....	29
<b>Tabla 7</b> <i>Reactivos depresores utilizados en la flotación (aparte de la modificación del pH)</i> .....	35
<b>Tabla 8</b> <i>VARIABLES de la investigación.</i> .....	38
<b>Tabla 9</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	39
<b>Tabla 10</b> <i>Propiedades fisicoquímicas del mineral aurífero polimetálico</i> .....	48
<b>Tabla 11</b> <i>Ensayo de elementos en muestra de cabeza.</i> .....	49
<b>Tabla 12</b> <i>Composición mineralógica de la muestra de cabeza identificado por difracción de rayos X</i> .....	49
<b>Tabla 13</b> <i>Resultado del análisis granulométrico de muestra de cabeza</i> .....	51
<b>Tabla 14</b> <i>Resultado del análisis de oro por malla de muestra de cabeza</i> .....	52
<b>Tabla 15</b> <i>Condiciones operativas de las pruebas de flotación.</i> .....	56
<b>Tabla 16</b> <i>Reactivos colectores y espumante usados en las pruebas de flotación</i> .....	57
<b>Tabla 17</b> <i>Dosificación, etapas de adición de reactivos y tiempo de cada etapa de flotación</i> .....	57
<b>Tabla 18</b> <i>Diseño factorial con tres variables y dos niveles</i> .....	58
<b>Tabla 19</b> <i>Matriz de diseño factorial para las pruebas de flotación</i> .....	58
<b>Tabla 20</b> <i>Minerales encontrados en muestra de cabeza mediante microscopía óptica</i> .....	59
<b>Tabla 21</b> <i>Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +100malla</i> .....	60
<b>Tabla 22</b> <i>Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +150malla</i> .....	63

<b>Tabla 23</b> Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +200malla .....	66
<b>Tabla 24</b> Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +325malla .....	69
<b>Tabla 25</b> Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño -325malla .....	72
<b>Tabla 26</b> Resultados de las pruebas de flotación consideradas en el diseño.....	74
<b>Tabla 27</b> Resultados del contenido de carbón en los concentrados.....	75
<b>Tabla 28</b> Efectos y coeficientes codificados para el grado de concentrado.....	76
<b>Tabla 29</b> Resumen del modelo .....	76
<b>Tabla 30</b> Análisis de varianza en el grado de concentrado .....	77
<b>Tabla 31</b> Resultados de la recuperación de oro en la etapa rougher de la flotación .....	86
<b>Tabla 32</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación estándar sin CMC .....	95
<b>Tabla 33</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-01 .....	96
<b>Tabla 34</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-02 .....	97
<b>Tabla 35</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-03 .....	98
<b>Tabla 36</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-04 .....	99
<b>Tabla 37</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-05 .....	100
<b>Tabla 38</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-06 .....	101
<b>Tabla 39</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-07 .....	102
<b>Tabla 40</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-08 .....	103
<b>Tabla 41</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-09 .....	104
<b>Tabla 42</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-10 .....	105
<b>Tabla 43</b> Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-11 .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Gráfica de oro versus arsénico en pirita. Oro en solución sólida (o) y oro en tamaño coloidal (●) .....</i>	15
<b>Figura 2</b> <i>Principios de flotación por espumas .....</i>	20
<b>Figura 3</b> <i>Clasificación de reactivos espumantes.....</i>	25
<b>Figura 4</b> <i>Estructura del carboximetil celulosa (unidad repetitiva de la glucosa) .....</i>	33
<b>Figura 5</b> <i>Ubicación de la planta de beneficio SOMILOR S.A. ....</i>	41
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de flujo de procesamiento del mineral aurífero polimetálico. Alternativa flotación y venta de concentrado.....</i>	45
<b>Figura 7</b> <i>Procedimiento de la investigación .....</i>	47
<b>Figura 8</b> <i>Difractograma del análisis en muestra de cabeza .....</i>	50
<b>Figura 9</b> <i>Tamices y equipo Ro-Tap utilizados para el análisis granulométrico.....</i>	51
<b>Figura 10</b> <i>Distribución de oro por cada fracción de tamaño en muestra de cabeza .....</i>	52
<b>Figura 11</b> <i>Materiales utilizados en la elaboración de briquetas para el análisis mineralógico ...</i>	53
<b>Figura 12</b> <i>Equipos utilizados para las pruebas de flotación .....</i>	55
<b>Figura 13</b> <i>Esquema usado para las pruebas de flotación de un mineral polimetálico de oro usando CMC.....</i>	55
<b>Figura 14</b> <i>Muestra y preparación de carboximetil celulosa (CMC) utilizado para las pruebas de flotación .....</i>	56
<b>Figura 15</b> <i>Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +100 malla .....</i>	61
<b>Figura 16</b> <i>Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +100 malla .....</i>	61
<b>Figura 17</b> <i>Fotomicrografías de la fracción +100 malla .....</i>	62
<b>Figura 18</b> <i>Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +150 malla .....</i>	64

<b>Figura 19</b> Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +150 malla .....	64
<b>Figura 20</b> Fotomicrografía de la fracción +150 malla .....	65
<b>Figura 21</b> Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +200 malla .....	67
<b>Figura 22</b> Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +200 malla .....	67
<b>Figura 23</b> Fotomicrografía de la fracción +200 malla .....	68
<b>Figura 24</b> Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +325 malla .....	70
<b>Figura 25</b> Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +325 malla .....	70
<b>Figura 26</b> Fotomicrografía de la fracción +325 malla .....	71
<b>Figura 27</b> Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño -325 malla .....	72
<b>Figura 28</b> Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño -325 malla .....	73
<b>Figura 29</b> Fotomicrografía de la fracción -325 malla .....	73
<b>Figura 30</b> Diagrama de Pareto de efectos estandarizado .....	78
<b>Figura 31</b> Gráfica de contorno para las variables de mayor significancia sobre el grado de concentrado (Au-g/TM) .....	79
<b>Figura 32</b> Gráfica de efectos de las variables independientes sobre el grado de concentrado .....	80
<b>Figura 33</b> Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes sobre el grado de concentrado .....	81
<b>Figura 34</b> Gráfica de efectos principales de las variables independientes sobre el porcentaje de carbón total (%C-Total) en el concentrado .....	82

<b>Figura 35</b> <i>Gráfica de efectos de la interacción de las independientes variables en el contenido de carbón total(%C-Total) en el concentrado</i> .....	83
<b>Figura 36</b> <i>Gráfica de contorno para las variables de mayor significancia sobre el porcentaje de carbón grafitico (%C-Graf.)</i> .....	84
<b>Figura 37</b> <i>Gráfica de efectos principales de las variables independientes en el contenido de carbón grafitico (%C-Graf) en el concentrado</i> .....	85
<b>Figura 38</b> <i>Gráfica del efecto de la interacción de variables independientes sobre el contenido de carbón grafitico(%C-Graf) en el concentrado</i> .....	85
<b>Figura 39</b> <i>Gráfica de contorno de la recuperación de oro en la etapa rougher (%Rec. Au)</i> .....	79
<b>Figura 40</b> <i>Resultados de análisis de carbón en muestra de concentrados de flotación</i> .....	107
<b>Figura 41</b> <i>Resultados de análisis ICP de muestra de cabeza</i> .....	109
<b>Figura 42</b> <i>Resultados de análisis XDR a muestra de cabeza</i> .....	110
<b>Figura 43</b> <i>Área de almacenamiento de gruesos, clasificación y trituración en planta de beneficio</i> .....	111
<b>Figura 44</b> <i>Molino de arrastre (“chileno”) del área de molienda y concentración gravimétrica en bayetas</i> .....	112
<b>Figura 45</b> <i>Circuito del proceso de flotación en planta</i> .....	113
<b>Figura 46</b> <i>Imagen comparativa de la espuma de dos pruebas de flotación</i> .....	114

## RESUMEN

La investigación de tesis se realizó con mineral polimetálico de oro con contenido de carbón que se procesa en la planta de beneficio de la empresa Sociedad Minera Liga de Oro - SOMILOR S.A., localizada en la provincia de Azuay, cantón de Camilo Ponce Enríquez - Ecuador. La muestra corresponde al relave del proceso gravimétrico que posee una ley de cabeza 1.96 g/TM de oro. En la planta de beneficio se usa el proceso de flotación de los relaves gravimétricos, donde se obtiene concentrados de baja ley de oro, puesto que el carbón es desplazado al concentrado. Con el propósito de mejorar el grado de concentrado se realizó un estudio mineralógico y metalúrgico de dicho mineral, evaluando principalmente la influencia de carboximetil celulosa (CMC) en la flotación.

Con el análisis mineralógico realizado a cada fracción de tamaño de la muestra de cabeza y aplicando la microscopía óptica, se identificó entre los principales minerales metálicos a la pirita, pirrotina y arsenopirita; al grafito como especie mineralógica del carbón, esto se corroboró con el análisis por difracción de rayos X (XRD) realizado a la muestra de cabeza, donde se determinó que el grafito está en un 1.0%.

Los resultados de las pruebas de flotación realizadas, de acuerdo al diseño experimental factorial  $2^k$  planteado, arrojan que el uso de carboximetil celulosa (CMC) influye de manera positiva sobre el incremento del grado del concentrado de flotación. Inicialmente; el grado del concentrado fue de 8.25 g/TM de oro sin la dosificación de CMC; mientras que con una dosificación de 1000 g/TM de CMC, pH de 8.0 y tiempo de acondicionamiento de CMC de 2 minutos, se obtuvo un resultado mejorado de 18.85 g/TM de oro.

**Palabras Clave:** Mineral de oro; Microscopía; Grado de concentrado; Carboximetil celulosa (CMC).

## ABSTRACT

The thesis research was carried out based on the polymetallic gold mineral with a carbon content that is processed in the profit plant “Sociedad Minera Liga de Oro - SOMILOR S.A.”, located in Azuay province, Camilo Ponce Enríquez - Ecuador. The sample corresponds to the tailings from the gravimetric process that has a head grade of 1.96 g/MT of gold. In the profit plant, the gravimetric tailings flotation process is used, where low gold grade concentrates are obtained since the coal is displaced to the concentrate. In order to improve the grade of concentrate, a mineralogical and metallurgical study of said mineral was carried out, mainly evaluating the influence of carboxymethyl cellulose (CMC) on flotation.

Through mineralogical analysis carried out on each size fraction of the main sample, applying optical microscopy, pyrite, and pyrrhotite were identified among the main metallic minerals and arsenopyrite; and graphite as a mineralogical species of coal, this was corroborated with the X-ray diffraction (XRD) analysis carried out on the main sample, where it was determined that graphite is at 1.0%.

As result of the flotation tests carried out, according to the proposed 2k factorial experimental design, it shows that the use of carboxymethyl cellulose (CMC) positively influences the increase in the degree of the flotation concentrate. Originally, the grade of the concentrate was 8.25 g/MT of gold without the CMC dosage; while with a dosage of 1000 g/TM of CMC, pH of 8.0, and CMC conditioning time of 2 minutes, improved result of 18.85 g/TM of gold was obtained.

Keywords: Gold mineral; Microscopy; Concentrate grade; Carboxymethyl cellulose (CMC).

**NOMENCLATURA**

"	Pulgada
%	Porcentaje
%C-Total	Porcentaje de carbón total
%C-Graf	Porcentaje de carbón grafitico
°	Grados
A	Amperio
atm	Atmósfera
CD	Derivados de celulosa
CMC	Carboximetil celulosa
EMS	Microscopía electrónica de barrido
g	Gramos
g/l	Gramos por litro
g/TM	Gramos por tonelada métrica
Km	Kilómetro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos por hora
min	Minutos
ml	Mililitros
NE	Nor-Este
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
RPM	Revoluciones por minuto
SE	Sur-Este
SO	Sur-Oeste
TM	Tonelada métrica
TMS	Toneladas métricas secas
TMSD	Toneladas métricas secas día.
um	Micras
XRD	Difracción de rayos X

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Introducción

La flotación de minerales auríferos sulfurados es una práctica muy frecuente en las plantas de beneficio de la pequeña minería en el cantón Camilo Ponce Enríquez- Provincia de Azuay- Ecuador. En dichas plantas metalúrgicas se procesan minerales de oro polimetálicos con contenidos de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), pirrotina ( $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$  ( $X=0 - 0.17$ )), arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), galena ( $\text{PbS}$ ) y esfalerita ( $\text{ZnS}$ ); donde el oro se encuentra asociado con estos minerales. La recuperación del oro, como metal de mayor importancia económica, se realiza a través de una combinación de distintitos procesos como gravimetría, flotación y cianuración. Generalmente, los concentrados de flotación son derivados al proceso de cianuración, pero cuando la recuperación de oro estimada por este método es muy baja, estos concentrados se venden empresas exportadoras; siempre y cuando se cumplen algunos requisitos como la ley de mínima de oro requerida por los compradores.

El presente trabajo de investigación consiste en evaluar el carboximetil celulosa (CMC) para mejorar el grado concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón. El mineral a estudiar proviene de la provincia de El Oro y se procesa en la planta de beneficio de la compañía Sociedad de Minería Liga de Oro S.A (SOMILOR S.A) ubicado en cantón Camilo Ponce Enríquez - Azuay - Ecuador. La muestra corresponde al relave gravimétrico tomada en la planta de beneficio. La mayor parte del trabajo de investigación, principalmente las pruebas metalúrgicas de flotación, se realizaron en el laboratorio metalúrgico de la empresa SOMILOR S.A. Para complementar el estudio de investigación fue necesario realizar análisis adicionales por difracción de rayos X (XRD) que se llevó a cabo en un laboratorio externos a la empresa.

En primer lugar, el trabajo consistió en caracterizar la muestra de mineral de cabeza por medio de microscopía óptica para un análisis mineralógico, determinar el grado de liberación y su asociación entre especies de minerales; además, un estudio de difracción de rayos X (XRD) que permitió identificar las especies mineralógicas principales, gangas no metálicas y el tipo de carbón presente en dicha muestra.

En segundo lugar, se procedió a realizar las pruebas metalúrgicas de flotación, teniendo como variables la dosificación del carboximetil celulosa (CMC), tiempo de acondicionamiento del CMC y el potencial de hidrógeno (pH). Una vez obtenido los resultados, se realizó un análisis de la influencia de las variables sobre el grado de concentrado utilizando el software Minitab 19.

Existen estudios, donde se ha investigado al carboximetil celulosa (CMC) como reactivo depresor en los ensayos de flotación de minerales, actuando como inhibidor de hidrofobicidad de algunas especies y como dispersante de la pulpa. También se evaluaron las condiciones de flotación en las que el carboximetil celulosa es más eficaz. La mayoría de investigaciones y aplicaciones se llevaron a cabo con minerales de cobre, minerales de cobre-plomo, minerales de estaño; y no tanto en minerales relacionados al oro como es el caso de nuestro estudio.

**1.1.1. Breve descripción de la planta de beneficio SOMILOR S.A.** La organización empresarial Sociedad de Minería Liga de Oro – SOMILOR S.A es una compañía que se dedica a la extracción y al procesamiento de minerales polimetálicos de oro, y cuenta con una planta de beneficio con capacidad para procesar de 740TMSD en sus diferentes circuitos. La planta posee dos circuitos plenamente definidos, el primero con tres molinos de bolas, área de flotación y área de cianuración CIL. El segundo circuito está conformado por doce molinos de arrastre o “molinos chilenos” con una capacidad media de procesamiento de 20 TMSD cada uno, donde se procesa distintos minerales, dentro de los cuales se encuentra el mineral de nuestra investigación. El circuito de procesamiento mediante “molinos chilenos” incluye etapas como la gravimetría,

espesamiento de relaves gravimétricos, flotación de relaves gravimétricos y cianuración de concentrados de flotación.

## **1.2. Planteamiento del problema**

**1.2.1. Descripción del problema.** En el procesamiento de minerales auríferos, los métodos gravimétricos no son suficientes para la recuperación eficiente, esto impulsa a realizar procesos adicionales para incrementar la recuperación del del oro. Teniendo una planta establecida, se debe aprovechar dicha infraestructura para el beneficio de los minerales que procesan, considerando: La variabilidad en las características de los minerales y su respuesta a procesos metalúrgicos de flotación y/o cianuración cuando sea el caso.

La flotación de los minerales auríferos, luego de un proceso gravimétrico, ayuda a mejorar la recuperación global de oro, pero; cuando se trata de minerales complejos, requiere de una evaluación más minuciosa en el uso de reactivos de la flotación y otras variables que nos permita tener un mejor desempeño metalúrgico de dicho proceso. El proceso de flotación, principalmente en minerales auríferos, se ve muy influenciado por la composición mineralógica, asociación del oro con otros minerales y las gangas que acompañan a dicho mineral.

En este caso de estudio, nos encontramos con un mineral aurífero polimetálico con presencia de carbón. Debido a la hidrofobicidad natural, el carbón se desplaza al concentrado de flotación generando bajos ratios de concentración y un concentrado con una ley de oro menor a los 10 g/TM.

Las opciones para mejorar el grado del concentrado pueden ser muchas, por ejemplo, el uso de depresores inorgánicos como metabisulfito, sulfhidrato de sodio e incluso cianuro de sodio; sin embargo, estos reactivos pueden afectar recuperación de oro en el proceso, por lo que tomamos la alternativa de evaluar el uso de reactivos orgánicos como por ejemplo el carboximetil celulosa en base a información bibliográfica.

## 1.2.2. Formulación del problema

### ***Problema general***

- ¿De qué manera influye dosificación del carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH en la mejora del grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay - Ecuador?

### ***Problemas específicos***

- ¿Cómo la dosificación del carboximetil celulosa (CMC) ayuda a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?
- ¿Cómo el incremento del pH influye en el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?
- ¿De qué manera la interacción de la dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH ayuda a incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?

## 1.3. Objetivos de la investigación

### 1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la dosificación del carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH que permitan mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay - Ecuador.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar si la dosificación de carboximetil celulosa (CMC) ayuda a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.
- Establecer si el incremento del pH permite mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.
- Comprobar si la interacción entre dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH ayuda a incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.

### **1.4. Importancia y alcance de la investigación**

- Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de evaluar el carboximetil celulosa (CMC) en la flotación de un mineral polimetálico de oro con contenido de carbón, y determinar su influencia para incrementar el grado de concentrado.
- Se estableció el CMC, como alternativa a otros reactivos del tipo inorgánicos que afectan la recuperación de oro en la flotación.
- Dar a conocer el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH que permiten el incremento del grado de concentrado de flotación al procesar este el tipo de minerales.
- Conocer la importancia de la caracterización de un mineral aurífero polimetálico como parte de la evaluación y mejora de los procesos metalúrgicos.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

- Para realizar una investigación se requiere un análisis de los elementos químicos más importantes del concentrado cleaner, relave cleaner y relave final de todas las pruebas realizadas.
- No se realizó el análisis mineralógico de los concentrados de flotación para identificar las especies mineralógicas afectadas por la dosificación de carboximetil celulosa.
- En esta investigación es importante la microscopía electrónica de barrido (EMS) que permita determinar la forma de ocurrencia del oro en el mineral.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Asamoah et al. (2021), en una investigación *“Refractory gold ores and concentrates part 1: mineralogical and physico-chemical characteristics”* estudió la mineralogía de dos tipos de minerales auríferos de un mismo yacimiento para determinar su efecto en la recuperación y cómo influyen en el proceso seleccionado. En este caso realizaron exámenes mineralógicos y fisicoquímicos completos de dos minerales refractarios de la provincia de oro de Ghana. En el estudio determinaron que ambos minerales contenían similar composición de minerales y gangas, pero la flotación de los minerales molidos produjo concentrados con diferencias notables. Si bien, ambos contenían principalmente sulfuros y silicatos, la apatita estaba presente en un concentrado de flotación y dolomita en el otro. En la biooxidación del concentrado de flotación previo a la cianuración para recuperación de oro, que era parte de la investigación, el concentrado de flotación que contenía dolomita produjo producto bio-oxidado libre de jarosita con un contenido de basanita más bajo pero un mayor efecto de yeso, carbono gráfico y efecto preg-robbing en comparación con el producto bio-oxidado que contiene jarosita.

Carhuachín (2021), en la investigación titulada *“Formulación de un proceso de flotación de minerales de mina Servilleta- Las Lomas Piura en laboratorio químico de la Universidad Nacional de Piura”*, tuvo objetivo general a la recuperación óptima de minerales portadores de metales preciosos por medio de concentración mediante la flotación llevada a cabo en el laboratorio. La metodología consistió en llevar a cabo una serie de pruebas sucesivas para realizar curvas de molienda y determinar la granulometría adecuada de la porción muestral investigada en los test de flotación. Adicional a la granulometría, fueron tomados en cuenta otros parámetros importantes en esta investigación, como pH en pulpa, colectores (específicamente los xantatos como Z6 y Z-11), espumante y velocidad de agitación en cada prueba. Todos estos

factores desempeñaron un papel crucial en el estudio. Como resultado, pudo concluir que la combinación de diferentes reactivos químicos como colectores, correctores y espumantes, ofrece óptimos resultados en concentrados. Al aumentar el contenido de sulfuros al 95% y reducir los óxidos al 5%, observó una disminución en la recuperación, e incluso perdió algunos de los minerales en forma de lamas. Esto se debió a la presencia de sulfuros en altos porcentajes que estuvieron en la porción muestral. En este caso, concluyó que será necesario reestructurar la combinación de químicos utilizados a fin de perfeccionar los resultados.

Swinkels et al. (2021), en su estudio titulado *“Comportamiento de oro y plata en minerales de sulfuro: un estudio de caso de Freiberg distrito epitermal Ag-Pb-Zn, Alemania”* abordaron la falta de datos de comportamiento de oro y plata en depósitos minerales y distritos específicos. Utilizaron una combinación de técnicas analíticas, como geoquímica a granel, ablación láser-plasma-masa acoplado inductivamente, análisis de microsonda electrónica y análisis de liberación mineral, en muestras ricas en oro y plata del distrito epitermal Freiberg Ag-Pb-Zn. Los resultados revelaron que el oro se encuentra principalmente en forma de electrum y asociado a la arsenopirita, mientras que la plata está alojada principalmente en sulfosales de plata (pirargirita, miargirita, polibasita) y fahlore (freibergita). Observaron una gran variabilidad en los comportamientos de oro y plata entre las muestras analizadas. Concluyeron que estas variaciones pueden estar relacionadas con las diferentes cantidades relativas de minerales presentes en cada muestra, lo cual a su vez refleja su posición espacio-temporal dentro del distrito. Las comparaciones realizadas con otros distritos epitermales Ag-Pb-Zn similares al de Freiberg indican que los resultados obtenidos en este estudio son de importancia general. Sugieren que la variabilidad en los comportamientos de oro y plata está influenciada por características geológicas y mineralógicas específicas de cada depósito.

Cusquipoma (2021), en la investigación titulada *“Influencia de los dispersantes en la recuperación de oro fino mediante flotación de mineral sulfurado de mina Cori Puno”*, tuvo como objetivo medir el efecto de algunos dispersantes a fin de liberar partículas del oro atrapados en

la ganga, con el fin de perfeccionar la recuperación del metal preciso en la etapa de flotación de un mineral aurífero sulfurado. La metodología de este estudio se centró en investigar el efecto de los dispersantes en gangas que rodean al mineral que porta al oro, con el objetivo de liberar partículas extremadamente finas y aumentar la recuperación del oro en la etapa de flotación del mineral de la minera Cori, en Puno. La población de estudio consistió en un mineral de ley baja obtenido de trabajos de explotación a cielo abierto de la unidad minera Untuca Cori Puno S.A.C, localizada en el departamento de Puno, en la sierra sur oriental del Perú. Para llevar a cabo el estudio, se utilizó una muestra de aproximadamente 60 kg de mineral de cabeza. Esta muestra fue sometida a un test de concentración gravimétrica en un concentrador centrifugo Falcon del laboratorio de metalurgia. El relave resultante de este proceso, que contenía las partículas más finas de oro y las gangas, se utilizó como alimentación para las pruebas de flotación. La granulometría de la muestra para la flotación se ajustó a un 75% pasante por la malla #200. Además, se realizó estudios mineralógicos utilizando microscopía óptica para analizar la composición de la muestra de cabeza de la flotación. Se identificaron diferentes minerales, siendo la pirrotina el mineral predominante, seguido de calcopirita, lollingita, galena, marcasita, rutilo, ilmenita, arsenopirita, piritita y goethita. Se detectó la presencia de oro nativo en inclusiones en la arsenopirita, con dimensiones por debajo de 3 micrones.

Lee et al. (2021) realizó una investigación titulada *“Flotación de Materia carbonosa de un mineral de oro doblemente refractario: El efecto del MIBC en el rendimiento y cinética de flotación”*, donde examinó el impacto de la cantidad de MIBC en el resultado de la flotación, utilizando 500 g/TM de queroseno como agente colector. Se describió y se analizó la función de MIBC en la flotación de materia carbonosa(C), tomando en cuenta el efecto del espumante en el tamaño de las burbujas y la durabilidad de la espuma. Dicha investigación determinó que existe una separación selectiva del carbón desde la pulpa para que la extracción de oro mediante lixiviación con tiosulfato se vea mejorada. El autor llega a una conclusión general en donde

sugiere la importancia de integrar el proceso de separación de materia carbonosa antes del tratamiento del mineral por medio de lixiviación.

López (2020), en su investigación que tituló *“Estudio y análisis de pruebas de flotación en minerales auríferos”*, se planteó como objetivo general evaluar la recuperación de los minerales auríferos mediante flotación aprovechando las propiedades de hidrofobicidad con la realización de pruebas experimentales. En este estudio, se utilizó un microscopio electrónico portátil para analizar una muestra de mineral de oro. Se prepararon probetas con secciones pulidas para determinar los constituyentes mineralógicos presentes en el mineral. El mineral utilizado en las pruebas fue proporcionado por la minería informal de Secocha de la provincia de Camaná, y se trató de un mineral de sulfuros que contenía oro libre. La caracterización del mineral reveló algunas propiedades físicas, como una humedad del 3.4% y densidades aparente y real de 2.72 g/ml y 2.56 g/ml, respectivamente. En cuanto a los resultados, se lograron recuperaciones de oro, hierro y otros metales en diferentes productos (concentrado, medios y colas) con sus respectivas leyes. Por ejemplo, en la flotación del mineral proveniente de Huaca-Camaná, se obtuvo una recuperación de oro en concentrado del 29% con una ley de 67 g/TM. Se construyó un balance de masa metalúrgico para comprender la relación entre la recuperación de oro y la separación de hierro. Se obtuvieron colas que contenían principalmente ganga y medios que representaban al mineral flotado durante el proceso de flotación primaria.

Wang et al. (2019) realizó su investigación titulada *“Mineralogía y pretratamiento de un depósito de oro refractario en Zambia”*. En el estudio utilizó diversas técnicas analíticas como espectroscopia fluorescente en rayos X (XRF), difracción de rayos x (XRD) y microscopio electrónico de barrido (SEM). Los resultados revelaron que el oro se encontraba ampliamente dispersado entre minerales como arsenopirita, pirita y varias gangas, electrum y oro al natural. La ley del oro en mineral fue de 15,96 g/TM y la distribución de la magnitud de partículas de oro era desigual de manera extrema. La gran parte de fragmentos de oro tenía tamaños por debajo de 10  $\mu\text{m}$  y las rodeaban otros minerales, lo cual dificultaba su liberación durante el proceso de

molienda. Dado que el yacimiento presentaba características de oro refractario, se empleó un proceso de beneficio combinado de gravedad y flotación para rescatar el oro liberado en forma gruesa y el fino oro asociado a sulfuros. Las experimentaciones en un ciclo cerrado arrojaron óptimos resultados. La ley y la recuperación del oro en concentrados obtenidos mediante separación por la gravedad fueron, respectivamente 91,24 g/TM y 57,58%. En los concentrados de flotación, la ley y la recuperación de oro fueron, respectivamente 49,44 g/TM y 33,36%. La recuperación global de oro fue de 90,94%. En conclusión, los ensayos para tratar de manera combinada entre gravedad y flotación resultó ser una técnica viable con el fin de beneficiar el mineral del oro refractario en este yacimiento en particular, asegurando una recuperación efectiva del oro.

Cobos (2018) realizó su tesis titulada "*Flotación Rougher de Mineral Complejo asociado a sulfuros polimetálicos*". Como objetivo principal fue determinar una mezcla de químicos reactivos idóneos para una flotación rougher que aporte de manera significativa en la recuperación para la mena aurífera polimetálica. La flotación rougher como etapa inicial de flotación en la que se procesa el material proveniente de la molienda y se enfocó en recuperar la mayor parte de los minerales valiosos. Los reactivos utilizados los clasificó en modificadores, espumantes, activadores y colectores. Estos últimos son orgánicos, reactivos que selectivamente hidrofobizan las partículas sólidas, aumentando el ángulo de contacto y permitiendo la adherencia de los sulfuros a las burbujas de flotación. Se dividen en no ionógenos (intervienen en modo molecular) e ionógenos (son desasociados en iones). La selección del espumante es importante para regular la espuma y mejorar la selectividad de la operación. El espumante ayudó a reducir la tensión superficial del agua, perfeccionar la interrelación dentro de las burbujas y en los fragmentos, y minimizar la unión de burbujas. Es crucial que el espumante no entre en conflicto con los colectores utilizados, ya que esto afectaría la selectividad de los colectores.

García y Socualaya (2018) en su tesis "*Influencia del carboximetil celulosa en la depresión del talco en el circuito cleaner bulk en Minera Chinalco Perú S.A. en el año 2016*" plasmaron

como objetivo disminuir el contenido de talco en concentrado Cleaner bulk, que influía en el grado de concentrado en la planta de flotación durante el año 2016. Con muestra de mineral de alteraciones tipo skarn con alto contenido de talco realizaron pruebas de flotación a pequeña escala. Como resultado de la investigación llegaron a la conclusión que el carboximetil celulosa tuvo una efectiva depresión de talco cuanto éste es mayor al 5% en cabeza, ayudando en una mejor limpieza de concentrado de cobre a través de una interacción física.

## **2.2. Bases teóricas**

**2.2.1. Ocurrencia del oro en la naturaleza.** En la naturaleza el oro se encuentra muy versátil y en forma de muchas especies minerales de acuerdo al proceso geológico que intervino en formación, lo que implica las distintas maneras de ocurrencia. La manera en que el oro ocurre en la naturaleza influye principalmente en la selección del método de procesamiento y cuan eficiente sea el proceso seleccionado. La composición de los minerales de oro determinará el proceso a seleccionar teniendo en cuenta la mayor recuperación y el costo beneficio del mismo.

***Minerales de oro y aleaciones.*** El oro es el metal más inerte; en consecuencia, no existen muchos compuestos de oro de origen natural, como se enumeran en la tabla 1. La ocurrencia predominante es como metal nativo frecuentemente aleado con plata. Cuando el contenido de plata supera el 20%, la aleación se llama electrum, un término no oficial pero universalmente aceptado (Adams, 2016).

**Tabla 1***Minerales y aleaciones naturales de oro.*

<b>Elementos nativos, Aleaciones y compuesto metálicos</b>	
Oro nativo (<20% Ag)	Au
Electrum (20-80% Ag)	(Au,Ag)
Oro paladiano (Porpezita)	(Au,Pd)
Rhoodita	(Au,Rh)
Oro iridico	(Au,Ir)
Oro Platinico	(Au,Pt)
Amalgama de oro	(Au,Ag)Hg
Weishanita	(Au,Ag) <sub>3</sub> Hg <sub>2</sub>
Maldonita	Au <sub>2</sub> Bi
Aurocuprita	Cu <sub>3</sub> Au
Tetra-aurocuprita	AuCu
Hunchinita	Au <sub>2</sub> Pb
Bogdanovita	Au <sub>5</sub> (Cu,Fe) <sub>3</sub> (Te,Pb) <sub>2</sub>
Mezsmertnovita	Au <sub>4</sub> Cu(Te,Pb)
<b>Sulfuros/Seleniuros</b>	
Uytembogaardtita	Ag <sub>3</sub> AuS <sub>2</sub>
Fischesserita	Ag <sub>3</sub> AuSe <sub>2</sub>
Petrovskaita	AuAg(S,Se)
<b>Teluros</b>	
Calaverita	AuTe <sub>2</sub>
Krenerita	(Au,Ag)Te <sub>2</sub>
Muthmanita	(Au,Ag)Te
Petzita	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>
Silvanita	(Au,Ag) <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>
Kostovita	CuAuTe <sub>4</sub>
Montbrayita	(AuSb) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
Nagyagita	[Pb(Pb,Sb)S <sub>2</sub> ][Au,Te]
<b>Silicatos/Otros</b>	
As clorita	(Mg,Al,Fe) <sub>12</sub> [(Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> ](OH) <sub>16</sub>
Auroantimonita	AuSbO <sub>3</sub>

*Fuente:* Adaptado de Gold ore processing: Volume 15: Project development and operations (2a ed.) (Adams, 2016).

El oro también se encuentra aleado con cobre, platino, bismuto, antimonio y telurio. Después del oro nativo y el electrum, los telurios son los minerales de oro más comunes, seguido por la auroestibina ( $\text{AuSb}_2$ ). La calaverita ( $\text{AuTe}_2$ ) y la Silvanita ( $(\text{Ag,Au})\text{Te}_2$ ) son los telurios más comunes, que comprenden una fracción significativa del ensayo de oro en varios depósitos (Adams, 2016).

**Oro en solución sólida.** Cuando el oro se distribuye a nivel atómico en la estructura cristalina de los minerales de sulfuro como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y la arsenopirita ( $\text{AsFeS}$ ), se dice que el oro está en solución sólida. El 1930 Burg usó el término de oro invisible; y fue la primera vez que se relacionó de manera indirecta al oro en solución sólida para describir el oro submicroscópico en una mina en Rumania (Adams, 2016).

El oro en solución sólida tiende a concentrarse preferentemente en la arsenopirita, con una concentración máxima reportada de 1,7% (w/w). En los cristales de arsenopirita más grandes ( $>50$   $\mu\text{m}$ ), por lo general se distribuye de manera no homogénea, concentrándose a lo largo de las bandas de crecimiento, lo que proporciona una evidencia indiscutible de la incorporación de oro en la estructura de la arsenopirita durante el crecimiento del cristal. Más importante aún, el oro en solución sólida generalmente está fuertemente enriquecido en sulfuros de grano más fino ( $<20$   $\mu\text{m}$ ) y, por lo tanto, es más difícil de liberar de la arsenopirita (Adams, 2016).

La correlación positiva entre las concentraciones de arsénico y oro en pirita se reconoció temprano en el curso de las determinaciones de rutina de oro en solución sólida en pirita mediante espectrometría de masas de iones secundarios (SIMS) (Chryssoulis y Cabri, 1990). La solubilidad máxima del oro en función del contenido de arsénico en la arsenopirita viene dada por:

$$C_{\text{Au}}=0.2C_{\text{As}}$$

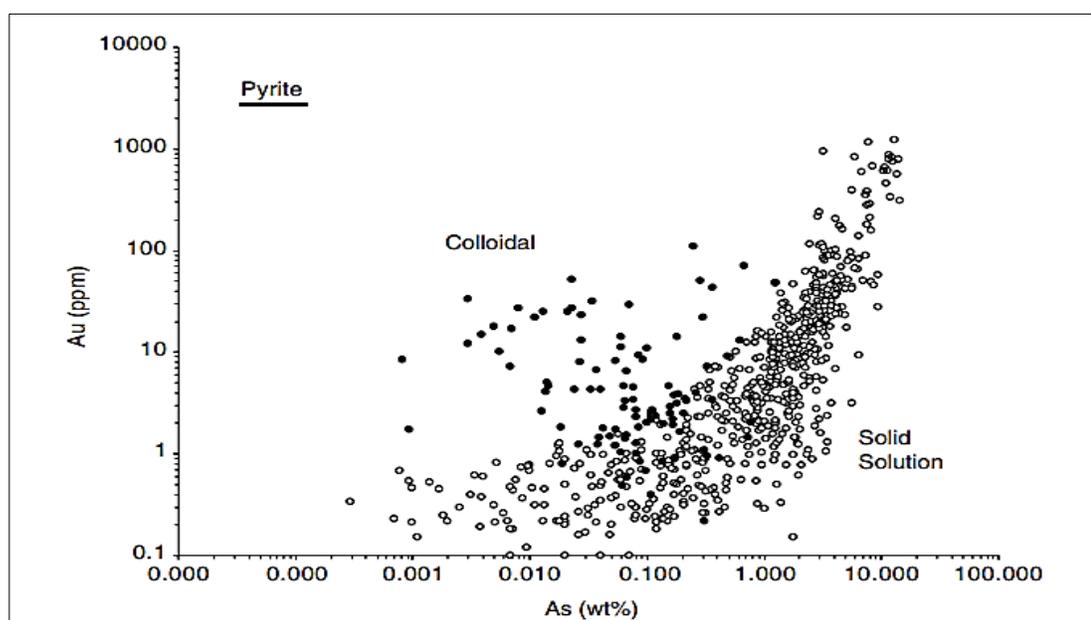
donde C es la concentración de As, Au está en %m. Esto se basa en un diagrama de Au versus As (Figura 1) de más de 1000 análisis de microsonda de piritas de todos los

tipos morfológicos de los depósitos de minerales epitermales y meso termales. Descubrieron que la solubilidad máxima del oro en pirita de depósitos mesotérmicos se redujo en un orden de magnitud (o un átomo de oro por cada cincuenta átomos de arsénico), según la siguiente ecuación:

$$C_{Au}=0.02C_{As}$$

### Figura 1

Gráfica de oro versus arsénico en pirita. Oro en solución sólida (o) y oro en tamaño coloidal (●)



Fuente: *Gold ore processing: Volume 15: Project development and operations (2a ed.)* (Adams, 2016).

**Oro Coloidal.** El término oro coloidal se introdujo para describir inclusiones discretas de oro submicroscópico en minerales de sulfuro, invisibles por microscopía electrónica de barrido (SEM) óptica o convencional, pero detectable mediante perfiles de concentración en profundidad SIMS y también fotografiado y analizado por microscopía

electrónica de transmisión de alta resolución (HR-TEM) (Adams, 2016). El huésped preferencial del oro coloidal es la pirita y la arsenopirita en menor grado. A diferencia del oro en solución sólida, no se requiere que la pirita sea arsénica (que normalmente contiene arsénico con más del 0,5 % de As en masa).

**Oro superficial.** El oro superficial se refiere al oro detectado en las superficies de las partículas minerales, por ejemplo, el oro adsorbido por las partículas carbonosas. El oro superficial es el resultado de la adsorción, la deposición reductora (enchapado), la precipitación y posiblemente la deposición de intercambio iónico de las soluciones que contienen oro.

**Formas y portadores de Oro.** El término forma y portadores de oro se introdujeron hace varios años para describir mejor de una manera más colectiva la respuesta de los minerales auríferos a la flotación. Por lo tanto, la forma del oro se refiere al lugar exacto y al estado químico del oro, los minerales de oro, la solución sólida, el oro coloidal y el oro ligado a la superficie; mientras que el término portador de oro se refiere a la partícula que albergan una o más formas de oro, controlando así la respuesta a la flotación. Un ejemplo de esto último es oro libre frente a oro con pirita, que también podría contener una solución sólida de oro coloidal frente a oro en partículas intermedias. Esta terminología se ha encontrado particularmente útil para describir comportamiento aurífero en relaves de flotación con enfoque en recuperación. En el caso de los relaves de lixiviación, el término portador pierde relevancia y cobra mayor relevancia términos como expuesto, cerrado y refractario (Adams, 2016).

**2.2.2. Procesos metalúrgicos del oro y sus minerales.** El oro en la naturaleza se encuentra de manera libre o asociado con otros metales formando muchas sustancias minerales. También se encuentra asociado con minerales secundarios que de alguna manera llegan a influir en la selección del proceso para el beneficio del mineral aurífero. Las particularidades de un

yacimiento aurífero y su conjunto de minerales establecen los métodos para extraer el oro, los requerimientos de la metodología para extraer y, particularmente, el desempeño de la totalidad de los procesos químicos implicados en los métodos para extraer oro. En efecto, es requerida una comprensión buena acerca de la mineralogía de un mineral a fin de idear y operar un protocolo para extraer oro con óptima eficiencia (Marsden & House, 2006).

La mineralogía del oro en todos los yacimientos es particular, por las variaciones siguientes (Marsden & House, 2006):

- Ocurrencia mineralógica del oro.
- Distribución del oro por tamaños.
- Huésped y tipo de ganga del mineral.
- Distribución de la magnitud del grano de mineral huésped y ganga.
- Vínculos minerales.
- Modificaciones minerales.
- Varianzas dentro del depósito con el tiempo.

**Concentración gravimétrica.** La separación por gravedad se ha utilizado en las plantas de oro como el mecanismo de recuperación primaria o, alternativamente, por delante de otros procesos, como flotación y cianuración desde el inicio del procesamiento de minerales.

Las estrategias de recuperación de oro por gravedad y transportadores de oro varían, ya que solo por gravedad puede alcanzar una recuperación de muy bajo peso en el concentrado, o rendimiento (<0.1%), típico del tipo de unidades semicontinuas que se usan en la actualidad, mientras que los transportadores de oro como la pirita y la arsenopirita se recuperan mediante unidades continuas capaces de producir rendimientos mucho más altos, que normalmente igualan o superan ligeramente el contenido de sulfuro de la corriente tratada (Adams, 2016).

Los parámetros mineralógicos que afectan la recuperación de oro por gravedad están en orden de importancia decreciente (Adams, 2016):

- Tamaño de partícula
- Forma de partícula
- Grado de liberación
- Composición
- Densidad del mineral
- Hidrofobicidad

El oro fino libre, que es demasiado pequeño para ser recuperado de manera eficiente, depende del equipo instalado: 500  $\mu\text{m}$  para canalones; 200  $\mu\text{m}$  para jigs, 50–100  $\mu\text{m}$  para espirales, 50  $\mu\text{m}$  para mesas vibratorias y 20–40  $\mu\text{m}$  para concentradores centrífugos. La asociación de oro con otros minerales y, en particular, la asociación de granos finos de oro en cuarzo y otros minerales de ganga "ligeros" reduce la densidad promedio de partículas (Adams, 2016; Wills, 1988).

**Tabla 2**

*Gravedad específica de los minerales de oro*

Mineral de oro	Fórmula	Gravedad específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Oro nativo	(0-20% Ag en masa)	16.4-19.3
Electrum	(20-50% Ag en masa)	13.2-16.4
Maldonita	$\text{Au}_2\text{Bi}$	15.7
Auroestibina	$\text{AuSb}_2$	9.9
Tetra-Aurocuprita	$\text{AuCu}$	14.8
Calaverita	$\text{AuTe}_2$	9.2
Krennerita	$\text{AuTe}_2$	8.6
Silvanita	$(\text{AgAu})\text{Te}_2$	8.1

*Fuente:* Adaptado de *Gold ore processing: Volume 15: Project development and operations (2a ed.)* (Adams, 2016).

**Flotación.** La flotación es un proceso de separación que aprovecha los recursos naturales y diferencias inducidas en los rasgos superficiales de minerales. Cuando la

superficie es de manera fácil humedecida por el agua, en otras palabras, es hidrófilo, o es hidrófobo cuando por este es repelida el agua, lo que significa que, cuando es hidrófobo se puede adherir, el fragmento mineral, a las burbujas del aire y flotar. Es un complejo sistema en el que intervienen tres partes (aire, agua y sólidos) e interactúan las variables físicas y químicas. Las variables químicas tienen como objetivo vigilar como transita el hidrofílico y la condición hidrófoba. Las variantes físicas integran aquellas que resultan de características del mineral, como la magnitud del fragmento y sus componentes (liberación) y aspectos que derivan de la mecánica como la magnitud de la burbuja la tasa de aire. (Wills & Finch, 2016).

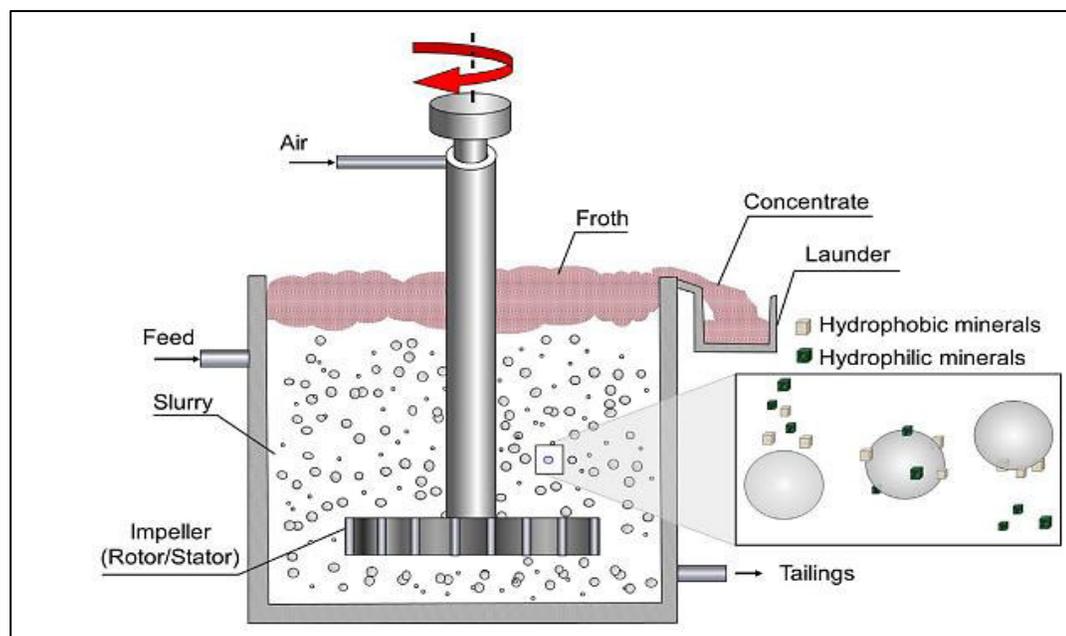
Para Wills and Finch (2016), el proceso de recuperación de elementos valiosos por flotación de pulpa involucra tres aspectos:

- Fijación electiva de burbujas del aire (o "verdadera flotación").
- Barrido en agua que pasa por la espuma.
- Encapsulamiento físico dentro de los fragmentos en espuma unido a burbujas del aire.

En la concentración por flotación, el mineral valioso generalmente se transfiere a la espuma, o fracción de flotación, dejando la ganga en la pulpa o relaves. Esta es la directa flotación y lo contrario es la inversa flotación, en la que se aparta la ganga en la fracción flotante.

**Figura 2**

*Principios de flotación por espumas*



*Fuente: Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral Recovery. 8a ed. (Wills & Finch, 2016).*

**2.2.3. Parámetros de la flotación de minerales.** Los parámetros que intervienen en la etapa de flotación de los minerales de oro son las siguientes:

- Mineralogía de la ganga y mena del mineral a procesar.
- Grado de liberación de la mena.
- Tipo y dosificación de reactivos.
- Densidad de pulpa.
- Viscosidad de pulpa.
- Potencial de hidrógeno (pH).
- Flujo de aire que ingresa a las celdas.

Debido a que los metales preciosos a menudo se encuentran en forma submicroscópica dentro de los minerales de sulfuro más comunes como la pirita, pirrotina, arsenopirita, pentlandita, galena y estibina; la flotación de estos minerales también se tendrá en cuenta cuando se procesa.

Los minerales de metales preciosos son densos, con gravedades específicas que van desde 10 hasta 20, y a menudo son muy duros (por ejemplo, minerales con elemento como el platino) o muy blandos y dúctiles (por ejemplo, oro y plata) de modo que no se muelen lo suficientemente finos para flotar. Por lo tanto, las secciones de concentración por gravedad son incluidos en los circuitos de molienda en la manipulación de los minerales con el fin del rescate temprano de aquellos minerales gruesos de metales preciosos que no se muelen fácilmente lo suficientemente finos para que floten. Además, los métodos hidrometalúrgicos, como la cianuración o la lixiviación con algún otro reactivo, a menudo son incluido en un circuito para recuperar partículas finas de oro y plata (por ejemplo,  $<5 \mu\text{m}$ ), que son muy difícil de flotar. Si un mineral de óxido (es decir, uno en el que solo minerales de óxido naturales primarios y no hay sulfuros presentes) o un mineral oxidado (es decir, uno en el que los sulfuros originales han sido oxidados en el suelo por procesos naturales) se va a tratar, se usa solo cianuración para extraer el oro porque la mayor parte del oro suele tener un tamaño  $<5 \mu\text{m}$ . También se considera la flotación de sulfuros auríferos, platiníferos y argentíferos, ya que estos son importantes fuentes de los metales preciosos (Fuerstenau et al., 2009).

**2.2.4. Respuesta del oro y sus minerales al proceso de flotación.** Aunque, puede que no sea demasiado difícil establecer qué el oro en particular y qué otros metales están presentes en un mineral mediante el uso de técnicas microscópicas modernas, puede ser muy difícil establecer las proporciones de los diferentes minerales presentes sólo por métodos mineragráficos (Fuerstenau et al., 2009). En la tabla 3 se presenta los diferentes minerales de oro, composición, la respuesta al proceso de flotación y los reactivos comunes a utilizar.

**Tabla 3**

*Minerales de oro: Composición, contenido de oro y propiedades de flotación.*

Nombre del mineral	Composición nominal	Contenido ideal de oro, %W	Colectores de flotación y otras condiciones	Depresores y otras condiciones
<b>Metales</b>				
Oro Nativo	(Au, Ag, Cu)	80-99.9	Colectores: Xantatos y ditiofosfatos Espumantes: MIBC o Aerofroth 65 pH 8 – 9 con Soda ASH	Depresores: CaO, NaCN, Na <sub>2</sub> S
Electrum	Au, Ag			
Amalgama nativa	Au, Ag, Hg	Variable		
<b>Teluros</b>				
Calaverita	AuTe <sub>2</sub>	43.6	Espumante a pH 8-9	Depresores: CaO, NaCN
Krenerita	Au <sub>4</sub> AgTe <sub>16</sub>	26.8		
Silvanita	Au <sub>4</sub> AgTe <sub>4</sub>	24.2		
Montbroyita	Au <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	50.7		
Petzita	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>	Variable		
Nagyagita	Au(Pb,Sb,Fe) <sub>8</sub> (S,Te) <sub>11</sub>	25.6		
Kostovita	CuAuTe <sub>4</sub>			
<b>Minerales menores</b>				
Auroestibina	AuSb <sub>2</sub>	44.7	No muy conocido, pero xantatos y MIBC en pH 8 son probablemente eficaz	No se sabe claramente
Aurocuprita	AuCu <sub>3</sub>	50.8		
Maldonita	Au <sub>2</sub> Bi	65.3		
<b>Sulfuros auríferos</b>				
Pirita	FeS <sub>2</sub>	Variable	Colectores: Xantatos y ditiofosfatos Espumantes: MIBC o Aerofroth 65 pH 10 con cal	Depresores: NaCN pH>11
Arsenopirita	FeAsS	Variable		
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	Variable		
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Variable		
Covelina	CuS	Variable		
Chalcocita	Cu <sub>2</sub> S	Variable		
Estibina	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>			
<b>Otros minerales</b>				
Carbonáceos Agregados	C, Au	Variable	Flotación natural	No conocida

*Fuente: Adaptado de Froth flotation: A century of innovation (Fuerstenau et al., 2009).*

**2.2.5. Evaluación del proceso de flotación.** Para evaluar la eficiencia del proceso de flotación por espumas se mide índices como: Recuperación metalúrgica, ratio de concentración, razón de enriquecimiento, grado de concentrado y la relación grado-recuperación.

**Recuperación metalúrgica:** Es la relación entre la masa del material valioso obtenido en el concentrado y la masa de material valioso de la alimentación. El material valioso puede ser metálico o no metálico.

**Ratio de concentración:** Es la relación entre la masa de alimentación y la masa de concentrado.

**Razón de enriquecimiento:** Es la relación entre la ley del componente deseado en el concentrado y la ley del mismo componente en la alimentación.

**Grado de concentrado:** El grado, o ensayo, se refiere al contenido del producto comercializable en cualquier flujo. En los minerales metálicos, a menudo se indica el porcentaje de metal, aunque en el caso de los minerales de muy baja ley, como el oro, el contenido de metal se puede expresar como partes por millón (ppm) o su equivalente en gramos por tonelada métrica (g/TM) (Wills & Finch, 2016).

**Relación grado – recuperación:** El grado de concentrado y la recuperación son generalmente inversamente relacionados: A medida que aumenta la recuperación, disminuye la ley y viceversa. Si se intenta alcanzar un concentrado de alto grado, los ensayos de relaves son más altos y la recuperación es baja. Si se pretende una alta recuperación de metal porque, habrá más ganga en el concentrado y el grado de concentrado y proporción de concentración disminuir (Wills & Finch, 2016).

**2.2.6. Reactivos usados en la flotación de minerales auríferos.** Los reactivos utilizados en la flotación de minerales auríferos son sustancias químicas que se agregan al proceso de flotación para facilitar la separación y recuperación del oro de los minerales de ganga. Estos reactivos se seleccionan cuidadosamente en función de sus propiedades químicas y su capacidad para interactuar selectivamente con el oro y los minerales asociados.

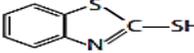
En el proceso de concentración por flotación de los minerales auríferos, se utilizan las siguientes clases de reactivos: colectores, espumantes, activadores, depresores y modificadores. Estos reactivos desempeñan roles específicos en el proceso de flotación y trabajan en conjunto para lograr la máxima recuperación del oro.

**Colectores.** Los reactivos colectores pertenecen a una inmensa agrupación de sustancias orgánicas, compuestos particulares o elementos técnicos, bastante diferentes en su composición y en su estructura. El principal destino de los colectores

es la selectiva hidrofobización de la superficie de fragmentos de algunos minerales en pulpa de la flotación, con el objetivo de generar condiciones beneficiosas para su adherencia a la burbuja del aire bajo su extracción ulterior en concentraciones. Los principales reactivos colectores y su fórmula química utilizado en la industria de flotación de minerales auríferos se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Fórmulas química de los principales colectores para minerales sulfurados*

Collector Type	Formula
Alkyl xanthates (alkyl dithiocarbonates)	$\text{R-O-C} \begin{array}{l} \text{S} \\ \parallel \\ \text{SNa} \end{array}$
Dialkyl dithiophosphates	$\begin{array}{c} \text{R-O} \\ \diagdown \\ \text{P} \\ \diagup \\ \text{R-O} \end{array} \begin{array}{l} \text{S} \\ \parallel \\ \text{SNa} \end{array}$
Mercaptobenzothiazole	
Dialkyl thionocarbamates	$\text{R-O-C} \begin{array}{l} \text{S} \\ \parallel \\ \text{NHR}' \end{array}$
Xanthic esters	$\text{R-O-C} \begin{array}{l} \text{S} \\ \parallel \\ \text{S-R}' \end{array}$
Thiocarbamide	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{R-N} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{S} \\ \diagup \\ \text{R}'\text{-N} \\   \\ \text{H} \end{array}$
Diaryl dithiophosphoric acid	$\begin{array}{c} \text{R-O} \\ \diagdown \\ \text{P} \\ \diagup \\ \text{R}'\text{-O} \end{array} \begin{array}{l} \text{S} \\ \parallel \\ \text{SNa} \end{array}$

*Fuente: The chemistry of gold extraction, second edition (2a ed.) (Marsden & House, 2009).*

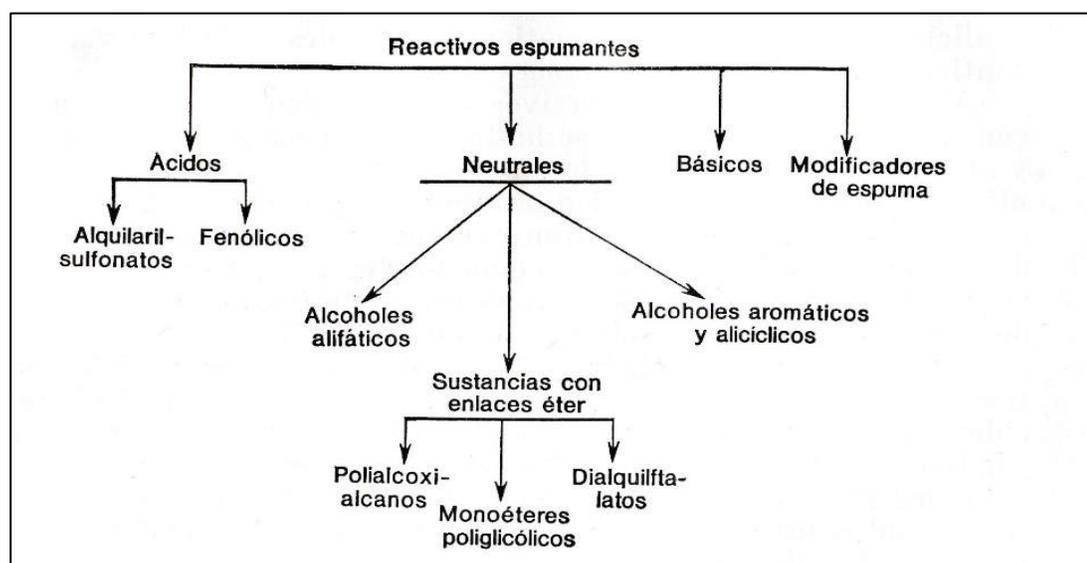
Las sustancias colectoras usadas mayormente en los procesos de la flotación de los minerales de oro pueden decirse que son los siguientes:

- Xantatos
- Ditiófosfatos
- Tionocarbamatos
- Mercaptobenzotiazol

**Espumantes.** Los generadores de espuma se refieren a componentes tenso activas heteropolares los cuales pueden ser adsorbidos en superficie de desprendimiento aire-agua. En la parte líquida de la pulpa del proceso de flotación cuya actuación incrementa la solidez mecánica de las burbujas del aire, beneficia que se conserven en aspecto discontinuo, incrementando así la superficie de la adherencia de fragmentos del mineral que flota y el equilibrio de la espuma en la flotación (Dudenov et al., 1980).

**Figura 3**

*Clasificación de reactivos espumantes*



*Fuente: Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos de flotación* (Dudenov et al., 1980).

**Activadores.** La tarea activadora es inversa a la tarea depresora y los reactivos de esta clase son útiles para incrementar la adsorción de los promotores encima de la superficie de minerales o con el fin de reforzar el vínculo dentro del promotor y la superficie.

Los reguladores de superficie utilizados como activadores aumentan la diferencia en la hidratación de minerales, reduciendo la hidratación de las partículas

flotantes, que a su vez activan su flotación. La activación de un mineral específico también está asociada con los cambios en la composición de la fase líquida, que de alguna manera influye en el carácter dinámico de una interfaz líquido-sólido. Algunos reactivos activadores son capaces de interactuar no solo en las interfaces agua-minerales, sino también en interfaces agua-aire. Los efectos interactivos de los activadores están asociados con varias fuerzas de interacción (Bulatovic, 2007).

**Depresores y modificadores.** La función concreta de los depresores está referida a la disminución de la flotabilidad del mineral, logrando que su superficie sea hidrofílica en mayor medida o evitando que los colectores se adsorban y pudiera hidrofobizarla. Existen diferentes formas de lograr este propósito. Una es ingresar un ion en pulpa competitivo con ion recolector en superficie del mineral. En tal sentido, de forma natural, cuando el recolector es de la clase anionica, tambien debería ser, el ion depresor del que se trata, un aniónico y al revés. El mecanismos de depresión es totalmente igual al mecansimo de colección, ya que, en las dos eventualidades, es referida, por cambio iónico o por adosorción física, o un establecimiento, a diferencia que con el establecimiento de un ion se hace hidrofílica a la superficie e hidrofóbica en otro.

- **Depresores inorgánicos.** Estos reactivos se aplican mayormente en sistemas de sulfuros. Entre los muchos empleados (Nagaraj and Ravishankar, 2007; Wills, 2016) cinco son seleccionados entre los más importantes: Cianuro de sodio, sulfato de zinc, dióxido de azufre, sulfuro de sodio o silfhidrato de sodio y fosfatos.

Cuando la planta integra cianuración para extraer Au de concentrados y/o colas de flotación, usar como un depresor el cianuro de sodio puede adaptarse ya que estas plantas incluyen la destrucción de cianuro. Si se va a reciclar el agua para la planta de flotación, entonces la solución de cianuro necesita controlarse (Wills, 2016).

- **Modificadores orgánicos.** Los modificadores orgánicos se pueden clasificar en dos grupos principales: polímeros orgánicos y polímeros orgánicos ácidos. Los polímeros orgánicos son un grupo bastante grande de compuestos orgánicos con complejas estructuras, algunas de las cuales aún no han sido clasificadas. Representan un grupo importante de modificadores utilizados en flotación de los minerales con contenido de sulfuro y los no sulfurados. Solo algunos de los ácidos orgánicos se usan para la flotación de los minerales. Algunos de estos ácidos (es decir, ácido láctico) son capaces de formar complejos internos solubles y, por lo tanto, podrían clasificarse como modificadores quelantes (Bulatovic, 2007).
- **Polímeros orgánicos.** El uso de polímeros orgánicos en la flotación de minerales está estrechamente relacionado con la composición del polímero. Ciertos polímeros se pueden usar como dispersantes, floculantes y depresores. Por el contrario, los almidones se pueden usar como depresores, pero algunos almidones del mismo grupo no muestran alguna habilidad deprimente (Bulatovic, 2007).

**Tabla 5**

*Lista de polímeros orgánicos representativos de los cuatro principales grupos*

GRUPO	POLIMERO	GRUPO ACTIVO POLAR
No iónico	Almidón	-OH=CO
	Dextrina	
	Goma arábica	
	Derivados de tanina	
	Oxigelulosa	
	Alcohol polivinílico	
Catiónicos	Aminas de polivinilo	-NH <sub>2</sub> =NH
	Poliamina sustituida	
	Ditiocarbamato	
	Aminoácidos	
Aniónicos	Carboximetil celulosa (CMC)	-COO-SO <sub>3</sub> H-OSO <sub>3</sub> H
	Ácidos algínicos	
	Gomas de celulosa	
	Gomas de guar	
	Poliacrilatos	
	Sulfonatos de lignina modificados	
Anfóteros	Goma animal	Aniónicos y catiónicos
	Quebracho tratado con aminas	

*Fuente: Adaptado de Handbook of flotation reagents: Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice flotation of sulfide ores v. 1 (Bulatovic, 2007).*

**2.2.7. La celulosa y sus derivados.** La celulosa es el componente básico de la estructura de las paredes celulares de las plantas; representa aproximadamente el 33 por ciento de toda la materia vegetal y es el más abundante de todos los compuestos orgánicos naturales. La celulosa tiene una cadena molecular larga y los tres grupos hidroxilo tienen una alta capacidad para formar enlaces de hidrógeno. Los átomos de hidrógeno de los grupos hidroxilo en las

unidades de glucosa anhidra de la celulosa se reemplazaron con alquilo o grupos alquilo sustituidos para crear éteres de celulosa, que tienen un alto peso molecular (Kumar et al., 2021). Tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que le produce insolubilidad (Aldana, 2012).

La celulosa se utiliza en campos como la fabricación de papel, confección textil e industria de los medicamentos. En polvo se suele utilizar como espesantes, emulsionantes y estabilizadores de ciertos alimentos. En la industria textil se suele utilizar fibras de celulosa.

**Tabla 6**

*Clases más comunes de derivados de celulosa (CD)*

ÉTERES DE CELULOSA		
Categoría	Group R = Hor	Derivados
Alquilo	-CH <sub>3</sub>	Metilcelulosa (MC)
	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Etilcelulosa (ET)
	-CH <sub>3</sub> or -CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Etilmetilcelulosa (HMC)
Hidroxialquilo	-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Hidroxietilcelulosa(HEC)
	-CH <sub>2</sub> CH(OH)CH <sub>3</sub>	Hidroxipropilcelulosa (HPC)
	-CH <sub>3</sub> or -CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Hidroxietilmetilcelulosa(HEMC)
	-CH <sub>3</sub> or	Hidroxipropilmetilcelulosa(HPMC)
	-CH <sub>2</sub> CH(OH)CH <sub>3</sub>	
	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> or	Etilhidroxietilcelulosa(EHC)
-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH		
Carboxialquilo	-CH <sub>2</sub> COOH	Carboximetilcelulosa (CMC)
ESTER DE CELULOSA		
Orgánico	H or -(C=O)CH <sub>3</sub>	Acetato de celulosa
	-(C=O)CH <sub>3</sub>	Celulosetriacetato
	H or-(C=O)CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Propianato de celulosa
	H or-(C=O)CH <sub>3</sub> or -(C=O)CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Propianato de acetato de celulosa(CAP)
	H or -(C=O)CH <sub>3</sub> or -(C=O)CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Acetatobutirato de celulosa (CAB)
Inorgánico	H or -NO <sub>2</sub>	Nitrocelulosa (Nitrato de celulosa)
	H or -SO <sub>3</sub> H	Sulfato de celulosa

*Fuente: Adaptado de Application of cellulose derivatives in mineral processing. En A. Sand & S. Banga (Eds.), Cellulose Science and Derivatives. IntechOpen. (Kumar et al., 2021).*

**2.2.8. El carboximetil celulosa (CMC) y sus principales usos.** El carboximetil celulosa es un polímero aniónico derivado de la celulosa. Es un compuesto biodegradable y económico. El CMC se disuelve en agua fría y caliente, pero no se disuelve en la mayoría de disolventes orgánicos (Smulders, 2002). Todos los grados de la CMC son blancos, inoloro y no tóxicos. Su dispersión y disolución acuosa no son complicadas, sin embargo, por ser un polímero tiene tendencia a aglomerarse y formar grumos cuando es humectada, para lo cual es necesario dispersar y disolverla en el agua, adicionándola muy lentamente y con una fuerte agitación (García, 2018).

El carboximetil celulosa mayormente se usa como aditivo de alimentos procesados. EL CMC se usa también en bebidas, embutidos, helados y sopas deshidratadas. Se utiliza como suplemento de dietas bajas en calorías, ya que no aportan nutrientes, y se comportan igual que la fibra natural y no muestra efectos nocivos en el organismo (Vera, 2011).

Se utiliza como sustancia espesante, agente gelidificante, entre otros. Al ser utilizado como en detergentes como viscosante resulta ser muy ventajoso, ya que es compatible con los tensoactivos aniónicos y catiónicos; sin embargo, se recomienda disolverlo en agua antes de agregarlo al detergente (Watson, 2006).

Existen estudios investigativos en donde el CMC cumple como matriz polimérica de materiales híbridos en fases dispersas de óxido de hierro, cobalto elemental o níquel elemental (Reyes, et al. 2011). En estos estudios encontraron que el material híbrido obtenido presenta propiedades magnéticas que podrían tener aplicación en el diseño de sistemas electrónicos.

**2.2.9. Carboximetil celulosa (CMC) en proceso de flotación de minerales.** La carboximetil celulosa se fabrica con pesos moleculares que van desde 50.000 a 800.000. Varias modificaciones son de interés para la flotación porque muestran buenas propiedades depresoras para minerales altamente flotantes que contienen magnesio (Bulatovic, 2007).

Los derivados de celulosa (CD) han sido reconocidos como polisacáridos aniónicos solubles en agua, no tóxicos, biocompatibles y biodegradables. Los CD se han utilizado como regulador de la viscosidad, agente espesante, agente de encolado, agente de recubrimiento, estabilizador de emulsión y aglutinante de electrodos en diversas industrias. Durante el procesamiento de minerales como la flotación de minerales sulfurados, se utilizaron especies inorgánicas altamente tóxicas como dispersantes y depresores que, en última instancia, provocan toxicidad ambiental. Se ha identificado el uso de polisacáridos, a saber, almidón, dextrina y carboximetilcelulosa (CMC) en flotación de minerales de sulfuro. La carboximetilcelulosa de sodio (CMC) es uno de los productos más importantes de los éteres de celulosa, que han sido derivados de celulosa con una estructura de éter producida por modificación de celulosa natural (figura 4). Dado que la forma ácida de CMC tiene una baja solubilidad en agua, generalmente se conserva como carboximetilcelulosa de sodio, que se usa ampliamente en muchas industrias y se conoce comúnmente como glutamato monosódico (Kumar et al., 2021).

En el contexto de la flotación, el CMC actúa como un agente depresor al interferir con adhesión a burbujas del aire de algunos minerales durante el proceso de flotación. Su estructura química le permite adsorberse selectivamente en la superficie de los minerales no deseados, inhibiendo su flotabilidad y mejorando la selectividad del proceso. Cuando se añade CMC al sistema de flotación es formada una capa de CMC adsorbida en superficie de los minerales a deprimir, lo que reduce la afinidad de estos minerales por los reactivos de flotación. Esta capa protectora evita la unión con burbujas del aire de minerales, impidiendo su flotación y asegurando que se mantengan en la pulpa sin ser recolectados en la espuma de concentrado.

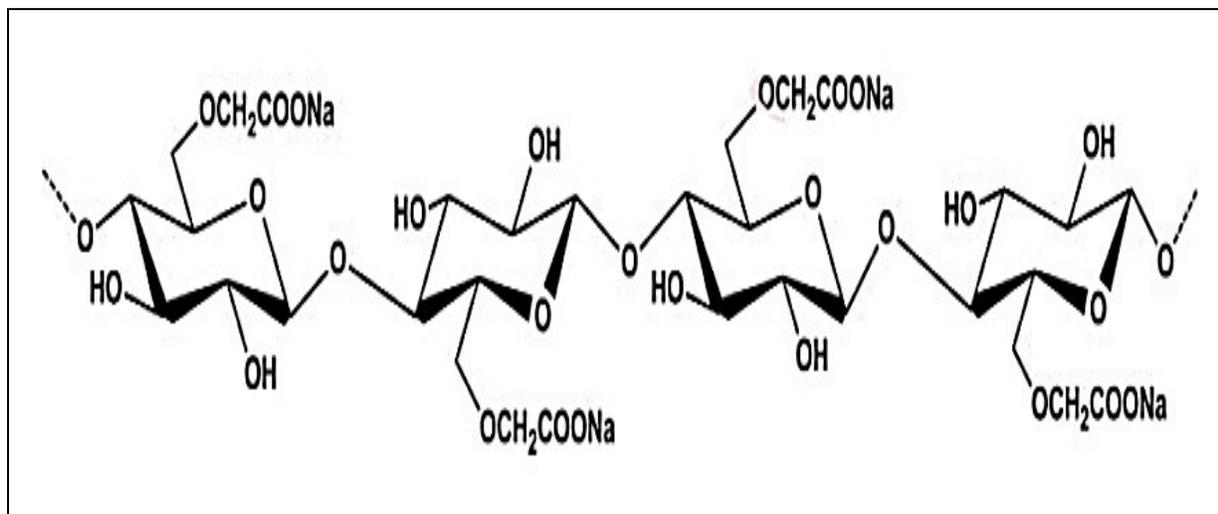
El CMC es particularmente efectivo en la depresión de minerales como la sericita y la mica, que son comunes en algunos yacimientos de oro. Estos minerales de silicato tienen una tendencia a flotar junto con el oro, lo que puede afectar negativamente la calidad del concentrado de oro. Al introducir CMC en el proceso de flotación, se reduce la flotabilidad de la sericita y la mica, permitiendo una mayor recuperación del oro sin contaminación por minerales no deseados.

La recuperación de casiterita fina se realiza principalmente a través del método de flotación, que es ampliamente reconocido como el más efectivo. Sin embargo, durante el proceso de flotación de casiterita, se suele presentar una considerable cantidad de ganga de silicatos, donde los minerales finos hidrofílicos tienden a ingresar al concentrado mediante suspensión o arrastre. Entre estos minerales de silicato, se encuentra la zoisita ( $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ ), que es un mineral de neo silicato con una estructura compleja. Pruebas metalúrgicas en investigaciones han mostrado resultados de la acción del carboximetil celulosa sobre la zoisita disminuyendo su desplazamiento hacia el concentrado de casiterita ( $\text{SnO}_2$ ). Si bien existe aún una escasa investigación sobre el efecto del CMC en la flotación de la zoisita no debemos pasar por alto algunos efectos secundarios cuando se realice estudios al respecto (Zhengjun, 2021).

Es importante mencionar que la cantidad y la forma de adición de CMC en la flotación deben ser cuidadosamente controladas, ya que un uso excesivo puede generar una excesiva formación de espuma y afectar la eficiencia general del proceso. Por lo tanto, se requiere un monitoreo y ajustes adecuados en la dosificación de CMC para lograr los mejores resultados en la flotación de oro. Se debe considerar también el pH de la pulpa como parámetro de evaluación debido a que, la acción puede ser muy diferente en cada punto de potencial de hidrógeno, incluso las sustancias se pueden degradar como es el caso del talco a pH igual a 4 durante separación de la calcopirita (Cheng, et al. 2019).

**Figura 4**

*Estructura del carboximetil celulosa (unidad repetitiva de la glucosa)*



*Fuente: Application of cellulose derivatives in mineral processing. En A. Sand & S. Banga (Eds.), Cellulose Science and Derivatives. IntechOpen. (Kumar et al., 2021).*

**2.2.10. Depresores que afectan en la flotación de oro.** Los depresores son sustancias químicas utilizadas en circuitos de flotación de oro para inhibir la actividad de ciertos minerales no deseados y mejorar la selectividad del proceso. Estas sustancias tienen un impacto significativo en la flotación del oro al influir en las características de superficie de minerales presentes en la mena (Marsden & House 2009).

Cuando se trata de la flotación de oro, los depresores son utilizados para suprimir la flotabilidad de minerales como la pirita, la arsenopirita y otros sulfuros de hierro que no suelen estar asociados con el oro. Estos minerales de sulfuro pueden competir con el oro en la adsorción de los reactivos de flotación en la superficie de las partículas, lo que reduce la eficiencia del proceso y afecta negativamente la recuperación del oro.

Los depresores actúan modificando la química de la superficie de los minerales no deseados, disminuyendo su afinidad por los reactivos colectores y evitando su flotación. Estas sustancias pueden variar en su naturaleza y composición, pero generalmente son sustancias

orgánicas contenedoras de átomos del azufre o grupos funcionales que interactúan con los minerales a deprimir. Algunos ejemplos comunes de depresores utilizados en la flotación de oro incluyen el cianuro de sodio, que tiene la capacidad de deprimir a los minerales de sulfuro de hierro; el sulfito de sodio, que intervienen como selectivo depresor de pirita; y metabisulfito de sodio, que se utiliza para deprimir la flotabilidad de la arsenopirita.

Es importante tener en cuenta que el uso de depresores en la flotación de oro debe ser cuidadosamente controlado, ya que un uso excesivo o inadecuado de estas sustancias puede afectar negativamente la recuperación del oro y generar residuos tóxicos. Por lo tanto, se requiere un equilibrio adecuado en la selección y dosificación de los depresores con el fin de optimizar la eficiencia en los protocolos para la flotación y maximizar la recuperación del oro.

Existen algunos depresores para el oro nativo que generalmente se introducen durante la flotación. En el proceso se incluye compuestos como iones de calcio, iones de cloruro, carbonato de calcio, cianuro, silicato de sodio, sulfito de sodio, iones férricos y de metales pesados, tanino y compuestos relacionados, almidón y otros depresores orgánicos y muchos otros (Marsden & House 2009).

Los depresores alteran las características del mineral evitando que absorba el promotor sobre la superficie de los minerales sin valor recuperable. El cianuro de sodio por ejemplo puede no solo actuar como depresor de sulfuros asociados al oro, sino también puede disolver al oro en caso esté de forma libre y sea posible su disolución a bajas concentraciones de cianuro libre. El hidróxido de calcio puede afectar también en la depresión de oro en la flotación, especialmente si este se encuentra asociado a la pirita o arsenopirita por lo que importante tener en cuenta el pH de trabajo de flotación para este tipo de minerales.

Tabla 7

*Reactivos depresores utilizados en la flotación (aparte de la modificación del pH)*

REACTIVO	DOSIFICACIÓN USUAL g/TM	ACCIÓN CARACTERÍSTICA		
		SULFUROS	METAL PRECIOSO	OTROS
Compuestos de cianuro	0.5 - 250	Depresor de Zinc. Antimonio, Níquel, sulfuros de hierro y sulfuros de cobre si es usado en exceso	Depresor de oro y puede disolver	-
Férrico-y ferrocianuros	50-1000	Depresión de sulfuros de hierro	-	-
Sulfitos, bisulfitos, dióxido de azufre	250-2000	Depresores de zinc y sulfuros de hierro	-	-
FeSO <sub>4</sub> /Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	50-1000	Depresor de sulfuros	-	-
Cromatos/dicromatos	100-2500	Depresor de galena. En exceso deprime de cobre y sulfuros de hierro	-	-
Permanganato	50-1000	Depresor de pirrotina y arsenopirita desde pirita	-	-
Quebracho y ácido tánico	10-100	En exceso deprime todos los sulfuros	Exceso deprime al oro y sulfuros de plata	
Almidón	50-500	En exceso deprime todos los sulfuros, particularmente sulfuros de plomo y plata	Ayuda a la recuperación del mineral desde la arcilla. Exceso deprime el oro	Depresor de talco Depresor de carbón

*Fuente:* Adaptado de *The chemistry of gold extraction*, second edition (2a ed.) (Marsden & House, 2009).

### 2.3. Definición de términos

- **Análisis mineralógico.** Análisis cualitativos y cuantitativos para determinar la presencia de minerales en muestras solidas cristalinas (minerales).
- **Carbón mineral.** Es un compuesto rocoso sedimentario de color negro, orgánico con alto contenido de carbono.
- **Carboximetil celulosa (CMC).** Sustancia química orgánica, proveniente de la celulosa, lo componen agrupaciones carboximetil, asociadas a ciertos grupos de hidroxilo, que se encuentran en polímeros de glucopiranososa.
- **Concentrado.** Es el producto con mayor contenido de determinado metal obtenido en un proceso metalúrgico.

- **Flotación.** Es un método de procesamiento químico-físico en el que intervienen primordialmente tres fases (gas- líquido-sólido-) que tiene la finalidad de la separación de especies mineralógicas.
- **Ganga.** Es la parte del mineral sin valor, constituida principalmente de especies terrosas o pétreas y cuarzo.
- **Grado de concentrado.** El grado o ensayo se refiere al contenido del producto comercializable en el concentrado. En los minerales metálicos, a menudo es citado el porcentaje de metal, aunque en el caso de minerales de muy baja ley, como el oro, el contenido de metal puede expresarse en partes por millón (ppm), o su equivalente gramos por tonelada (g/TM).
- **Grado de liberación.** La liberación se expresa como la cantidad de mineral de interés que puede quedar libre de material estéril cuando se realice una determinada reducción de tamaño.
- **Grafito.** Una de sustancias alotrópicas en que el carbono se presenta. Es encontrado en cristales pequeños hexagonales en la naturaleza como compactados agregados, esféricos, terrosos y escamosos. El grafito es hallado con frecuencia afín a minerales como: óxidos de fierro, pirita, calcita, micas, feldespato y cuarzo.
- **Mena.** Está compuesta por clases de minerales valiosos cuyo motivo constituye el objetivo fundamental de la explotación minera.
- **Mineral.** Es un compuesto de origen natural cuya composición química es única; son sólidos e inorgánicos y posee una cristalina estructura.
- **Mineral de cabeza.** Es mineral que sirve de alimento a la planta de beneficio.
- **Relave.** Es la parte sin valor y con mínimo contenido metálico proveniente del procesamiento metalúrgico y lo constituye la ganga con muy bajo contenido de mena que no pudo ser recuperada.

## CAPÍTULO III

### 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

- El carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH mejorarán el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay - Ecuador.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- La dosificación de carboximetil celulosa (CMC) ayudará a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico que contiene carbón.
- El incremento del pH influirá en la mejora del grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico.
- La interacción de la dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH permitirá incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.

#### 3.2. Las variables

##### 3.2.1. Variables dependientes

**Y:** Grado de concentrado de oro.

##### 3.2.2. Variables independientes

**A:** Dosificación de carboximetil celulosa (CMC).

**B:** Tiempo de acondicionamiento de CMC.

**C:** Potencial de hidrógeno (pH).

### 3.2.3. Variables independientes constantes

- Dosificación de colectores.
- Dosificación de espumantes.
- Velocidad de agitación.
- Densidad de pulpa.
- Granulometría.
- Tiempo flotación.

**Tabla 8**

*Variables de la investigación*

CÓDIGO	VARIABLE INDEPENDIENTE	UNIDAD
A	Dosificación de CMC	g/TM
B	Tiempo de acondicionamiento de CMC	min
C	Potencial de Hidrógeno	pH
VARIABLE DEPENDIENTE		UNIDAD
Y	Grado de concentrado	Au (g/TM)

### 3.3. Operacionalización de variables

Para determinar la influencia de las variables independientes sobre la variable dependiente se analizó los resultados obtenidos de las experimentaciones realizadas para flotación en base al diseño factorial  $2^k$  con tres variables utilizando software Minitab 19.

Las variables independientes con dos niveles permitieron el desarrollo de ocho pruebas de flotación. No se realizó ninguna réplica en ninguno de los puntos solamente tres replicas en el punto central.

**Tabla 9***Operacionalización de variables*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>RANGO</b>
Grado de concentrado	Ley del concentrado de flotación	Gramos de oro	g/TM	Variable
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>RANGO</b>
Dosificación del carboximetil celulosa (CMC)	Dosificación del CMC por TM de mineral. Dosificado en solución al 1%(w/v)	Gramos de reactivo	g/TM	250-1000
Tiempo de acondicionamiento del CMC	Acción del CMC en la pulpa durante el tiempo de retención	Tiempo de agitación	minutos	2-5
pH	Potencial de hidrógeno	Alcalino	Valor de pH	8-10

## CAPÍTULO IV

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Área de estudio

El trabajo de investigación fue realizado dentro de instalaciones del laboratorio metalúrgico de la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A, situado en el Cantón Camilo Ponce Enríquez-Ecuador. Para la caracterización mineralógica del mineral se usó el microscopio metalográfico de luz reflejada del departamento de geología de la misma empresa, además para el estudio de grado de liberación se envió la muestra de cabeza a un laboratorio externo especializado. Los análisis químicos de Au, Ag, Cu, Fe, Pb y Zn de la muestra de cabeza y los productos de las pruebas de flotación se realizaron en el laboratorio químico de la compañía. Los estudios de caracterización de la muestra de cabeza mediante difracción de rayos X (XRD), e identificación de carbón en los concentrados conseguidos de los ensayos de flotación se realizó en un laboratorio externo.

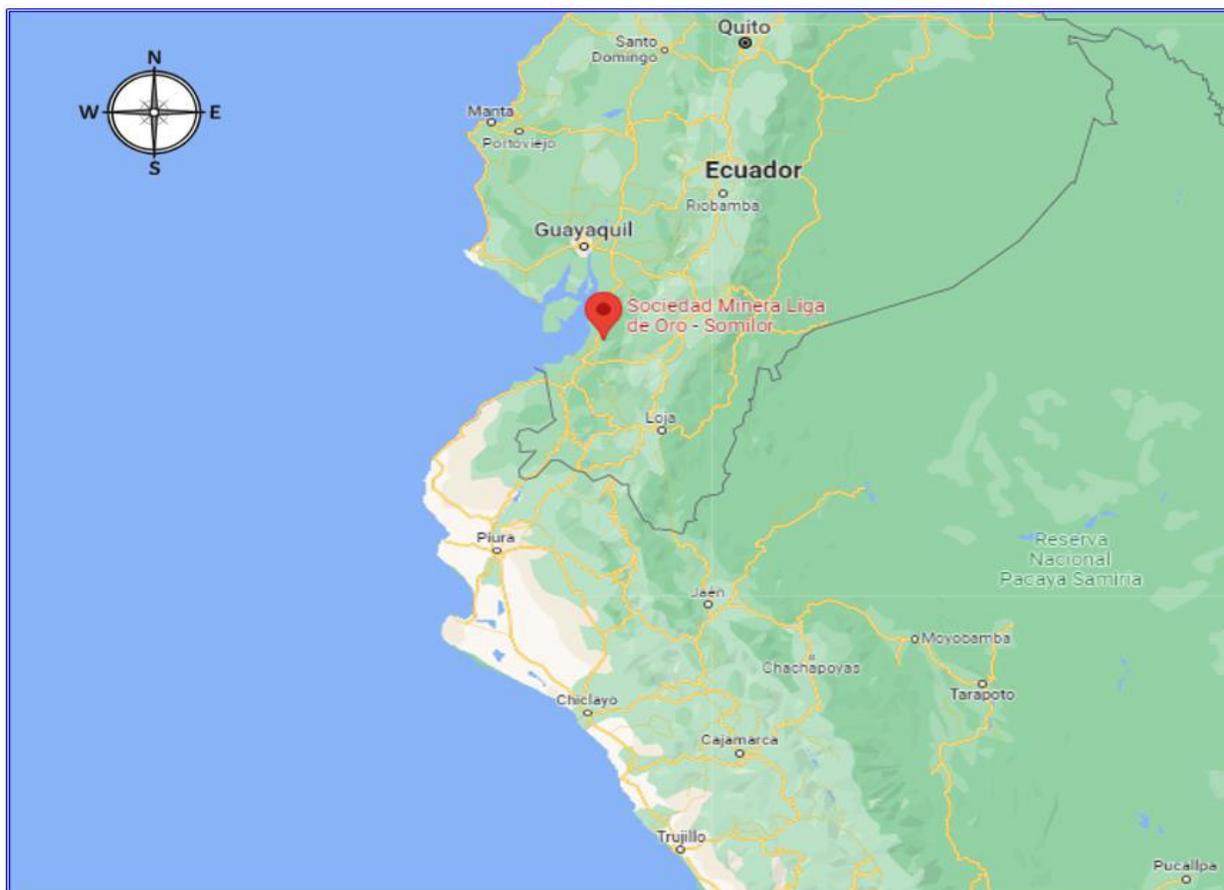
**4.1.1. Ubicación geográfica de la planta de la empresa SOMILOR S. A.** La planta de beneficio de minerales está localizada en Azuay, en el Cantón de Camilo Ponce Enríquez- sitio La López. Se encuentra a una distancia de 33 Km al NE de la ciudad de Machala, capital de la Provincia de El Oro; una distancia de 84.70 Km al SO de la ciudad de Cuenca, capital de la provincia de Azuay y al 102 m al SE de la ciudad de Guayaquil, capital de la provincia del Guayas.

**4.1.2. Breve descripción del proceso del mineral investigado.** El proceso del mineral investigado empieza desde la extracción de la mina hasta que se obtiene los productos finales. Las etapas del proceso en la planta de beneficio comprenden de un área de almacenamiento de mineral grueso, sección de clasificación y reducción de tamaño, tolva de mineral fino y el área de molienda. Luego de la molienda pasa al proceso de concentración gravimétrica, donde se

recupera el oro grueso liberado; y los relaves de gravimetría pasan hacia la etapa de flotación previo espesamiento de los mismos.

### Figura 5

*Ubicación de la planta de beneficio SOMILOR S.A.*



*Fuente:* Tomado de Google, (S.f)., <https://www.google.com/maps/search/somilor/@-3.5221579,-80.3388994,8.14z>

***Extracción y transporte de mineral.*** El mineral aurífero polimetálico es extraído de un depósito hidrotermal filoniano dentro de roca metamórfica. La extracción del mineral se da mediante método de cámaras y pilares. El método de extracción es debido al grado de inclinación de la veta principal. El transporte desde la mina hasta la planta de

beneficio SOMILOR S.A se realiza usando camiones volquetes de 12 m<sup>3</sup> de capacidad equivalente a 18TMS de mineral aproximadamente.

**Almacenamiento de mineral grueso y trituración.** En la planta de beneficio, el mineral grueso se almacena en una tolva con capacidad de 200TMS, luego es trasladado mediante una faja transportadora hasta una zaranda vibratoria de un solo piso, que tiene una malla con abertura de 1 ½” e inclinación de 30° con el eje horizontal. La zaranda vibratoria sirve para clasificar el mineral en dos tamaños. El tamaño fino (menor a 1 ½”) o under size cae por gravedad a una faja transportadora. El tamaño grueso (mayor a 1 ½”) o over size ingresa a una trituradora de mandíbulas que tiene una abertura de 1 ½”. El mineral reducido de tamaño en la trituradora de mandíbulas se junta con el under size en la misma faja transportadora, la misma que se encarga de dirigir el mineral hacia la tolva de almacenamiento de mineral fino.

**Almacenamiento de mineral fino y molienda.** El mineral fino 100% -1½”, producto de la clasificación en la zaranda y trituración, es almacenado en una tolva con capacidad promedio de 40TMS. Este mineral sirve como alimento de los molinos, los cuales son suministrados mediante una faja transportadora de velocidad constante.

La molienda cuenta con equipos denominado molinos de arrastre o “*molinos chilenos*”, donde el mineral es molido con abundante agua. Generalmente la pulpa tiene 90% agua y 10% de sólido. El mineral reducido es evacuado por cuatro compuertas de salida, que cuentan con una lleva malla N°60 (250 um). Cuando las partículas alcanzan tamaños menores a 250um salen del molino e ingresan al sistema de concentración gravimétrica en bayetas para la recuperación de oro grueso.

**Concentración gravimétrica.** La pulpa, producto de la molienda que alcanza un 100% -60 malla, ingresa a esta etapa para recuperar el oro grueso presente en dicho mineral. La pulpa de cada molino fluye por cuatro canales de diez grados (10°) de inclinación, donde telas tipo bayetas extendidas en cada canal sirven para retener el oro liberado

en la molienda conjuntamente con las partículas más gruesas. También se retienen parte de los minerales sulfurados u otro mineral con alto peso específico que pueden son arrastrados por la corriente de agua.

La pulpa fluye de manera continua por estos canales alrededor de una hora, luego de este tiempo, se deriva el flujo de pulpa a otro canal y las bayetas se recogen para ser lavadas en unos depósitos con agua. Una vez que las bayetas han sido lavadas se vuelven a extender en su canal respectivo y se deja fluir nuevamente la pulpa para seguir con la concentración. La tarea de lavado se realiza a todas las bayetas de cada uno de los canales durante intervalos de una hora.

***Etapas de espesamiento.*** Los relaves de la etapa de concentración gravimétrica, denominados colas de bayeta, que contiene oro fino u oro encapsulado en sulfuro que no se pudo retener en la etapa de gravimetría, son derivados a un espesador para disminuir el porcentaje de agua en la pulpa. El objetivo de esta etapa es obtener una pulpa con un porcentaje de entre un 50 a 55% de sólidos aproximadamente, para que durante el ingreso de pulpa al circuito de flotación se pueda controlar un porcentaje de sólido requerido con adición de agua hasta llegar a un 30% a 32%. El agua se agrega en la descarga del espesador.

El agua que se recupera en el espesador se deriva a una cisterna de deslamado, de aquí se bombea hacia la cisterna de distribución de agua para que ingrese nuevamente al circuito de molienda. De la cisterna de deslamado también se bombea agua para el área de flotación.

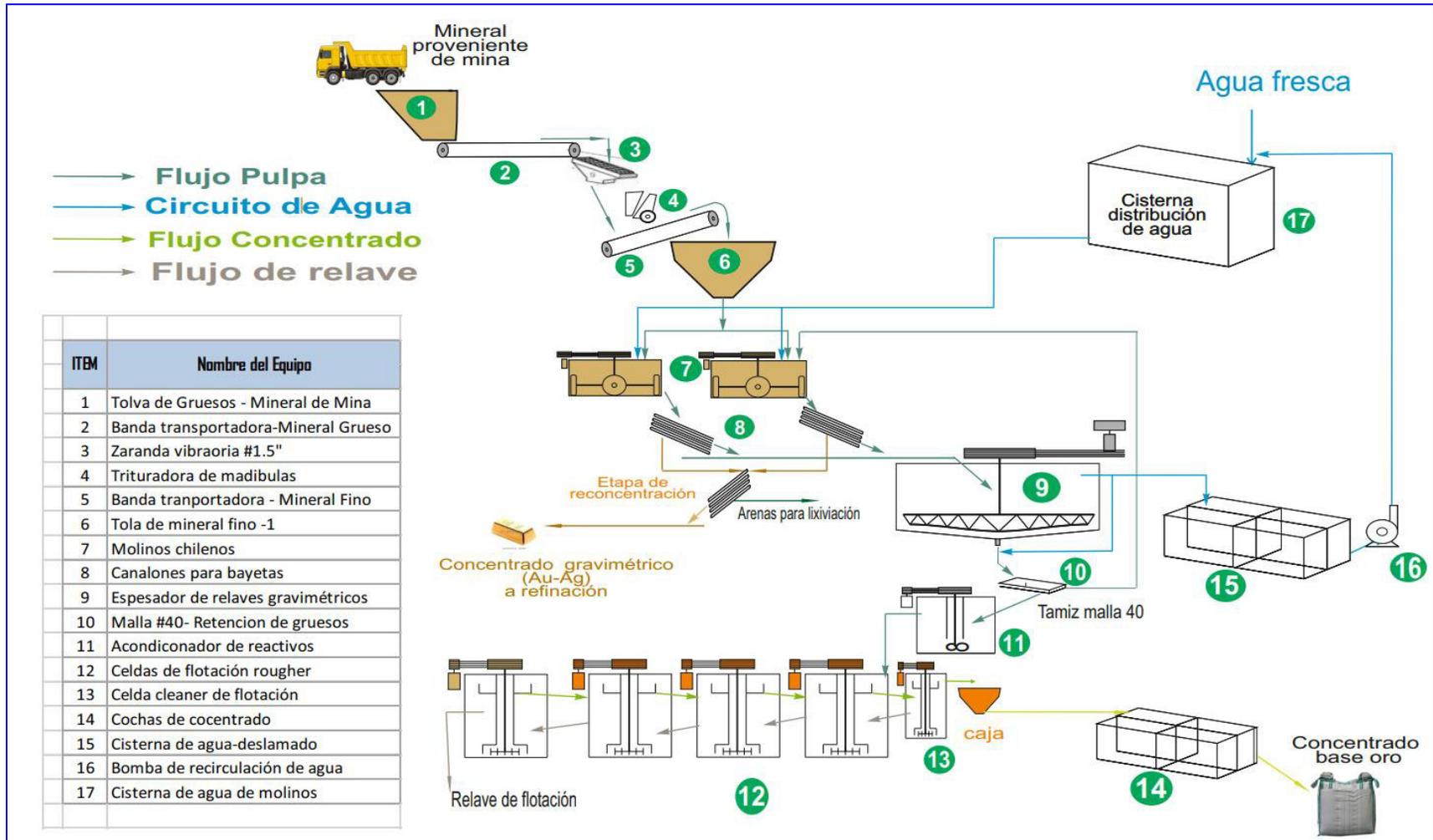
***Etapas de la flotación.*** El relave gravimétrico es evacuado del espesador con un porcentaje alto. En la descarga se agrega agua para diluir y ajustar el porcentaje de sólido entre 30% a 32% requerido en el circuito de flotación. El circuito de flotación está compuesto por un tanque acondicionador, cuatro celdas rougher que funcionan en contracorriente y una celda cleaner.

La pulpa ingresa al acondicionador, donde se dosifica los reactivos colectores entre los que tenemos xantato amílico de potasio, Aerofloat 208, isopropiletiltionocarbamato (MT-3681) y espumante Dow Froth 1210. La pulpa acondicionada con reactivos es dirigida a una primera celda rougher, donde la espuma de esta celda sirve como alimento a la celda cleaner y el relave pasa hacia una segunda celda rougher. La espuma de la segunda celda rougher es dirigida hacia la primera celda rougher y el relave hacia una tercera celda rougher. Este proceso es similar hasta el relave final de la cuarta celda rougher.

El concentrado obtenido de la celda cleaner es dirigido hacia un reservorio de deshidratación("cocha") para la disminución de humedad y posterior venta de concentrado. En este sistema de deshidratación, los concentrados pueden llegar a un porcentaje de humedad de un 12% a 14% hasta el tiempo venta.

Figura 6

Diagrama de flujo de procesamiento del mineral aurífero polimetálico. Alternativa flotación y venta de concentrado



#### **4.2. Diseño de investigación**

La presente investigación corresponde al diseño experimental cuantitativo, donde se midió la calidad del concentrado obtenido en cada una de las pruebas experimentales de flotación.

Por otro lado, la tesis tiene carácter cuantitativo y deductivo puesto que se manipuló, examinó e interpretó a las variables independientes como la dosificación de carboximetil celulosa (CMC), tiempo de acondicionamiento de CMC y el pH; de esta manera se encontró las condiciones para mejorar el grado de concentrado de flotación, adicionalmente, se determinó como varía el contenido de carbón total (%C-Total) y carbón grafitico (%C-Graf.) en los concentrados de flotación.

#### **4.3. Población y muestra**

El estudio se realizó con un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón que se procesa en el circuito de flotación en planta de beneficio SOMILOR S.A, Cantón Camilo Ponce Enríquez-Ecuador. La muestra corresponde al relave del proceso gravimétrico. Para las pruebas correspondientes se tomó de la descarga del espesador, punto anterior al circuito de flotación. La cantidad de muestra utilizada para los estudios fue de 48 litros de pulpa aproximadamente con un porcentaje de sólidos de 53%, equivalente a 40 Kg de mineral tomados durante 24 horas continuas.

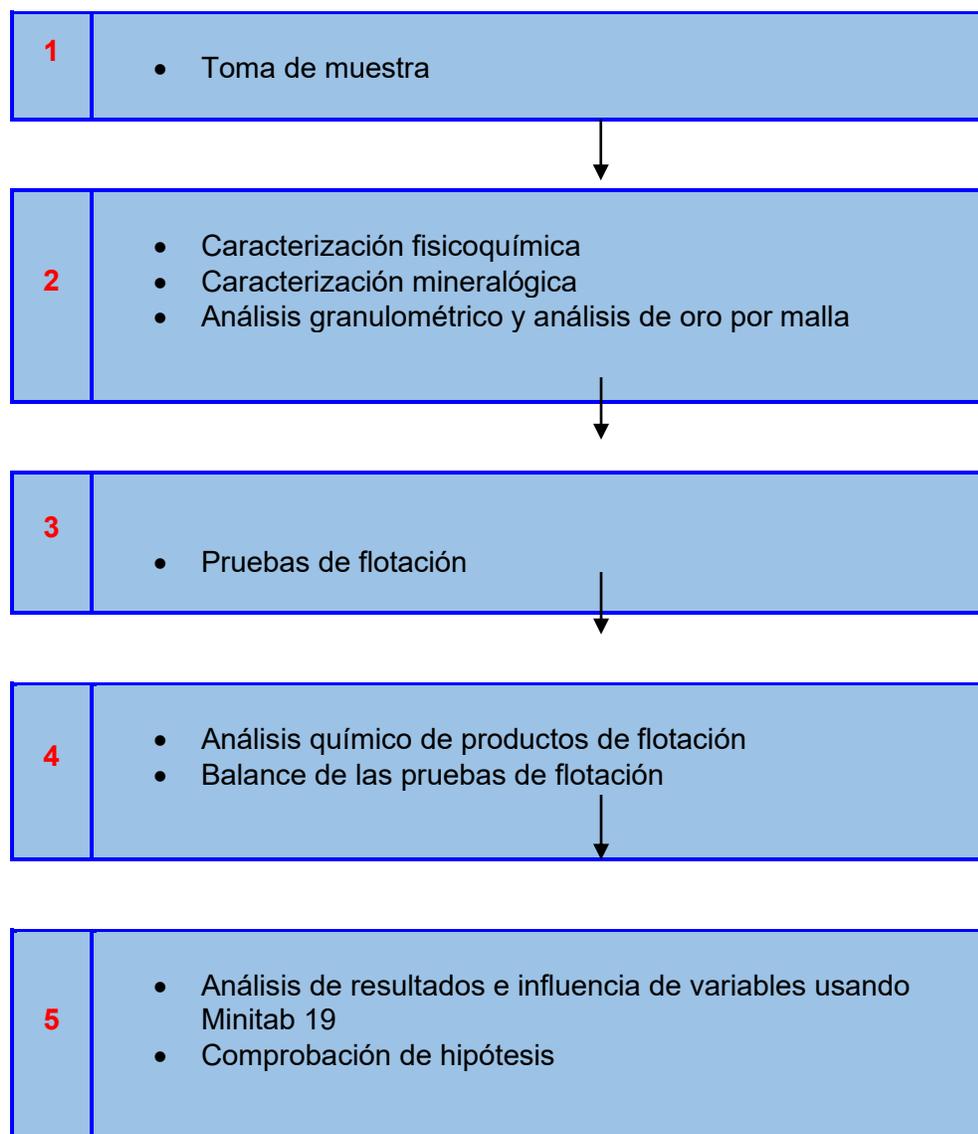
#### **4.4. Metodología, técnicas e instrumentos de recolección**

La investigación se llevó a cabo desde la toma de muestra, seguido por la caracterización fisicoquímica y mineralógica del mineral. Luego se desarrolló las pruebas de flotación, teniendo en cuenta las condiciones con las que cuenta la planta de proceso y de acuerdo al diseño experimental planteado con las tres variables independientes a evaluar. Luego de realizar los análisis de los productos de flotación y obtenido los resultados, se procedió a realizar un análisis

de influencia de las variables independientes tomadas en cuenta; para lo cual se utilizó el software Minitab 19.

## Figura 7

### *Procedimiento de la investigación*



**4.4.1. Toma de muestra.** La muestra se tomó dos litros cada hora de la pulpa del relave gravimétrico en la descarga del espesador durante 24 horas. Durante este periodo se obtuvo 48 litros de pulpa con un alto porcentaje de sólido, típico de la descarga de espesadores. Mediante agitación constante se tomó 1000 ml de la pulpa y se pesó para el cálculo de densidad. La

muestra se filtró, se secó y homogeneizó para separar una porción de mineral para el análisis químico de cabeza y análisis por difracción de rayos X (XRD).

**4.4.2. Caracterización fisicoquímica del mineral.** La caracterización fisicoquímica del mineral se hizo a la muestra en las condiciones en que fue tomada. Se midió el pH de la pulpa y luego el análisis granulométrico para determinar el porcentaje pasante en la malla #200.

**Tabla 10**

*Propiedades fisicoquímicas del mineral aurífero polimetálico*

PROPIEDAD FISICOQUÍMICA	VALOR	UNIDAD
Gravedad específica	2.82	g/cc
pH de la pulpa	8.0	
Granulometría	%	58.71% - 200 malla

**4.4.3. Análisis químico de muestra de cabeza.** El objetivo principal del análisis químico fue conocer los metales principales que contiene el mineral. Se analizó oro (Au), plata (Ag), hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn). Estos análisis se realizaron en laboratorio químico de la empresa SOMILOR S.A. El análisis de oro se realizó por triplicado; y el de plata, cobre, hierro, plomo y zinc por duplicado. EL análisis de oro se realizó mediante el método de ensayo al fuego más gravimetría en caso de muestras de concentrado; y en caso de muestras de cabeza y relaves se realizó mediante el método de ensayo al fuego más adsorción atómica. Los análisis de plata, cobre, fierro, plomo y zinc se realizaron mediante ataque con ácido nítrico y posterior lectura por absorción atómica.

**Tabla 11***Ensayo de elementos en muestra de cabeza*

ELEMENTO QUÍMICO	UNIDAD	VALOR
Oro (Au)	g/TM	1.96
Plata (Ag)	g/TM	10.00
Cobre (Cu)	%	0.08
Hierro (Fe)	%	8.57
Plomo (Pb)	%	0.01
Zinc (Zn)	%	0.08

**4.4.4. Análisis por difracción de rayos X (XRD) a muestra de cabeza.** Mediante el estudio de difracción de los rayos X (XRD) de porciones muestrales de cabeza se observó, aparte de los minerales metálicos presentes, las gangas principales que contiene como es el cuarzo y la moscovita.

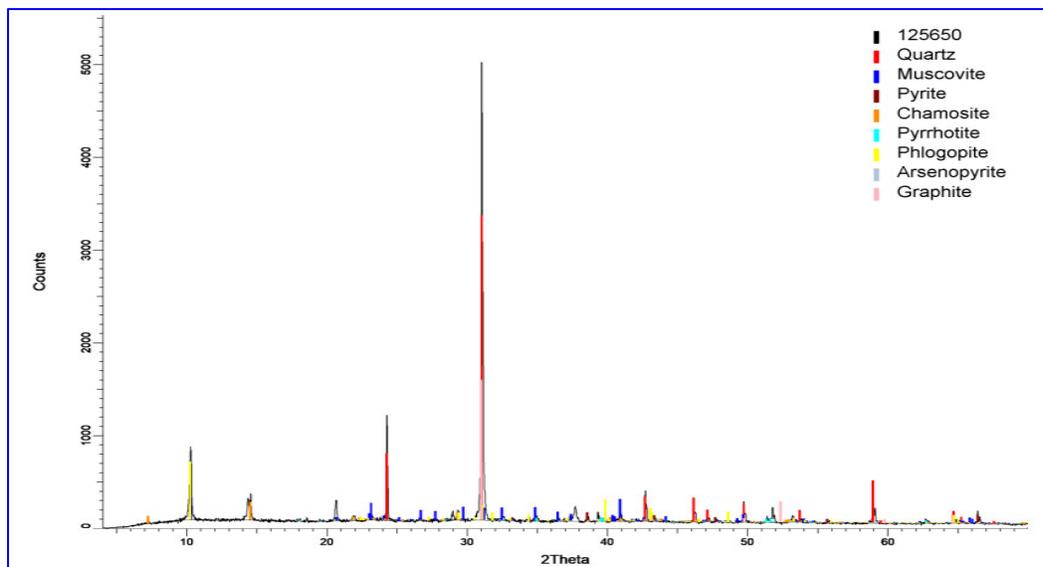
**Tabla 12***Composición mineralógica de la muestra de cabeza identificado por difracción de rayos X*

Mineral	Fórmula General	Distribución %
Quartz	SiO <sub>2</sub>	56.5
Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	17.0
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	6.7
Pyrrhotite	Fe(1-x)S	6.1
Chamosite	(Fe <sup>++</sup> ,Mg,Fe <sup>+++</sup> ) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,O) <sub>8</sub>	4.1
Arsenopyrite	FeAsS	1.3
Phlogopite	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>	1.1
Graphite	C	1.0
Others	---	6.2

*Fuente:* Reporte de análisis de mineral realizado por un laboratorio externo.

**Figura 8**

*Difractograma del análisis en muestra de cabeza*



*Fuente: Reporte de análisis de mineral realizado por un laboratorio externo*

**4.4.5. Análisis granulométrico de la muestra de cabeza.** Para el análisis granulométrico de la muestra de cabeza se usó un conjunto de tamices con mallas que van desde la #100, #150, #200 y #325. Dichos tamices tienen una capacidad de 250 g para que se garantice un buen trabajo de clasificación por tamaños. Adicional se usó un Ro-Tap vibratorio en donde se colocó los tamices seleccionados.

La cantidad de muestra de cabeza utilizada fue de 1000 g de mineral seco que se dividió en cuatro porciones de 250 g cada uno y luego se juntó con su respectivo tamaño para tener suficiente muestra para el análisis de oro en cada fracción. Para la elaboración de briquetas se realizó el tamizaje de 250 g adicionales, donde las porciones se enviaron a un laboratorio externo especializado para el estudio de grado de liberación.

**Figura 9**

*Tamices y equipo Ro-Tap utilizados para el análisis granulométrico*



*Nota.* En la imagen se observa el conjunto de tamices y Ro-Tap utilizado para la clasificación granulométricas.

**Tabla 13**

*Resultado del análisis granulométrico de muestra de cabeza*

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA				
# Malla	Tamaño(um)	Peso (gr)	% Peso	% Acum. Pasante
+50	300	0.0	0.00%	0,00%
+100	150	104.3	10.43%	89.57%
+150	106	143.7	14.37%	75.21%
+200	74	165.0	16.50%	58.71%
+325	45	156.6	15.66%	43.05%
-325		430.5	43.05%	0.00%
<b>TOTAL</b>		1000.0		

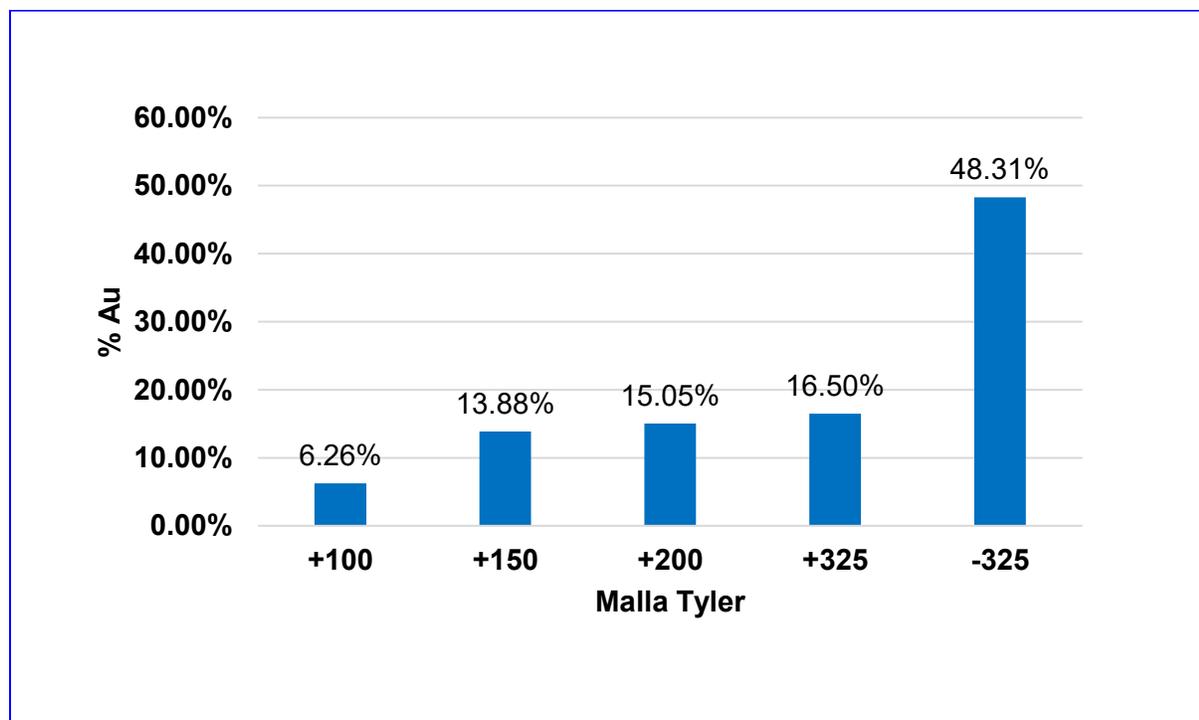
**Tabla 14**

*Resultado del análisis de oro por malla de muestra de cabeza*

<b>ANALISIS DE ORO POR MALLA</b>				
#Malla	Peso (gr)	Au (g/TM)	Cont. Fino Au (gr)	Distribución % Au
+100	104.3	1.23	0.000121	6.26%
+150	143.7	1.98	0.000268	13.88%
+200	165.0	1.87	0.000291	15.05%
+325	156.6	2.16	0.000319	16.50%
-325	430.5	2.30	0.000934	48.31%
Cabeza calculada	1000.0	2.05	0.001934	100.00%
Cabeza analizada		1.96		

**Figura 10**

*Distribución de oro por cada fracción de tamaño en muestra de cabeza*



**4.4.6. Análisis mineralógico y grado de liberación por fracción de malla.** Para este estudio se elaboró briquetas utilizando resina epóxica más endurecedor. Se elaboró una briquea para cada fracción de tamaño de mineral de cabeza clasificado mediante tamizado. El pulido se realizó de forma manual con lijas de diferente grano hasta llegar a paño de pulido con suspensión de diamante para darle el aspecto espejo. Las briquetas se elaboran con muestra de cabeza clasificado en los tamaños +100, +150m, +200 m, +325m y -325m.

**Figura 11**

*Materiales utilizados en la elaboración de briquetas para el análisis mineralógico*



*Nota.* En la figura se observa la suspensión de diamante, lubricante y paño utilizados para pulir las briquetas. En la parte inferior derecha se observa las cinco briquetas elaboradas para el análisis mineralógico.

**4.4.7. Pruebas de flotación.** Las pruebas se realizaron en una máquina de flotación modelo Denver D-12 equipada con una celda de capacidad de 2000 ml de volumen útil para la etapa rougher, y una celda de capacidad de 1000 ml de volumen útil para la etapa cleaner. La

etapa de flotación rougher de todas las pruebas se realizó a una velocidad en la agitación de 1200 RPM y el flujo del aire es de tipo auto aspirante. Se utilizó en promedio 810 g de mineral conformando una pulpa con porcentaje de sólido de 32%.

El acondicionamiento de reactivos se realizó en dos etapas: En la etapa de acondicionamiento N°1 (Acond. 1) se reguló el pH con hidróxido de calcio, en las pruebas que lo requería y se adicionó el carboximetil celulosa (CMC) al 1.0% de acuerdo al diseño. El tiempo de acondicionamiento fue de acuerdo a cada prueba planteada en el diseño experimental. En la etapa de acondicionamiento N° 2 (Acond. 2) se agregó reactivos colectores y espumante con dosificaciones iguales para todas las pruebas.

La etapa de flotación rougher 1 consistió en la extracción de espuma mediante paleteo constante durante 5 minutos para todas las pruebas. Luego de los 5 minutos se compensó con agua el volumen de pulpa extraído, y se agregó amil xantato de potasio y espumante. La etapa de flotación rougher 2 consistió en la extracción de espuma mediante paleteo durante tres minutos hasta el agotamiento de sulfuros. El protocolo de flotación se realizó a todas las pruebas del experimento. Los concentrados de las etapas rougher 1 y rougher 2 se juntaron para la etapa limpieza tal como se muestra en el esquema de pruebas de flotación en la figura 13. La etapa de limpieza se realizó en una celda con volumen útil de 1000 ml, una velocidad de agitación de 900 RPM y el paleteo se realizó por un tiempo de 3 minutos.

**Figura 12**

*Equipos utilizados para las pruebas de flotación*



*Nota.* En la imagen se observa el equipo de flotación y las celdas respectivas utilizadas para las pruebas de flotación. También se observa el medidor de pH de la marca OHAUS ST-300.

**Figura 13**

*Esquema usado para las pruebas de flotación de un mineral polimetálico de oro usando CMC*

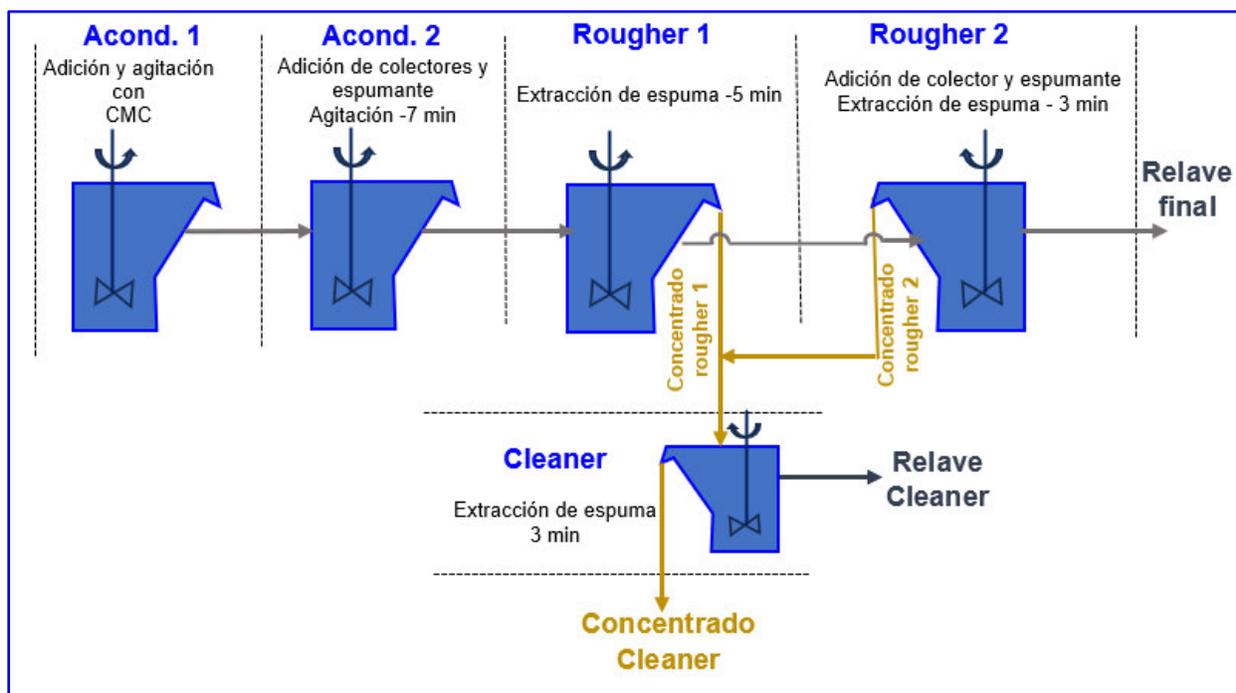


Tabla 15

*Condiciones operativas de las pruebas de flotación*

PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS	UNIDAD	CANTIDAD
Porcentaje de sólido	%	32
Volumen neto de celda-flotación rougher	ml	2000
Velocidad de agitación-flotación rougher	RPM	1200
Volumen neto de celda -flotación cleaner	ml	1000
Velocidad de agitación -flotación cleaner	RPM	900

**4.4.8. Reactivos usados en la flotación y su preparación.** Para todas las pruebas de flotación se usó reactivos colectores con dosificaciones iguales y la preparación se realizó tal que permita una buena manipulación. En caso el xantato amílico de potasio(Z-6), la preparación se realizó a una concentración de 1%(w/v); el Aerofloat-208, MT-3682 y el espumante dow froth 1210 tienen presentación líquida y se dosificó de forma pura. El carboximetil celulosa (CMC) se preparó a una concentración de 1%(w/v) para lo cual se utilizó un agitador a 250 RPM por un periodo de dos horas para que la disolución sea completa.

Figura 14

*Muestra y preparación de carboximetil celulosa (CMC) utilizado para las pruebas de flotación*



*Nota.* Se observa la muestra de carboximetil celulosa (CMC) marca REOFLO TMS-100 y el equipo agitador usado para su preparación.

**Tabla 16**

*Reactivos colectores y espumante usados en las pruebas de flotación*

<b>COLECTORES Y ESPUMANTE</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Xantato amílico de potasio	1%(w/v)	g/TM	62
Aerofloat 208	Puro	g/TM	19
MT-3682(Tionocarbamato)	Puro	g/TM	38
Dow Froth 1210 (espumante)	Puro	g/TM	89

**Tabla 17**

*Dosificación, etapas de adición de reactivos y tiempo de cada etapa de flotación*

<b>ETAPA</b>	<b>REACTIVOS (g/T)</b>					<b>TIEMPO (min)</b>
	<b>CMC (1%)</b>	<b>AXK (1%)</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	*					**
Acond. 2		36	38	19	67	5,00
Rougher 1						5,00
Rougher 2		18			22	3,00
Cleaner 1						3,00

*Nota.* (\*) La dosificación de CMC varía de acuerdo a cada una de las pruebas de flotación.

(\*\*) El tiempo de acondicionamiento es de acuerdo a cada una de las pruebas de flotación.

#### **4.5. Variables y matriz de diseño experimental**

Las variables independientes de la investigación se evaluaron de acuerdo a dos niveles para la elaboración del diseño experimental factorial  $2^k$  como se muestra en la tabla 18. En la tabla 19 se muestra la matriz de las pruebas de flotación, donde se presenta el diseño con todas las pruebas y las respuestas. En total son once pruebas de flotación, tres de ellas son repeticiones en el punto central de cada variable.

**Tabla 18***Diseño factorial con tres variables y dos niveles*

VARIABLE		UNIDAD	MENOR NIVEL (-)	MAYOR NIVEL (+)
<b>A</b>	Dosificación de CMC	g/TM	250	1000
<b>B</b>	Tiempo de acondicionamiento de CMC	min	2.0	5.0
<b>C</b>	Potencial de hidrógeno	pH	8.0	10.0

**Tabla 19***Matriz de diseño factorial para las pruebas de flotación*

CÓDIGO DE PRUEBA	Prueba	VARIABLES INDEPENDIENTES						VARIABLE DEPENDIENTE	CARBÓN EN CONCENTRADO		
		Codificadas			Naturales				Grado Au-g/TM	%C Total	%C Graf.
		A	B	C	CMC g/TM	T. Acond. CMC (min)	pH				
EXP-LR-01	1	0	0	0	625	3.5	9	L1	C-T1	C-G1	
EXP-LR-02	2	0	0	0	625	3.5	9	L2	C-T2	C-G2	
EXP-LR-03	3	0	0	0	625	3.5	9	L3	C-T3	C-G3	
EXP-LR-04	4	-1	-1	-1	250	2.0	8	L4	C-T4	C-G4	
EXP-LR-05	5	+1	-1	-1	1000	2.0	8	L5	C-T5	C-G5	
EXP-LR-06	6	-1	+1	-1	250	5.0	8	L6	C-T6	C-G6	
EXP-LR-07	7	+1	+1	-1	1000	5.0	8	L7	C-T7	C-G7	
EXP-LR-08	8	-1	-1	+1	250	2.0	10	L8	C-T8	C-G8	
EXP-LR-09	9	+1	-1	+1	1000	2.0	10	L9	C-T9	C-G9	
EXP-LR-10	10	-1	+1	+1	250	5.0	10	L10	C-T10	C-G10	
EXP-LR-11	11	+1	+1	+1	1000	5.0	10	L11	C-T11	C-G11	

#### 4.6. Análisis estadístico

El análisis y la interpretación se realizó a los resultados obtenidos de las pruebas de flotación de acuerdo al diseño experimental. El análisis se realizó para medir el impacto de las variables independientes sobre el grado de concentrado, contenido de carbón total(%C-Total) y contenido de carbón grafitico (%C-Graf.) en concentrado. Mediante gráficas de efectos proporcionados por Minitab 19 se interpretó cada una de las variables.

## CAPITULO V

## 5. RESULTADOS

**5.1. Análisis mineralógico y grado de liberación por fracción de malla**

El análisis mineralógico se realizó usando microscopía óptica de luz reflejada. La composición mineralógica que se manifiesta en la tabla 20 indica que los sulfuros de hierro son los más abundantes. La pirita es el principal, seguido por la pirrotina, la marcasita y la arsenopirita. Se identificó al grafito como mineral carbonoso presente en dicho mineral.

**Tabla 20**

*Minerales encontrados en muestra de cabeza mediante microscopía óptica*

ESPECIE MINERALÓGICA	SÍMBOLO	COMPOSICIÓN QUÍMICA	GRAVEDAD ESPECÍFICA	DUREZA MOHS
Arsenopirita	apy	FeAsS	6.07	5.0
Calcopirita	cp	CuFeS <sub>2</sub>	4.2	3.5
Esfalerita	ef	ZnS	3.9-4.2	3.5-4.0
Estibinita	esb	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	4.63	2
Galena	gn	PbS	7.4	2.5
Goethita	goe	Fe <sup>3+</sup> O(OH)	3.3-4.3	5-5.5
Grafito	gf	C	2.09-2.23	1.5-2
Magnetita	mt	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	5.15	5.5-6
Marcasita	mc	(Zn,Fe)S	4.89	6-6.5
Pirita	py	FeS <sub>2</sub>	5.01	6.5
Pirrotina	po	Fe <sub>(1-x)</sub> S(X=0-0.17)	4.61	3.5-4
Rutilo	rut	TiO <sub>2</sub>	4.25	6-6.5

**5.1.1. Análisis mineralógico en la fracción +100 malla.** Los minerales encontrados son las gangas (GGS) no metálicas, pirita, arsenopirita, marcasita, calcopirita I, pirrotina, esfalerita I, goethita, rutilo y grafito. Los amarres mineralógicos encontrados son Inter crecimientos binarios de GGs/py con 0.62%, GGs/po con 1.25%, GGs/gf con 0.94%, GGs/rut con 0.31%, GGs/ef con 0.16%, py/po con 0.16%, py/mc con 0.16%, po/cp I con 0.16%, seguido de amarres ternarios de GGs/ef I/po con 0.16%, GGs/py/po con 0.16%, GGs/ef I/gf con 0.16%, GGs/cp I/po con 0.16% del porcentaje en volumen.

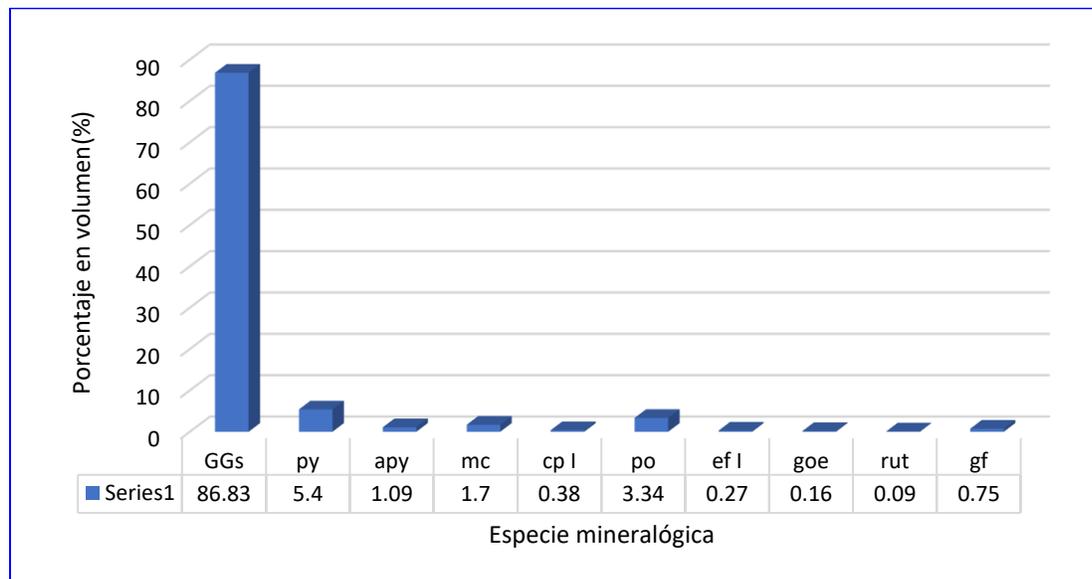
**Tabla 21**

*Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +100malla*

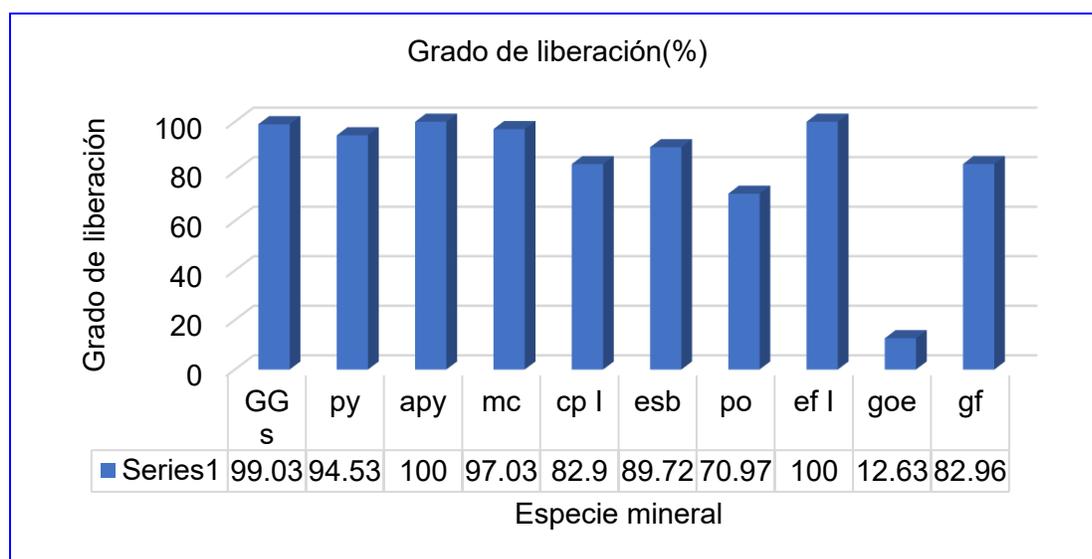
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Pirita	Se encuentran en 5.4% del volumen. Su magnitud de liberación es 94.53%
Arsenopirita	Se encuentran en 1.09% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su magnitud de liberación es 100%.
Marcasita	Se encuentran en 1.7% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 97.03%.
Calcopirita I	Se encuentran en 0.38% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 82.9%.
Pirrotina	Se encuentran en 3.34% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 89.72%.
Esfalerita I	Se encuentran en 0.27% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 70.97%.
Goethita	Se encuentran en 0.16% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Rutilo	Se encuentran en 0.09% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 12.63%.
Grafito	Se encuentran en 0.75% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 82.96%.

**Figura 15**

*Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +100 malla*

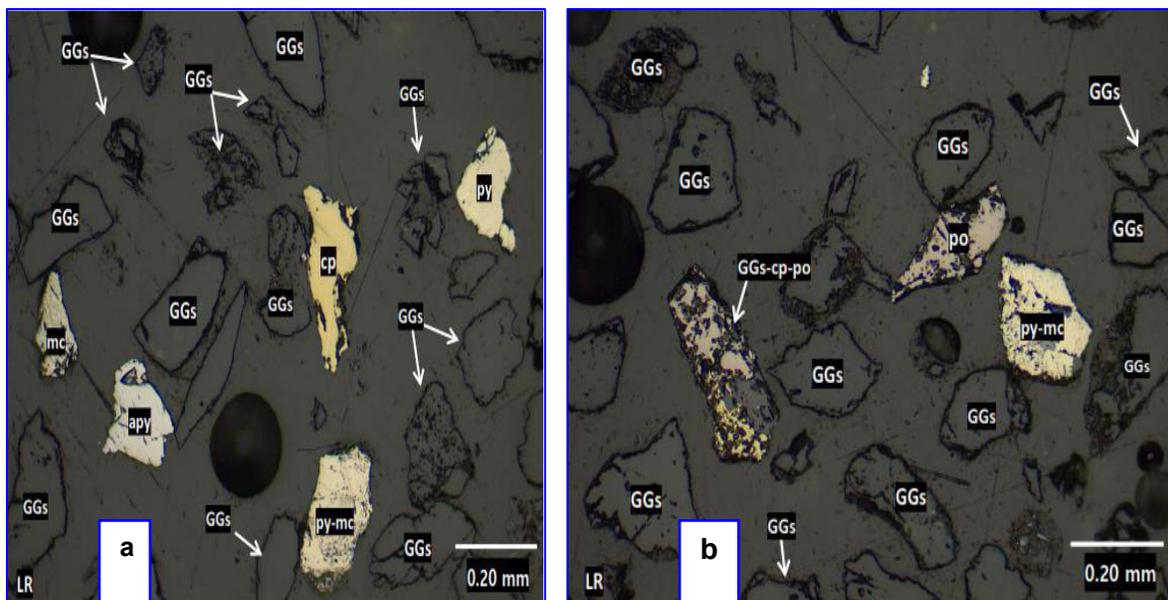
**Figura 16**

*Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +100 malla*



## Figura 17

Fotomicrografías de la fracción +100 malla



**Nota: a)** Se observa granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirita (py), arsenopirita (apy), marcasita (mc), calcopirita (cp) y grano mixto binario de pirita con marcasita (py-mc). Fotomicrografía en LR-N//. **b)** Se observa granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirrotina (po), grano mixto binario de pirita con marcasita (py-mc) y grano mixto de gangas no metálicas con calcopirita y pirrotina (GGs-po-cp). Fotomicrografía en LR-N//.

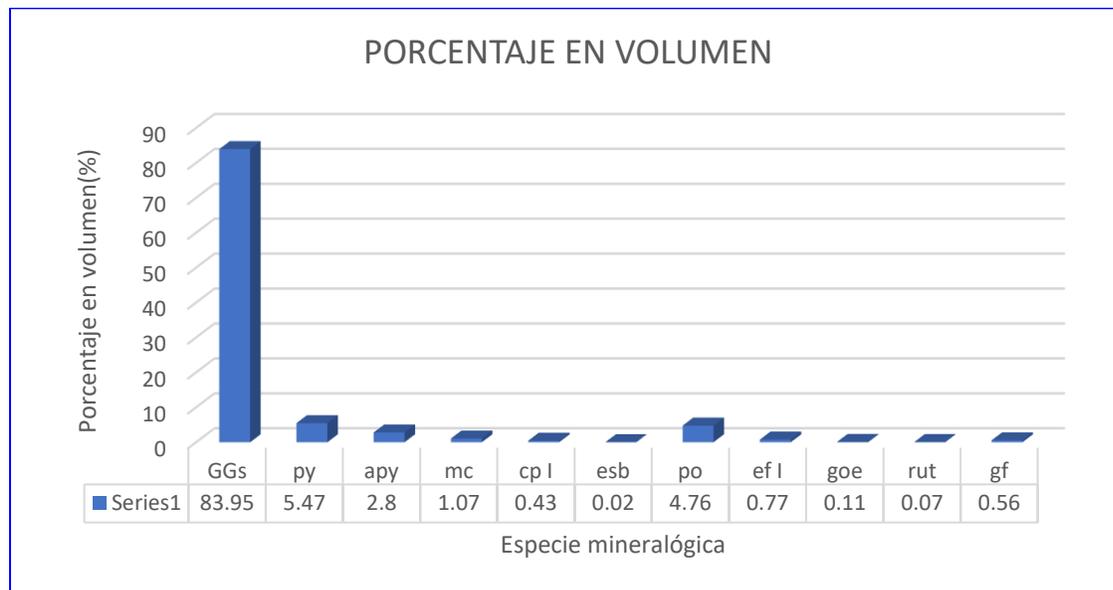
**5.1.2. Análisis mineralógico en la fracción +150 malla.** Los minerales encontrados son los minerales de gangas no metálicas, pirita, arsenopirita, marcasita, calcopirita I, estibinita, pirrotina, esfalerita I, goethita, rutilo y grafito. Los amarres mineralógicos encontrados son Inter crecimientos binarios de GGs/py con 0.21%, GGs/gf con 0.32%, GGs/rut con 0.32%, GGs/mc con 0.21%, GGs/po con 0.42%, GGs/ef I con 0.11%, GGs/cp I con 0.21%, py/mc con 0.21%, po/cp I con 0.11%, cp I/ef I con 0.11%, py/po con 0.11%, py/esb con 0.11%, seguido de amarres ternarios de GGs/po/ef I con 0.32%, GGs/py/mc con 0.11% y GGs/cp I/ef I con 0.11% del porcentaje en volumen.

**Tabla 22***Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +150malla*

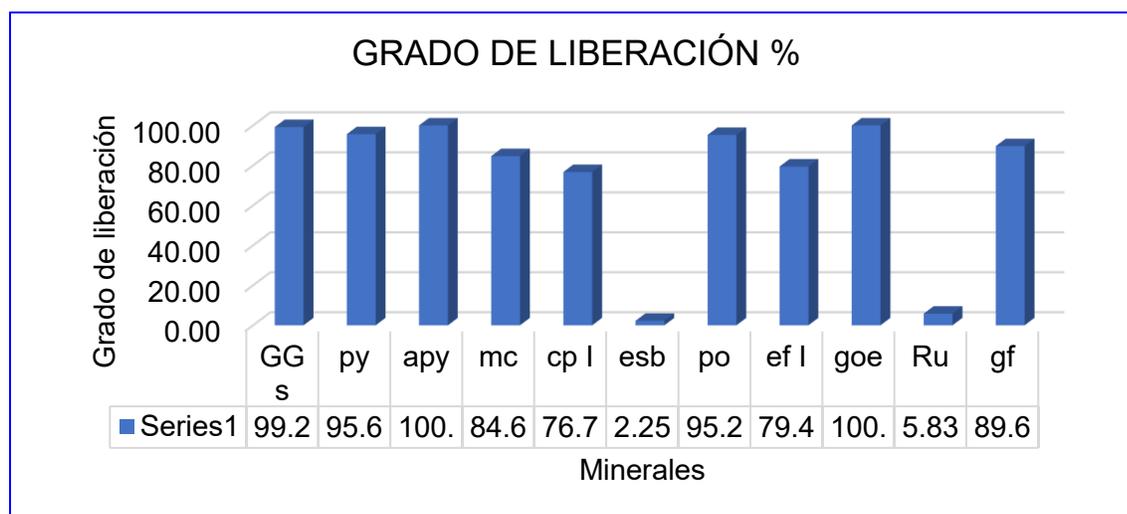
<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Pirita	Se encuentran en 5.47% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 95.64%.
Arsenopirita	Se encuentran en 2.8% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Marcasita	Se encuentran en 1.07% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 84.65%.
Calcopirita I	Se encuentran en 0.43% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 76.7%.
Estibina	Se encuentran en 0.02% del volumen de la muestra correspondiente a partículas mixtas de py/esb. Su grado de liberación es de 2.25%
Pirrotina	Se encuentran en 4.76% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 95.28%.
Esfalerita I	Se encuentran en 0.77% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 79.44%.
Goethita	Se encuentran en 0.11% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Rutilo	Se encuentran en 0.07% del volumen de la muestra correspondiente a partículas mixtas de GGs/rut. Su grado de liberación es de 5.83%
Grafito	Se encuentran en 0.56% del volumen de la muestra, donde el 0.5% ocurre como partículas libres, mientras que el 0.06% se hallan como partículas mixtas de GGs/gf. Su grado de liberación es de 89.67%.

**Figura 18**

*Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño +150 malla*

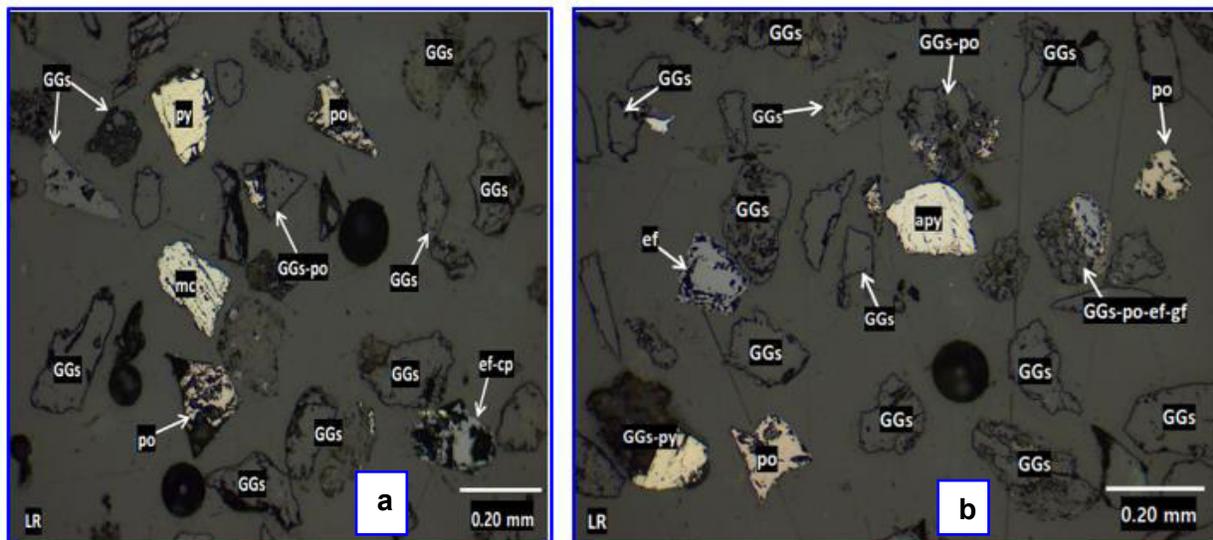
**Figura 19**

*Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +150 malla*



## Figura 20

Fotomicrografía de la fracción +150 malla



*Nota.* **a)** Se observa granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirita (py) marcasita (mc), pirrotina (po), grano mixto binario de esfalerita con pirrotina (ef-po), gangas no metálicas con pirrotina (GGs-po). *Fotomicrografía en LR-N//.* **b)** Se observa granos libres de gangas no metálicas (GGs), arsenopirita (apy), pirrotina (po), esfalerita (ef), granos mixtos binarios de gangas no metálicas con pirita (GGs-py), gangas no metálicas con pirrotina (GGs-po), granos mixtos de gangas no metálica con pirrotina, esfalerita-grafito (GGs-po-ef-gf). *Fotomicrografía en LR-N//.*

**5.1.3. Análisis mineralógico en la fracción +200 malla.** Los minerales encontrados son los minerales de gangas no metálicas, pirita, arsenopirita, marcasita, galena, calcopirita I, pirrotina, esfalerita I, goethita, magnetita y grafito. Los amarres mineralógicos encontrados son inter crecimientos binarios de po/mc con 0.42%, po/ef I con 0.21%, GGs/po con 1.04%, py/mc con 0.42%, GGs/py con 0.62%, GGs/ef I con 0.21%, GGs/gf con 0.31%, ef I/gf con 0.21%, py/gn con 0.21%, seguido de amarres ternarios de GGs/po/gf con 0.21% del porcentaje en volumen.

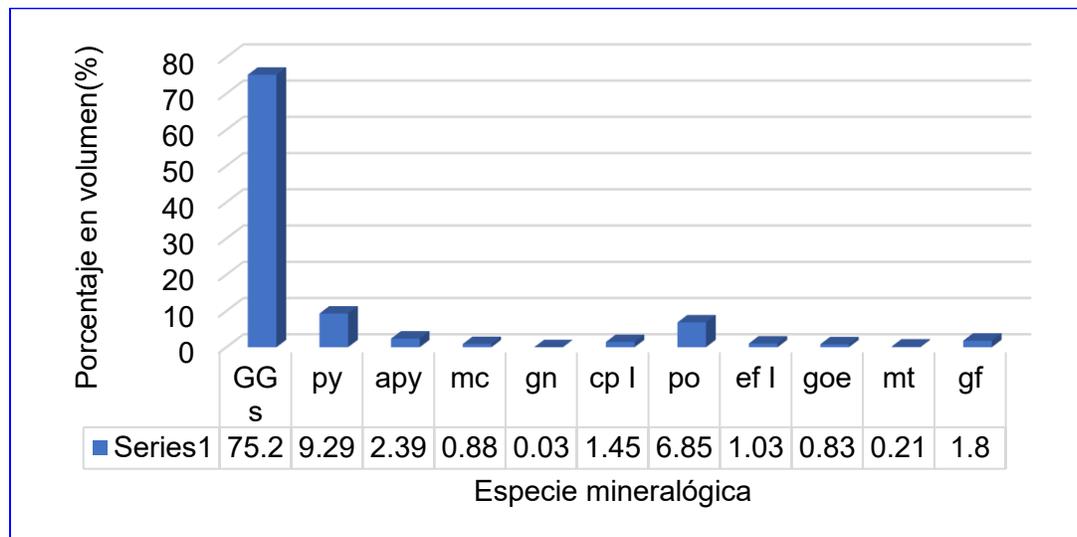
**Tabla 23***Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +200malla*

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Pirita	Se encuentran en 9.29% del volumen de la muestra. Su magnitud de liberación es 95.95%.
Arsenopirita	Se encuentran en 2.39% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su magnitud de liberación es 100%.
Marcasita	Se encuentran en 0.88% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 74.36%.
Galena	Se encuentran en 0.88% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 74.36%.
Calcopirita I	Se encuentran en 1.45% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Pirrotina	Se encuentran en 6.85% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 93.53%.
Esfalerita I	Se encuentran en 1.03% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 82.84%.
Goethita	Se encuentran en 0.83% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Magnetita	Se encuentran en 0.21% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Grafito	Se encuentran en 1.8% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 91.84%.

**Figura 21**

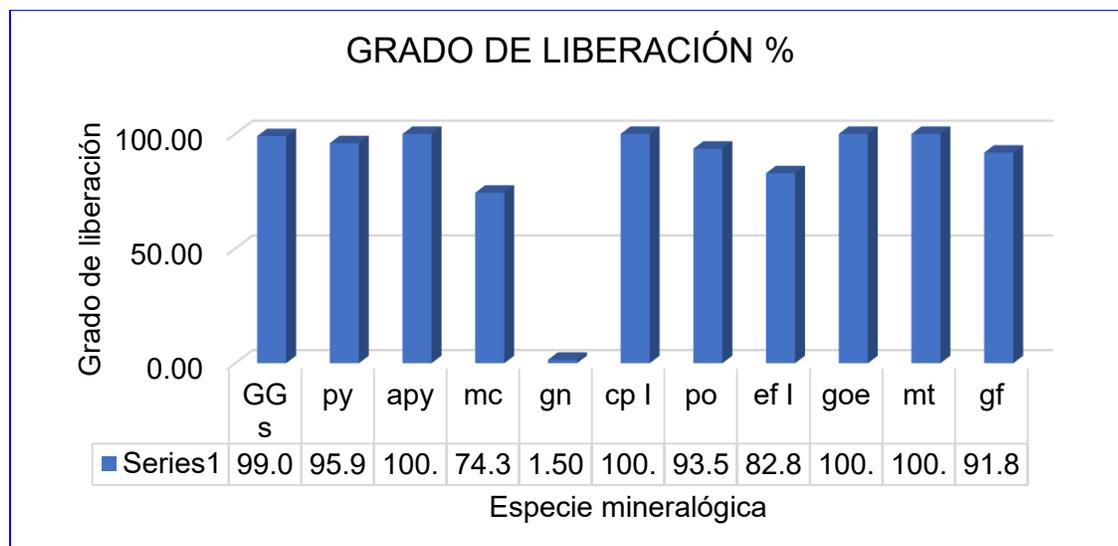
*Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño*

*+200 malla*

**Figura 22**

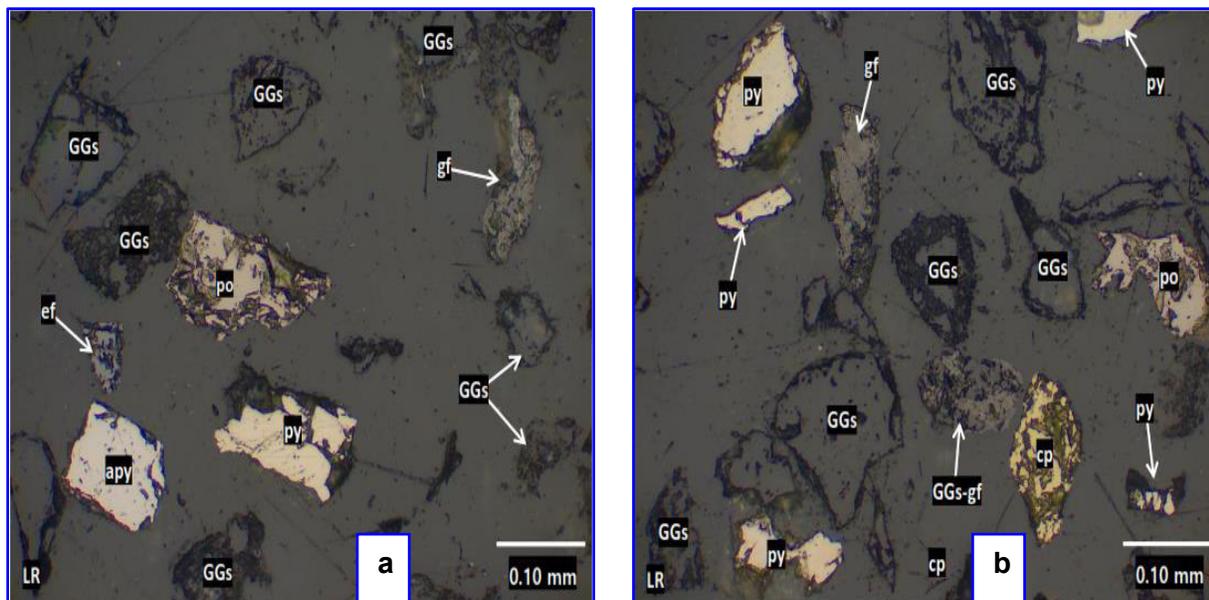
*Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +200*

*malla*



## Figura 23

Fotomicrografía de la fracción +200 malla



*Nota.* **a)** Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirita (py), calcopirita (cp), pirrotina (po), grafito (gf) y granos mixtos binario de gangas no metálicas con grafito (GGs-gf). *Fotomicrografía en LR-N//.* **b)** Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirrotina (po), pirita (py), arsenopirita (apy), grafito (gf) y esfalerita (ef). *Fotomicrografía en LR-N//.*

**5.1.4. Análisis mineralógico en fracción +325 malla.** Los minerales encontrados son los minerales de gangas no metálicas, pirita, arsenopirita, marcasita, galena, calcopirita I, estibinita, pirrotina, esfalerita I, goethita, grafito. Los amarres mineralógicos encontrados son inter crecimientos binarios de py/mc con 0.15%, GGs/py con 0.15%, GGs/esb con 0.15%, GGs/po con 0.15%, seguido de amarres ternarios de apy/cp I/po con 0.15% del porcentaje en volumen.

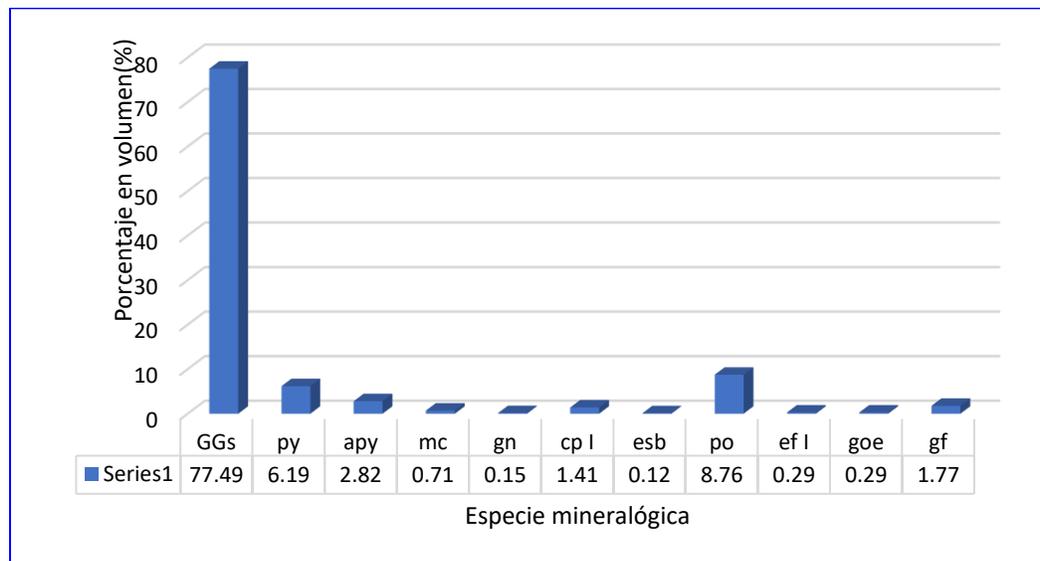
**Tabla 24***Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño +325malla*

<b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b>	
Pirita	Se encuentran en 6.19% del volumen de la muestra. Su magnitud de liberación es 99.15%.
Arsenopirita	Se encuentran en 2.82% del volumen de la muestra. Su magnitud de liberación es 97.96%.
Marcasita	Se encuentran en 0.71% del volumen de la porción muestral. Su grado de liberación es de 86.43%.
Galena	Se encuentran en 0.15% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Calcopirita I	Se encuentran en 1.41% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 99.3%
Estibina	Se encuentran en 0.12% del volumen de la muestra correspondiente a partículas mixtas de GGs/esb. Su grado de liberación es de 64%.
Pirrotina	Se encuentran en 8.76% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 98.83%.
Esfalerita I	Se encuentran en 0.29% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Goethita	Se encuentran en 0.29% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Grafito	Se encuentran en 1.77% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.

**Figura 24**

*Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño*

*+325 malla*

**Figura 25**

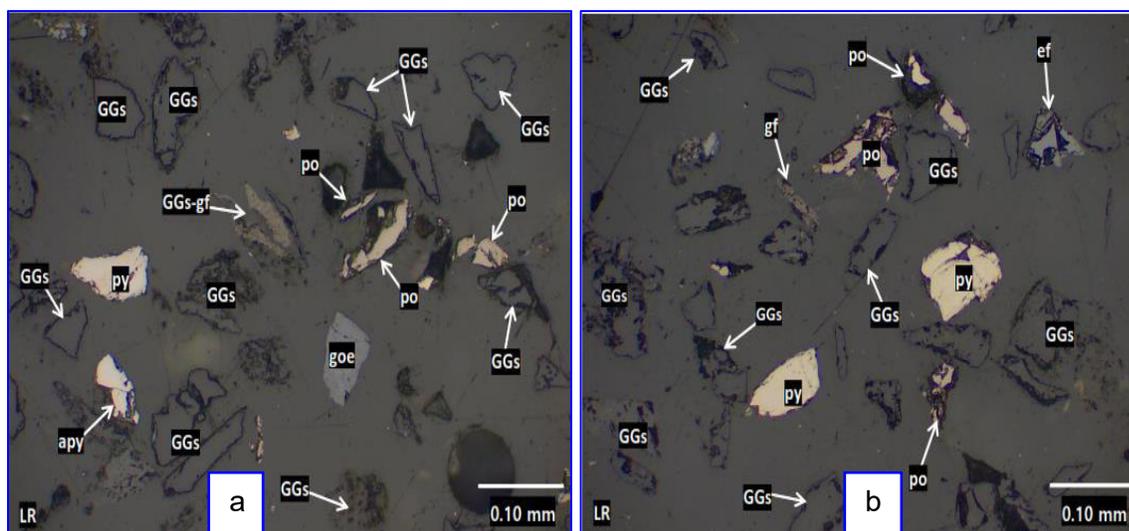
*Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño +325*

*malla*



## Figura 26

*Fotomicrografía de la fracción +325 malla*



*Nota. a)* Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirrotina (po), goethita (goe), pirita (py), arsenopirita (apy), granos mixtos de gangas no metálicas con grafito (GGs-gf).

*Fotomicrografía en LR-N//. b)* Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirrotina (po), pirita (py), pirita (py, granos mixtos de gangas no metálicas con estibinita (GGs-esb).  
*Fotomicrografía en LR-N//.*

**5.1.5. Análisis mineralógico en la fracción -325 malla.** Los minerales encontrados son los minerales de Gangas no metálicas, Pirita, Arsenopirita, Marcasita, Calcopirita I, Pirrotita, Esfalerita I y Grafito. Los amarres mineralógicos encontrados son intercrecimientos binarios de apy/cp I con 0.34%, py/mc con 0.34%, py/po con 0.34% del porcentaje en volumen.

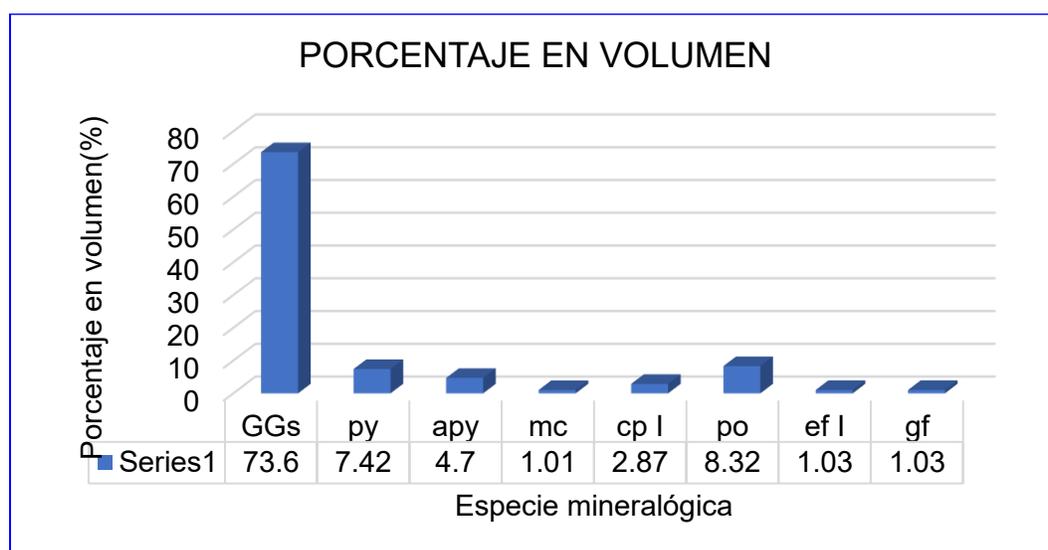
**Tabla 25**

*Descripción microscópica de minerales presentes en la fracción de tamaño -325malla*

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
Pirita	Se encuentran en 7.42% del volumen de la muestra. Su magnitud de liberación es 97.55%
Arsenopirita	Se encuentran en 4.7% del volumen de la muestra. Su magnitud de liberación es 98.75%
Marcasita	Se encuentran en 1.01% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 87.93%.
Calcopirita I	Se encuentran en 2.87% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 98.96%.
Pirrotina	Se encuentran en 8.32% del volumen de la muestra. Su grado de liberación es de 98.53%.
Esfalerita I	Se encuentran en 1.03% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.
Grafito	Se encuentran en 1.03% del volumen de la muestra, correspondiente a partículas libres. Su grado de liberación es de 100%.

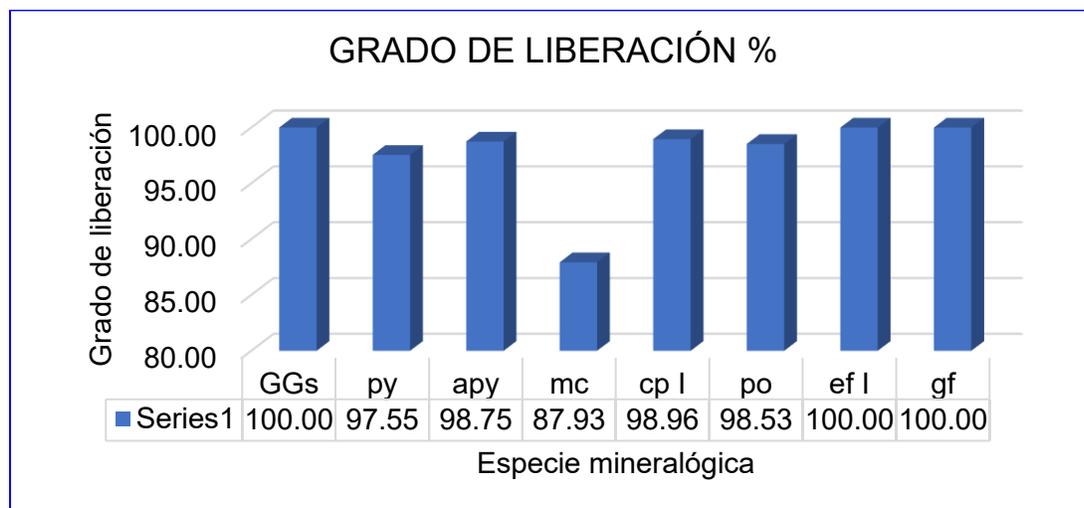
**Figura 27**

*Distribución de las especies mineralógicas en porcentaje en volumen en la fracción de tamaño - 325 malla*

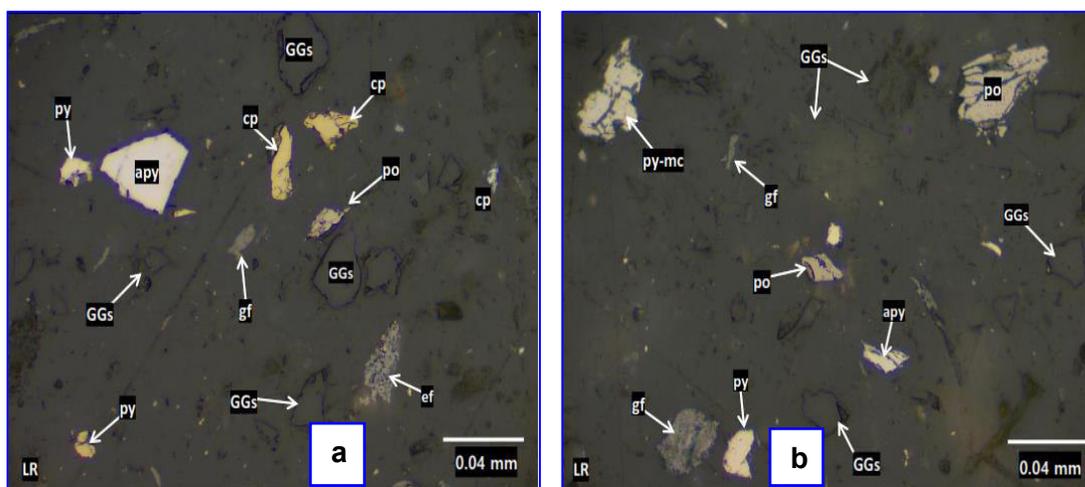


**Figura 28**

Representación porcentual de liberación de minerales presentes en la fracción de tamaño -325 malla

**Figura 29**

Fotomicrografía de la fracción -325 malla



*Nota.* **a)** Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), arsenopirita (apy), esfalerita (ef), pirrotina (po), grafito (gf) y pirita (py). *Fotomicrografía en LR-N//.* **b)** Observamos granos libres de gangas no metálicas (GGs), pirita (py), arsenopirita(apy), pirrotina (po), y grafito (gf). *Fotomicrografía en LR-N//.*

## 5.2. Resultados de las pruebas de flotación

Las pruebas de flotación se ejecutaron de acuerdo al diseño factorial con las variables seleccionadas y con tres réplicas en el punto central, haciendo un total de once pruebas. Se tomó en cuenta algunos parámetros del proceso en planta que conlleva una etapa rougher y una etapa cleaner; colectores y espumantes utilizados, granulometría y densidad de pulpa. En cuanto al orden de las pruebas se inició con tres réplicas en el punto central de las variables.

En tabla 32 de la sección anexo se presenta las condiciones, los resultados y el balance de las pruebas de flotación estándar sin el uso del carboximetil celulosa.

En la tabla 26 se presenta los resultados del grado de oro en g/TM en el concentrado obtenido de los ensayos de flotación. En la tabla 27 se muestra los resultados del contenido de carbón total(%C-Total) y contenido de carbón grafitico (%C-Graf) que tiene cada uno de los concentrados de flotación obtenidos de acuerdo a la matriz de pruebas.

**Tabla 26**

*Resultados de las pruebas de flotación consideradas en el diseño*

Prueba	VARIABLES INDEPENDIENTES					VARIABLE DEPENDIENTE	
	Codificadas			Naturales		Grado de concentrado	
	A	B	C	CMC g/TM	T. Acond. CMC (min)	pH	Au g/TM
1	0	0	0	625	3.5	9	15.05
2	0	0	0	625	3.5	9	14.41
3	0	0	0	625	3.5	9	13.84
4	-1	-1	-1	250	2.0	8	12.70
5	+1	-1	-1	1000	2.0	8	18.85
6	-1	+1	-1	250	5.0	8	11.84
7	+1	+1	-1	1000	5.0	8	18.71
8	-1	-1	+1	250	2.0	10	9.65
9	+1	-1	+1	1000	2.0	10	18.74
10	-1	+1	+1	250	5.0	10	11.75
11	+1	+1	+1	1000	5.0	10	18.43

**Tabla 27***Resultados del contenido de carbón en los concentrados*

Prueba	VARIABLES INDEPENDIENTES						CONTENIDO DE CARBÓN	
	Codificadas			Naturales			EN EL CONCENTRADO	
	A	B	C	CMC g/TM	T. Acond. CMC (min)	pH	%C Total	%C Graf.
1	0	0	0	625	3.5	9	6.68	1.10
2	0	0	0	625	3.5	9	6.17	1.00
3	0	0	0	625	3.5	9	6.37	1.00
4	-1	-1	-1	250	2.0	8	5.42	0.70
5	+1	-1	-1	1000	2.0	8	3.16	0.10
6	-1	+1	-1	250	5.0	8	5.48	0.80
7	+1	+1	-1	1000	5.0	8	4.01	0.10
8	-1	-1	+1	250	2.0	10	6.29	1.00
9	+1	-1	+1	1000	2.0	10	6.82	1.13
10	-1	+1	+1	250	5.0	10	6.67	1.10
11	+1	+1	+1	1000	5.0	10	6.71	1.20

**5.3. Análisis de resultados de las pruebas de flotación**

**5.3.1. Análisis de efectos.** La dosificación del carboximetil celulosa (CMC) influye positivamente en +7.198 sobre el grado de concentrado, la variable tiempo de acondicionamiento del CMC influye positivamente sobre el grado de concentrado en tan solo +0.198 y la variable pH influye negativamente en -0.883 sobre el grado de concentrado. En la tabla 28 y la tabla 30 se muestran los resultados del análisis estadístico.

**Tabla 28***Efectos y coeficientes codificados para el grado de concentrado*

<b>Término</b>	<b>Efecto</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante		14,906	0,224	66,55	0,000	
CMC(g/TM)	7,198	3,599	0,263	13,70	0,001	1,00
T. Acond. CMC (min)	0,198	0,099	0,263	0,38	0,732	1,00
pH	-0,883	-0,441	0,263	-1,68	0,192	1,00
CMC (g/TM) *T. Acond. CMC (min)	-0,422	-0,211	0,263	-0,80	0,480	1,00
CMC(g/TM) *pH	0,687	0,344	0,263	1,31	0,282	1,00
T. Acond. CMC (min)*pH	0,698	0,349	0,263	1,33	0,276	1,00
CMC (g/TM) *T. Acond. CMC (min)*pH	-0,782	-0,391	0,263	-1,49	0,233	1,00

**Tabla 29***Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0,742937	98,50%	95,00%	0,00%

**Tabla 30***Análisis de varianza en el grado de concentrado*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	7	108,744	15,535	28,15	0,010
Lineal	3	105,244	35,081	63,56	0,003
CMC(g/TM)	1	103,608	103,608	187,71	0,001
T. Acond. CMC(min)	1	0,078	0,078	0,14	0,732
pH	1	1,558	1,558	2,82	0,192
Interacciones de 2 términos	3	2,275	0,758	1,37	0,400
CMC (g/TM) *T. Acond. CMC (min)	1	0,357	0,357	0,65	0,480
CMC(g/TM) *pH	1	0,945	0,945	1,71	0,282
T. Acond. CMC(min)*pH	1	0,973	0,973	1,76	0,276
Interacciones de 3 términos	1	1,225	1,225	2,22	0,233
CMC (g/TM) *T. Acond. CMC(min)*pH	1	1,225	1,225	2,22	0,233
Error	3	1,656	0,552		
Curvatura	1	0,923	0,923	2,52	0,253
Error	2	0,733	0,366		
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>110,399</b>			

**Estructura de alias**

<b>Factor</b>	<b>Nombre</b>
A	CMC(g/TM)
B	T. Acond. CMC(min)
C	pH

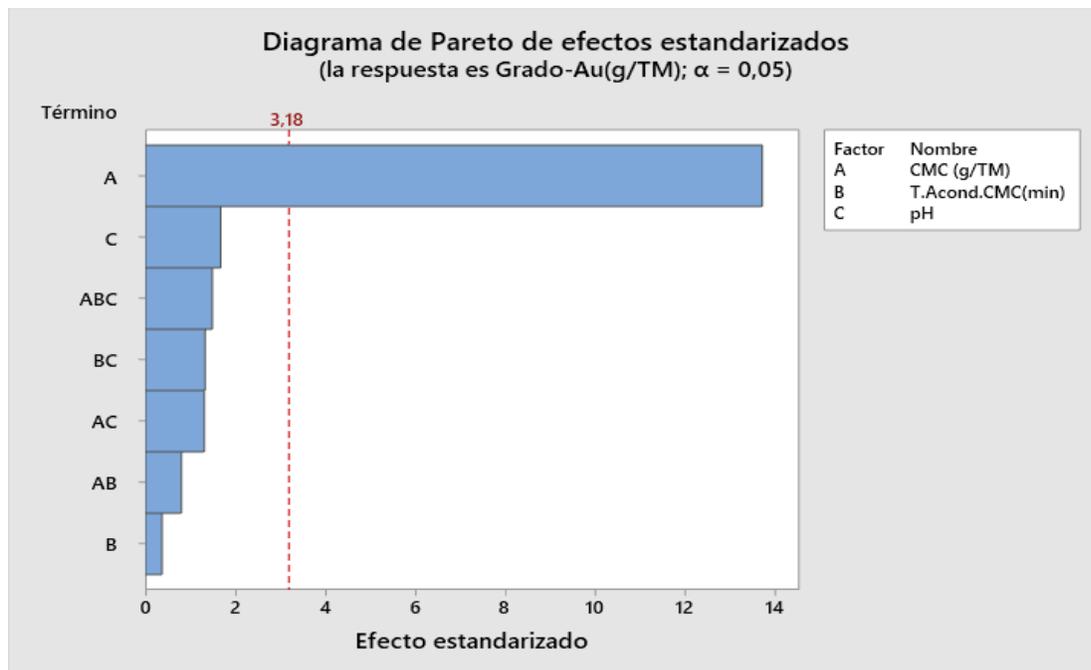
**Ecuación de regresión en unidades codificadas**

$$\text{Grado Au(g/TM)} = 38.00 - 0.0192 A - 5.70 B - 3.35 C + 0.00588 AB + 0.00335 AC + 0.667 BC - 0.000696 ABC$$

**5.3.2. Diagrama de Pareto, gráficas de contorno y efectos.** En la figura 30 mediante el diagrama de Pareto se identificó a la dosificación de CMC como variable de mayor efecto sobre el grado de concentrado. El tiempo de acondicionamiento de CMC y el pH no muestran efecto significativo sobre el grado de concentrado y tampoco la interacción entre cada una de las variables independientes.

**Figura 30**

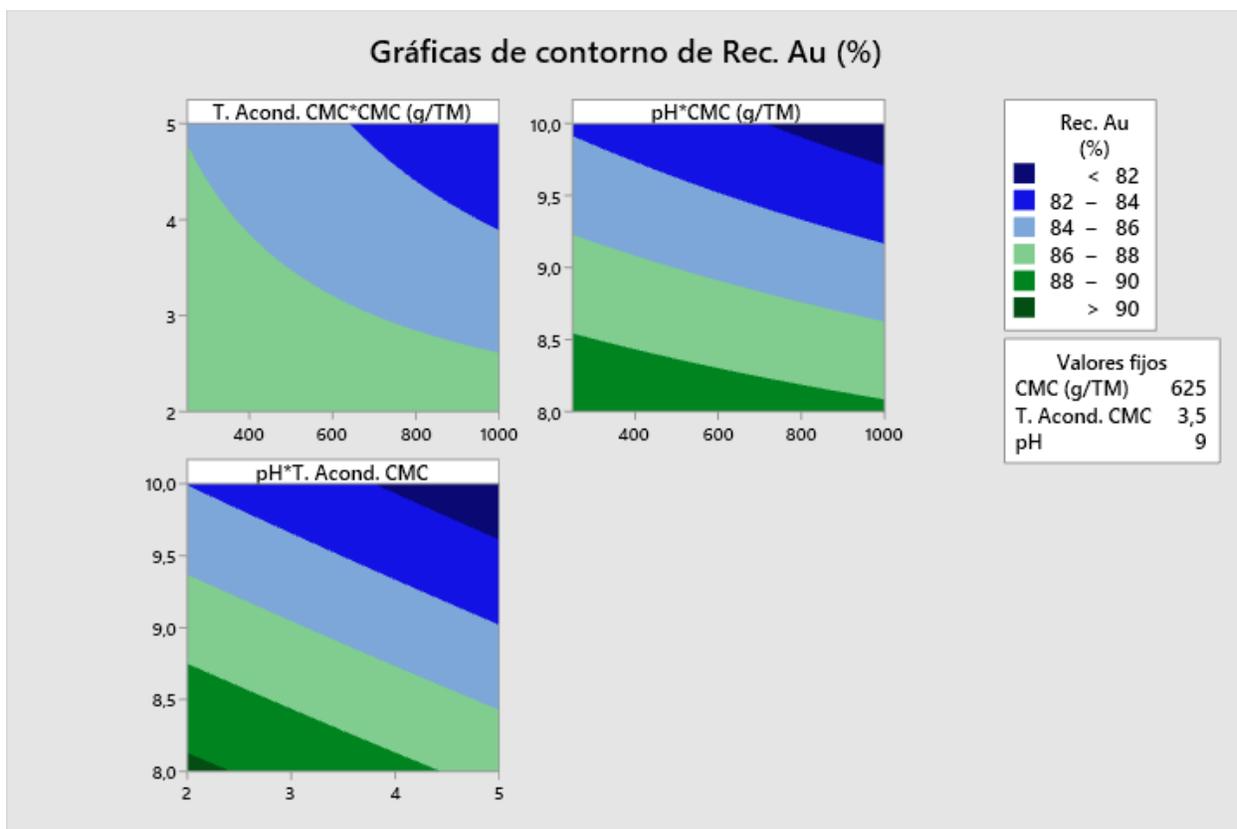
*Diagrama de Pareto de efectos estandarizado*



La figura 31 muestra las gráficas de contorno entre los pares de la dosificación de CMC, tiempo de acondicionamiento de CMC y pH, donde se observa que la dosificación de CMC tiene mayor efecto en el grado de concentrado independientemente del tiempo de acondicionamiento de CMC. El grado de concentrado supera los 18 g/TM de oro cuando la dosificación de CMC es de 1000 g/TM.

Figura 31

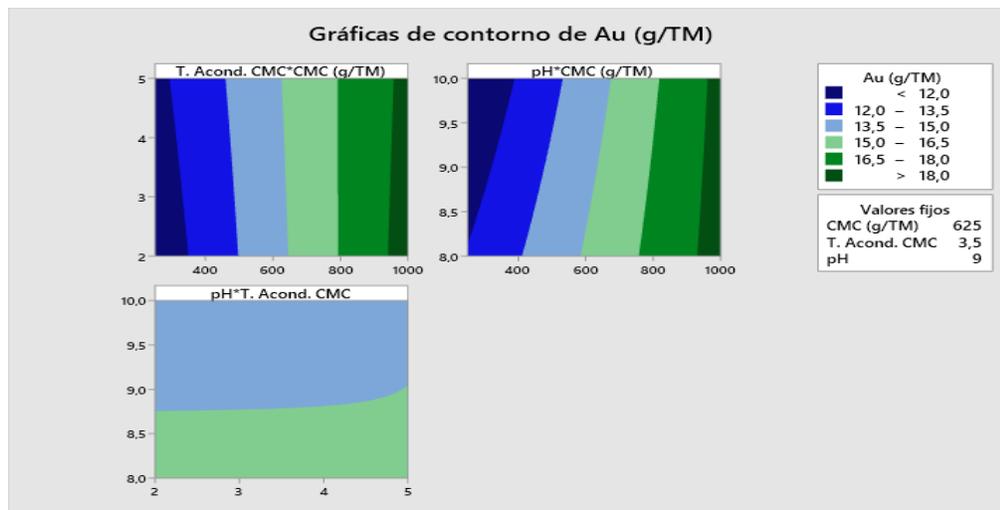
Gráfica de contorno de la recuperación de oro en la etapa rougher (%Rec. Au)



En la figura 39 se observa la gráfica de contorno generado por los pares de las variables y su efecto en la recuperación de oro en la etapa rougher de la flotación. Se observa que la interacción de la dosificación de CMC y el pH disminuyen la recuperación de oro, aunque el grado de concentrado mejora. Cuando la flotación se realiza a pH de 8.0 y tiempo de acondicionamiento de 2 minutos la recuperación de oro supera el 90%. El aumento de la dosificación del CMC y al aumento de pH genera una disminución en la recuperación de oro. Los resultados evidencian que con 1000 g/TM de CMC la recuperación de oro puede estar entre el 88% al 90%.

**Figura 32**

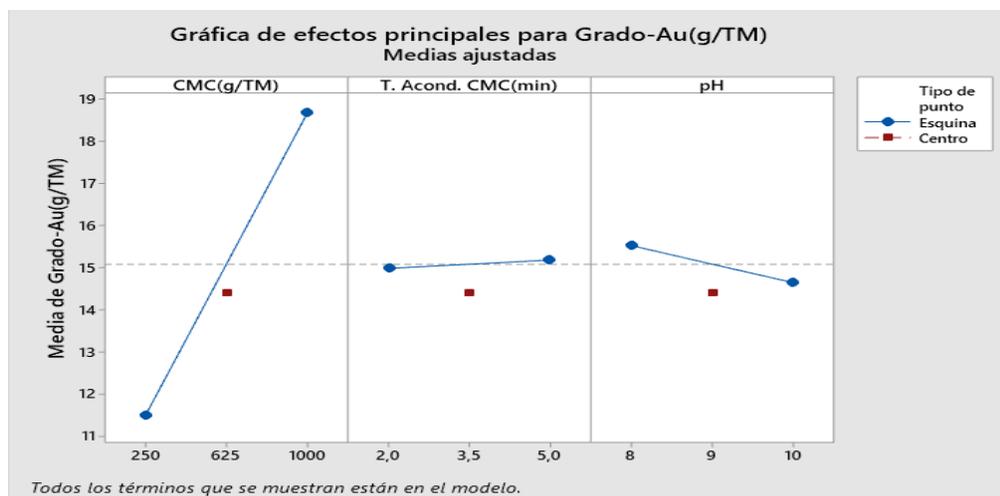
Gráfica de contorno para las variables de mayor significancia sobre el grado de concentrado (Au-g/TM)



En la figura 32 se observa los efectos de las variables independientes sobre el grado de concentrado, donde se toma en cuenta la media ajustada del grado de concentrado en los límites (esquina) y el punto central. La pendiente positiva de la recta generada por la dosificación de CMC versus el grado de concentrado indica que tiene un efecto importante cuando la dosificación aumenta de 250 g/TM a 1000 g/TM.

**Figura 33**

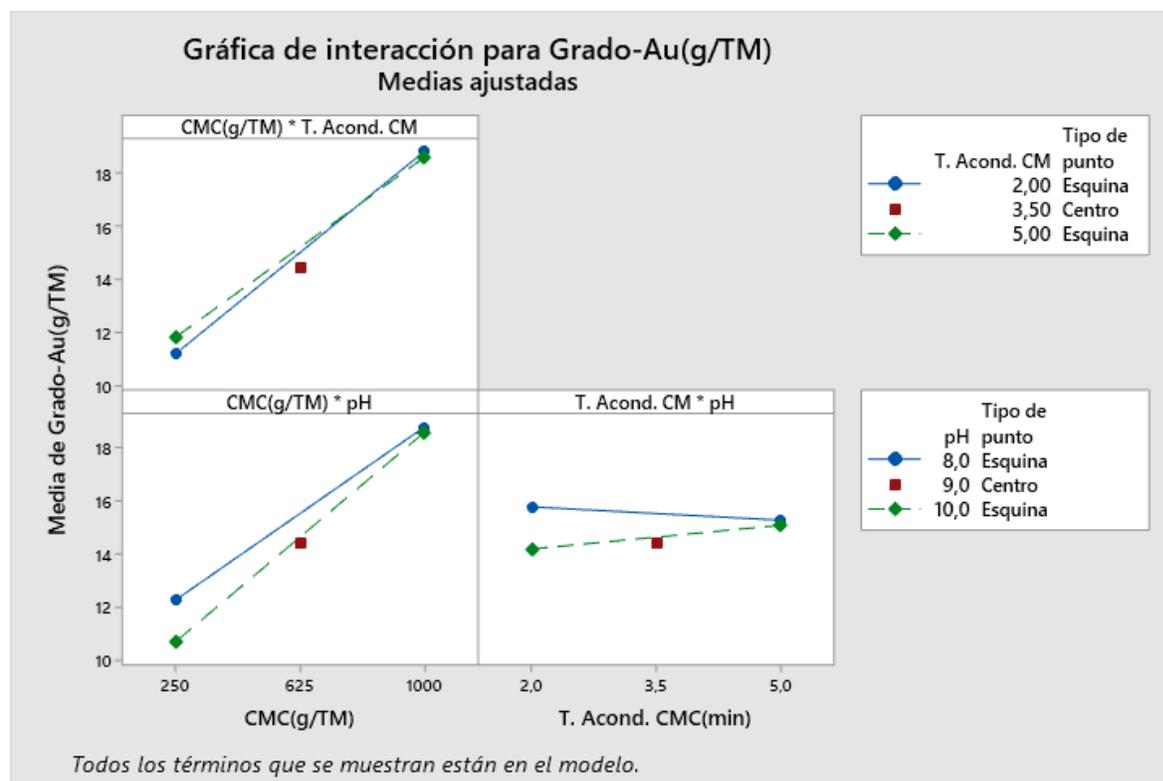
Gráfica de efectos de las variables independientes sobre el grado de concentrado



La figura 33 representa el efecto de la interacción de dos variables sobre el grado de concentrado, donde notamos claramente las pendientes de líneas rectas generadas entre las medias ajustadas del grado de concentrado. La interacción de la dosificación de CMC con el tiempo de acondicionamiento de CMC aumenta el grado de concentrado ya sea a un tiempo de acondicionamiento de CMC de 2 minutos o de 5 minutos. La interacción del tiempo de acondicionamiento de CMC con el pH no influye en el aumento del grado de concentrado como se observa en las rectas casi horizontales.

### Figura 34

Gráfica del efecto de la interacción de las variables independientes sobre el grado de concentrado

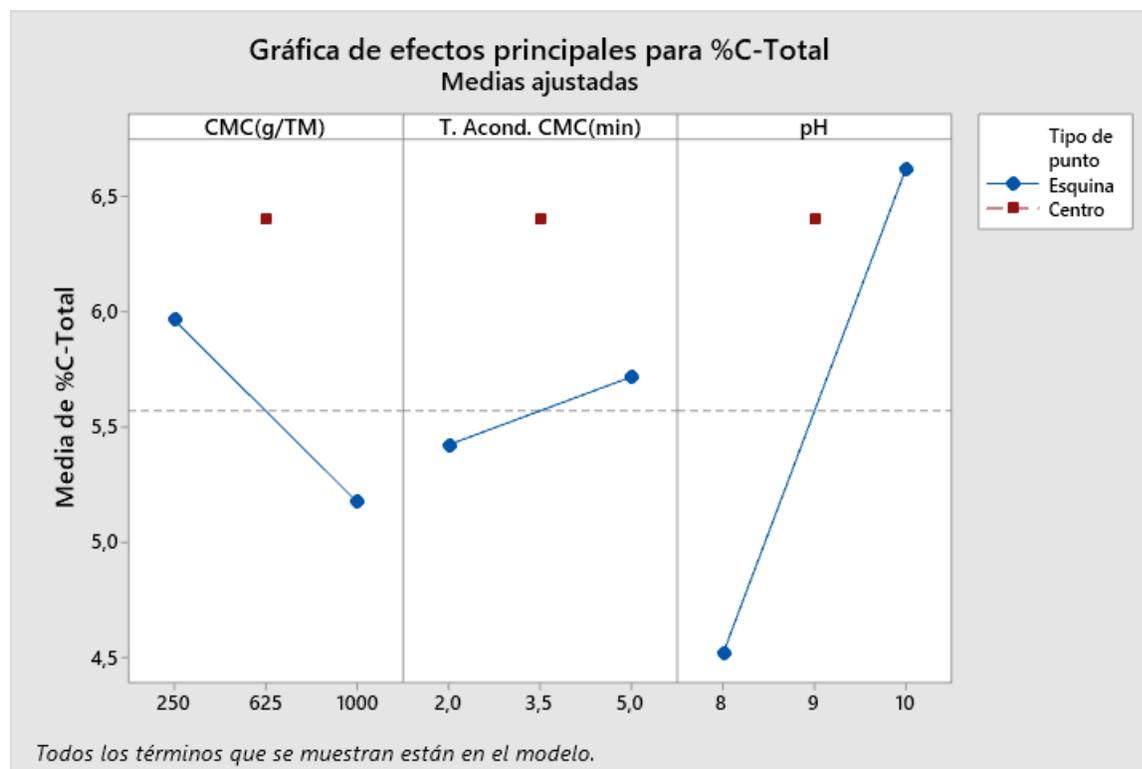


Para mostrar el efecto de las variables sobre el contenido carbón total(%C-Total) en el concentrado tenemos como resultado la figura 34. Observamos que la dosificación de

CMC(g/TM) genera una ligera disminución de carbón total en el concentrado, no ocurriendo así con el tiempo de acondicionamiento del CMC y tampoco con el pH. Por otro lado, la figura 35 muestra el efecto de la interacción de las variables sobre el contenido de carbón total (%C-Total) en el concentrado. La interacción de la dosis de CMC (g/TM) a un pH 8 genera una disminución de carbón total en el concentrado. Se deja notar también que a pH igual a 10 el contenido de carbón total no se ve afectado manteniendo valores semejantes.

### Figura 35

*Gráfica de efectos principales de las variables independientes sobre el porcentaje de carbón total (%C-Total) en el concentrado*



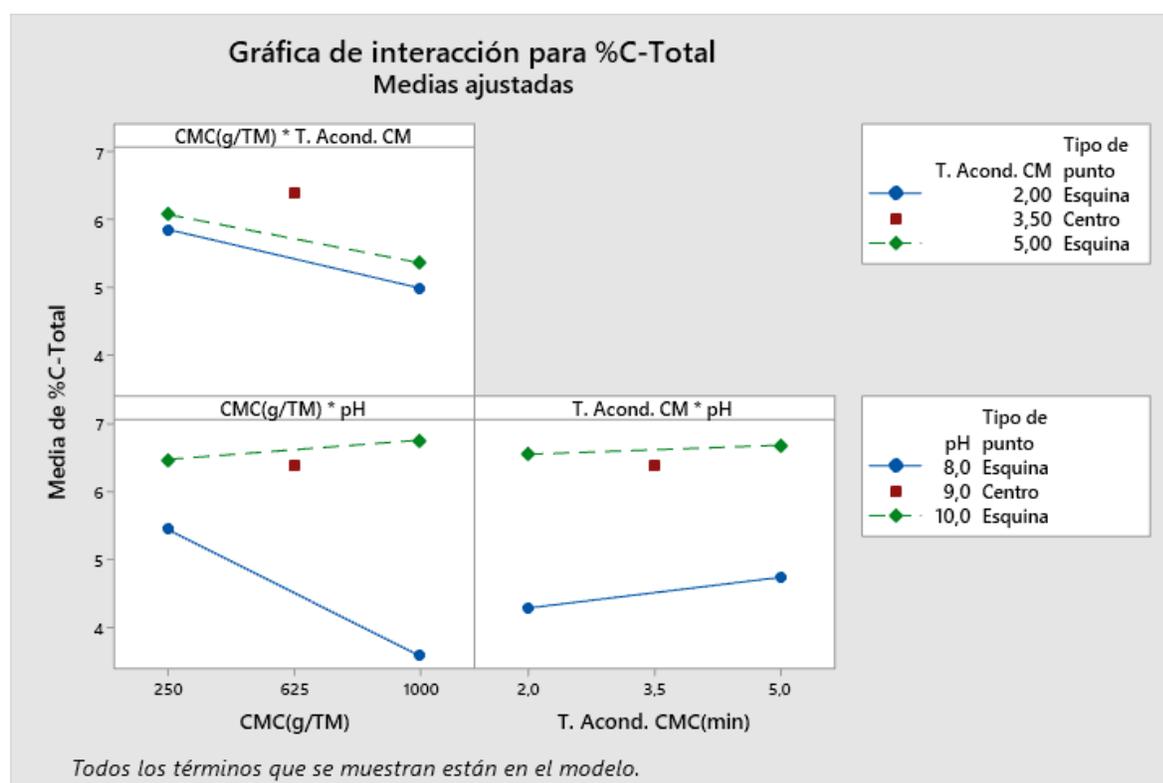
En la figura 35 se ilustra que la interacción entre la dosificación de CMC(g/TM) con el tiempo de acondicionamiento de CMC genera una ligera disminución en el contenido de carbón total en el concentrado(%C-Total), pero ocurre lo contrario cuando la interacción del tiempo de

acondicionamiento de CMC con el pH, donde el contenido de carbón total(%C-Total) en el concentrado no se ve reducido.

La interacción de la dosificación de CMC con el pH tiene un efecto sobre la reducción de carbón total en el concentrado, donde alcanza valores menores al 4% cuando las pruebas se realizan a un pH igual a 8.0.

### Figura 36

*Gráfica de efectos de la interacción de las independientes variables en el contenido de carbón total(%C-Total) en el concentrado*

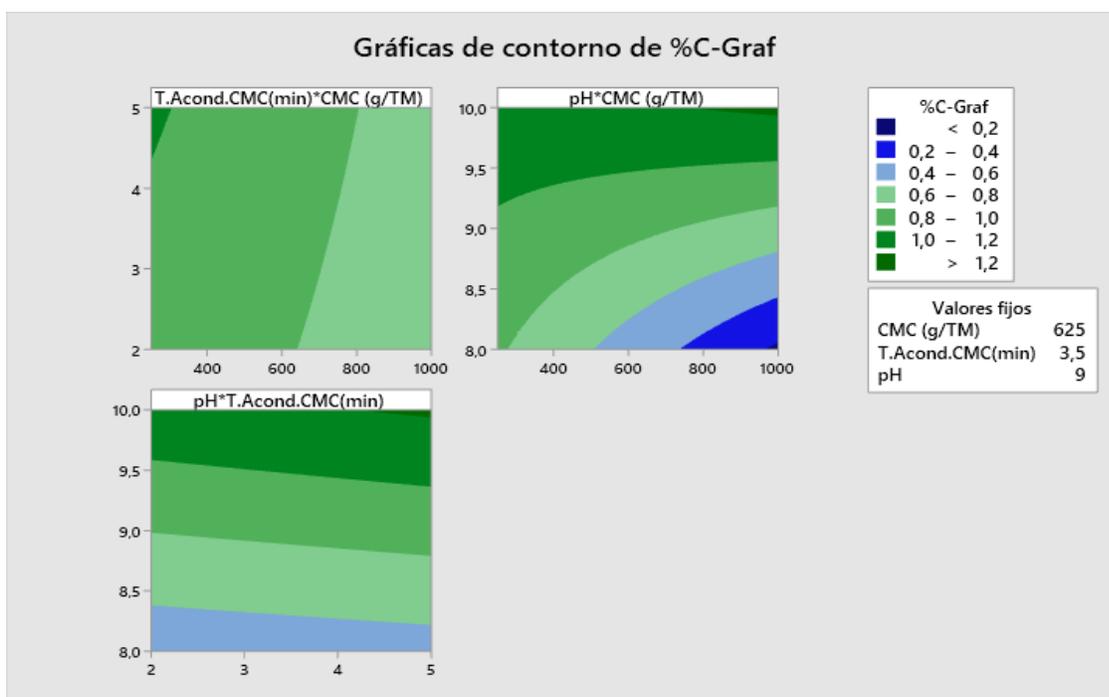


En la figura 36 ilustra, mediante gráfica de contorno, como el contenido de carbón gráfico(%C-Graf) en el concentrado varía de acuerdo con cada variable estudiada. La media del carbón gráfico en el concentrado se ve reducido cuando se trabaja a condiciones de pH igual a 8 y dosificación de CMC en 1000 g/TM. En la figura 37 ilustra los efectos principales de

las variables sobre el contenido de carbón grafitico que tienen los concentrados. Se observa que la dosificación de CMC(g/TM) tiene un efecto mayor generando una disminución de grafito en el concentrado. El tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH no tienen efecto en la reducción en el contenido de Carbón grafitico (%C-Graf). Cuando las pruebas de flotación se realizan a pH 10 el contenido de grafito en el concentrado no se ve mermado.

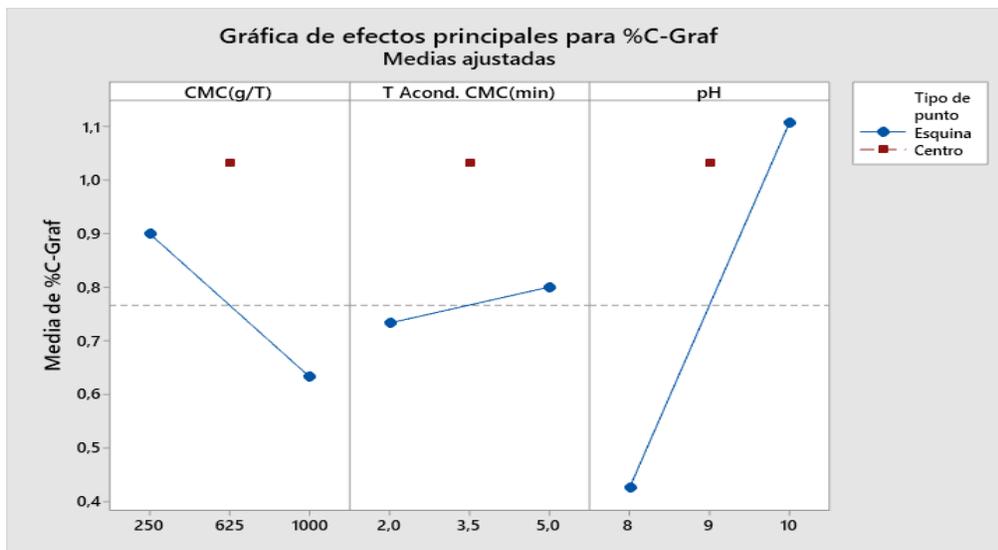
**Figura 37**

*Gráfica de contorno para las variables de mayor significancia sobre el porcentaje de carbón grafitico (%C-Graf.)*



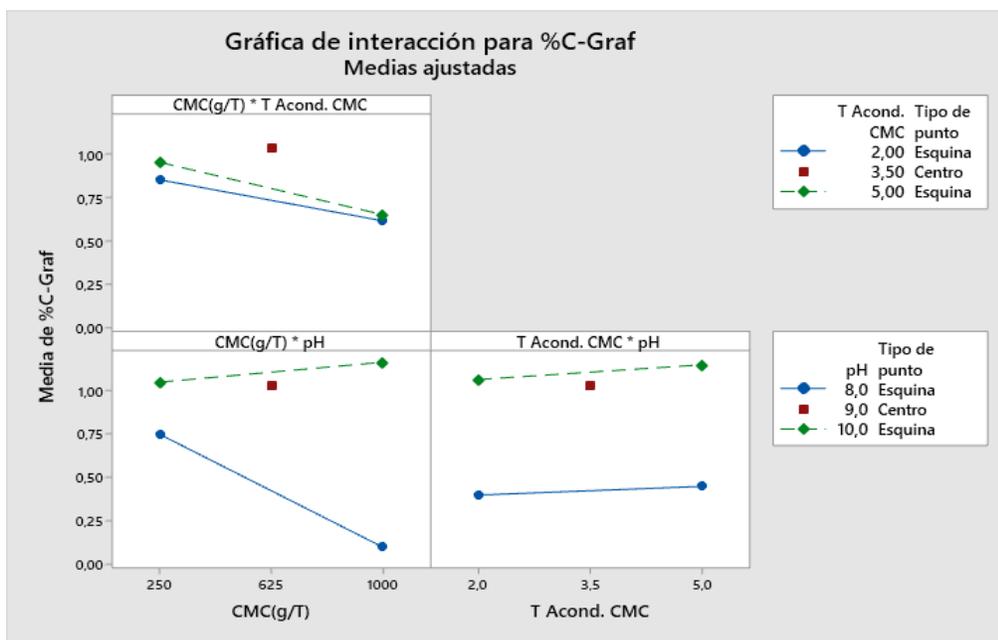
**Figura 38**

Gráfica de efectos principales de las variables independientes en el contenido de carbón gráfico (%C-Graf) en el concentrado



**Figura 39**

Gráfica del efecto de la interacción de variables independientes sobre el contenido de carbón gráfico(%C-Graf) en el concentrado



La figura 38 representa el efecto de la interacción de las variables sobre el contenido de carbón grafitico(%C-Graf) en el concentrado. La interacción de la dosificación de CMC con el pH tiene un mayor efecto generando una disminución del contenido de carbón grafitico en el concentrado. A un pH 8 y dosificación de 1000 g/TM de CMC se puede lograr una mayor disminución de grafito en el concentrado en cambio a un pH 10.0 el carbón grafitico en el concentrado no se ve reducido.

**Tabla 31**

*Resultados de la recuperación de oro en la etapa rougher de la flotación*

Prueba	VARIABLES INDEPENDIENTES					PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN	
	Codificadas			Naturales		DE Au EN ETAPA ROUGHER	
	A	B	C	CMC g/TM	T. Acond. CMC (min)	pH	% Rec. Au
1	0	0	0	625	3.5	9	81.74
2	0	0	0	625	3.5	9	85.75
3	0	0	0	625	3.5	9	82.98
4	-1	-1	-1	250	2.0	8	90.91
5	+1	-1	-1	1000	2.0	8	91.55
6	-1	+1	-1	250	5.0	8	89.85
7	+1	+1	-1	1000	5.0	8	86.66
8	-1	-1	+1	250	2.0	10	85.56
9	+1	-1	+1	1000	2.0	10	83.96
10	-1	+1	+1	250	5.0	10	83.52
11	+1	+1	+1	1000	5.0	10	79.43

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan información relevante sobre el efecto de la mineralogía en el rendimiento de la flotación de oro. El análisis mineralógico por difracción de rayos X (XRD) nos ayudó a identificar la presencia de un 1.0% de carbón grafitico en la muestra de cabeza, además nos permitió conocer la variación del carbón en el concentrado cuando se usó carboximetil celulosa. La investigación realizada por Lee et al. (2021) muestra algunas semejanzas en cuanto a la mineralogía. Ellos también encontraron la presencia de carbón grafitico en un 1.95% en muestras de oro similares, pero ejecutaron pruebas de separación por flotación de esta materia carbonosa usando MIBC como espumante y kerosene como colector. No se ha encontrado estudios semejantes al respecto, pero las observaciones claramente indican que el grafito no liberado está mayormente asociado a las gangas.
- La evaluación de algunos reactivos ayuda a mejorar la respuesta metalúrgica en la flotación de minerales de oro. El estudio realizado por Carhuachín (2021) donde evaluó combinaciones de reactivos colectores y espumantes encontró mejoras en los resultados de la ley concentrado para cierta característica de mineral. De manera semejante se evaluó la adición del carboximetil celulosa, tiempo de acondicionamiento y el pH que nos permitió aumentar el grado de concentrado aun manteniendo algunos parámetros constantes.
- En cuanto a la dosificación de CMC, los resultados indicaron que una dosificación de 1000 g/TM tuvo un efecto significativo en el aumento del grado de oro en el concentrado de flotación. Estos resultados se asemejan con la investigación de Cusquipoma (2021), donde se evaluó diferentes dispersantes y colectores en sus ensayos de flotación; y determinó que algunos de ellos, en acción conjunta, aumentaron la recuperación de oro en la etapa rougher e incluso incrementaron significativamente el grado de oro en concentrado.

- En relación al tiempo de acondicionamiento de CMC y pH, se observó que su efecto en el grado de concentrado era mínimo pero positivo. Estos resultados están respaldados por los hallazgos de López (2020), quien también investigó la recuperación de minerales auríferos polimetálicos mediante pruebas de flotación y concluyó que el tiempo de acondicionamiento no tenía un impacto significativo en los resultados de las flotaciones realizadas y el pH afecta ligeramente la recuperación de oro.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- La evaluación de la dosificación del carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento de CMC y el pH de la flotación permitieron incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico desde 8.25g/TM Au hasta 18.85g/TM Au.
- El grado de concentrado incrementado a 18.85 g/TM Au fue con una dosificación de 1000 g/TM de CMC; el cual actúa como depresor del grafito, reduciéndolo de 1.10% al 0.1%C-Graf.
- El tiempo de acondicionamiento de CMC y el pH de la flotación que permitieron el incremento del grado de concentrado fueron 2 minutos y pH 8 respectivamente.
- Los resultados del Minitab 19, en base al diseño factorial planteado para el estudio, arrojaron el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
 \text{Au (g/TM)} &= 38.0 - 0.0192 \text{ CMC (g/TM)} - 5.70 \text{ T. Acond. CMC} - 3.35 \text{ pH} \\
 &+ 0.00588 \text{ CMC (g/TM)*T. Acond. CMC} + 0.00335 \text{ CMC (g/TM)*pH} \\
 &+ 0.667 \text{ T. Acond. CMC*pH} - 0.000696 \text{ CMC (g/TM)*T. Acond. CMC*pH}
 \end{aligned}$$

## **7.2. Recomendaciones**

- Se recomienda evaluar variables como el porcentaje de sólido, granulometría, concentración de CMC, tipo de CMC entre otras; para determinar cómo influyen en el incremento del grado de concentrado y el contenido de carbón grafitico.
- Recomendable realizar un análisis mineralógico a todos los productos de las pruebas de flotación para determinar sobre que otras especies actúa el CMC.
- Realizar pruebas de flotación con mayor dosificación de carboximetil celulosa para evaluar el máximo grado de concentrado con contenido de oro al que se puede llegar, teniendo en cuenta que el CMC actúa sobre el carbón grafitico reduciendo la hidrofobicidad.
- Es importante realizar pruebas a nivel pilotaje con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. (2016). Gold ore processing: Volume 15: Project development and operations (2a ed.). Elsevier Science.
- Aldana, A. J. D. (2012). Gel de carboximetil celulosa a partir del bagazo de piña. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.
- Álvarez, F. E. V. (2011). Determinación de las condiciones de uso del almidón modificado en el mejoramiento de fórmulas alimenticias. Escuela politécnica del litoral.
- Asamoah, R. K., Zanin, M., Gascooke, J., Skinner, W., & Addai-Mensah, J. (2021). Refractory gold ores and concentrates part 1: mineralogical and physico-chemical characteristics. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 130(3), 240–252. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/25726641.2019.1626659>
- Bulatovic, S. M. (2007a). Handbook of flotation reagents: Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice flotation of sulfide ores v. 1. Elsevier Science.
- Carhuachín, K. (2021) “Formulación De Un Proceso De Flotación De Minerales Mina Servilleta – Las Lomas Piura En Laboratorio De Química De La Universidad Nacional De Piura”. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2814>
- Cheng Liua, b., Wencai, Z., Shaoxian, b. y Hongqiang, L. (2019) A novel method to improve carboxymethyl cellulose performance in the flotation of talc. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.003>
- Cobos, C. (2018) “Flotación Rougher de un Mineral Aurífero Complejo asociado a Sulfuros Polimetálicos”. <https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/ir-:datos-7809/Similar>

Crozier, R. D. (1992). *Flotation: Theory, reagents and ore testing*. Pergamon.

Cusquipoma, D. (2021) Influencia de los dispersantes en la recuperación de oro fino mediante flotación de mineral sulfurado de la minera Cori puno. [https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE\\_86335a455a735dd10c82930ba7b0e27f](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_86335a455a735dd10c82930ba7b0e27f)

Dudenov, S.V., Shubov L.Y, Glazunov, L.A. (1980). *Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos de la flotación*.

Fuerstenau, M. C., Jameson, G., & Yoon, R.-H. (Eds.). (2007). *Froth flotation: A century of innovation*. Society for Mining Metallurgy & Exploration.

García, Ch. Y. (2018). Determinación de la cinética de liberación controlada del acetaminofén a partir del gel de carboximetilcelulosa”. Instituto tecnológico de Villahermosa- Mexico.

Kumar, A., Singh, K., & Prakash Gupta, S. (2021). Application of cellulose derivatives in mineral processing. En A. Sand & S. Banga (Eds.), *Cellulose Science and Derivatives*. IntechOpen.

Lee, S.; Gibson, C.; Ghahreman, A. (2021) Flotation of Carbonaceous Matter from a Double Refractory Gold Ore: The Effect of MIBC on Flotation Performance and Kinetics. *Minerals* 2021, 11, 1021. <https://doi.org/10.3390/min11091021>

López, J. (2020) Estudio y análisis de pruebas de flotación en minerales auríferos. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/818e7ce7-e7b2-4961-b788-8f6f78d1019e/content>.

Marsden, J. O., & C Iain House (Eds.). (2006). *The chemistry of gold extraction, second edition* (2a ed.). Society for Mining Metallurgy & Exploration.

Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Universidad de concepción, Chile.

Swinkels, L., Burisch, M., Constantin, M., Rossber, A., Oelze, M., Gutzmer, J. y Frenzel, M. (2021) Gold and silver deportment in sulfide ores – A case study of the Freiberg epithermal Ag-Pb-Zn district, Germany. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687521004647?via%3Dihub>.

Wang X, Qin W, Jiao F, Yang C, Cui Y, Li W, Zhang Z. Y Song H. (2019) Mineralogy and Pretreatment of a Refractory Gold Deposit in Zambia. *Minerals*. 2019; 9(7):406. <https://doi.org/10.3390/min9070406>.

Wills, B. A., & Finch, J. H. (2016). *Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery* (8a ed.). Butterworth-Heinemann.

Zhengjun, Z., Lemming Our., Saizhen, J. y Hao, Z. (2021) The effect of sodium carboxymethyl cellulose on the entrainment of zoisite in flotation. <https://www.journalssystem.com/ppmp/The-effect-of-sodium-carboxymethyl-cellulose-on-the-entrainment-of-zoisite-in-flotation,132386,0,2.html>

## 9. ANEXO

### 9.1. Matriz de consistencia

Título de la Tesis: “EVALUACIÓN DEL CARBOXIMETIL CELULOSA (CMC) EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN DE UN MINERAL AURÍFERO POLIMETÁLICO CON CONTENIDO DE CARBÓN PARA MEJORAR EL GRADO DE CONCENTRADO, EN LA PROVINCIA DE AZUAY-ECUADOR”				
HIPÓTESIS				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
			NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿De qué manera influye dosificación del carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH en la mejora del grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay - Ecuador?	Evaluar la dosificación del carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH que permitan mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay – Ecuador.	El carboximetil celulosa (CMC), el tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH mejorarán el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón, en la provincia de Azuay - Ecuador.	Dosificación de CMC Tiempo de acondicionamiento de CMC Potencial de hidrógeno(pH)	Datos recolectados mediante la dosificación con probeta Valores establecidos en diseño Valores establecidos en diseño y tomado con medidor de pH
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
Problema Específico N° 1	Objetivo Específico N°1	Hipótesis Específica N°1	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cómo la dosificación del carboximetil celulosa (CMC) ayuda a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?	Determinar si la dosificación de carboximetil celulosa (CMC) ayuda a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.	La dosificación de carboximetil celulosa (CMC) ayudará a mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico que contiene carbón.	Dosificación de CMC	Valores establecidos en diseño Dosificación en ml y se reportan en g/TM
Problema Específico N°2	Objetivo específico N°2	Hipótesis Específica N°2	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cómo el incremento del pH influye en el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?	Establecer si el incremento del pH permite mejorar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.	El incremento del pH influirá en la mejora del grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico.	Tiempo de acondicionamiento de CMC Potencial de hidrógeno(pH)	Datos recolectados mediante la dosificación con probeta Valores establecidos en diseño y tomado con medidor de pH
Problema Específico N°3	Objetivo específico N°3	Hipótesis Específica N°3	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿De qué manera la interacción de la dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH ayuda a incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón?	Comprobar si la interacción entre dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH ayuda a incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.	La interacción de la dosificación del CMC, tiempo de acondicionamiento del CMC y el pH permitirá incrementar el grado de concentrado de flotación de un mineral aurífero polimetálico con contenido de carbón.	Dosificación de CMC Potencial de hidrógeno(pH) Tiempo de acondicionamiento de CMC	Datos recolectados mediante la dosificación con probeta Valores establecidos en diseño Análisis con Minitab 19.

## 9.2. Resultados de pruebas de flotación

**Tabla 32**

*Condiciones y balance de la prueba de flotación estándar sin CMC*

<b>PRUEBA</b>	<b>Estándar</b>
pH	8,0
Ca(OH) <sub>2</sub>	0,0 kg/TM

<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>				<b>Tiempo (min)</b>
	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond.	37	38	19	67	5.00
Rougher 1					5.00
Rougher 2	25			22	3.00
Cleaner 1					3.00

### **Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley Au (g/TM)</b>	<b>Finos Au (gr)</b>	<b>Distribución % Au</b>	<b>Ratio</b>
1	Conc. Cleaner	118.60	14.60	8.25	0.00098	72.83	6.85
2	Relave Cleaner	80.30	9.89	2.56	0.00021	15.30	
1-2	Conc. Rougher	198.90	24.49	5.95	0.00118	88.13	
3	Relave final	613.20	75.51	0.26	0.00016	11.87	
	Cabeza Calculada	812.10	100.00	1.65	0.00134	100.00	

**Tabla 33***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-01*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-01</b>				
pH		9,0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0,547 kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	625					3,50
Acond. 2		37	38	19	67	5,00
Rougher 1						5,00
Rougher 2		25			22	3,00
Cleaner 1						3,00

**Balance Metalúrgico**

ITEM	Producto	Peso(g)	% Peso	Ley Au (g/TM)	Finos Au (gr)	Distribución % Au	Ratio
1	Conc. Cleaner	71.90	8.94	15.05	0.00108	<b>71.81</b>	11.19
2	Relave Cleaner	77.50	9.63	1.93	0.00015	<b>9.93</b>	
1-2	Conc. Rougher	149.40	18.57	8.24	0.00123	<b>81.74</b>	
3	Relave final	655.30	81.43	0.42	0.00028	18.26	
	Cabeza Calculada	804.70	100.00	1.87	0.00151	100.00	

**Tabla 34***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-02*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-02</b>				
pH		9.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0.5 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	625					3.50
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc. Cleaner	76.50	9.51	14.41	0.00110	<b>75.21</b>	10.52
2	Relave Cleaner	75.30	9.36	2.05	0.00015	<b>10.53</b>	
1-2	Conc. Rougher	151.80	18.87	8.28	0.00126	<b>85.75</b>	
3	Relave final	652.80	81.13	0.32	0.00021	14.25	
	Cabeza Calculada	804.60	100.00	1.82	0.00147	100.00	

**Tabla 35***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-03*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-03</b>				
pH		9.0				
Ca(OH) <sub>2</sub> (Kg/TM)		0.5 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	625					3.50
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	77.20	9.61	13.84	0.00107	<b>72.97</b>	10.41
2	Relave Cleaner	70.80	8.81	2.07	0.00015	<b>10.01</b>	
1-2	Conc. Rougher	148.00	18.41	8.21	0.00122	<b>82.98</b>	
3	Relave final	655.70	81.59	0.38	0.00025	17.02	
	Cabeza Calculada	803.70	100.00	1.82	0.00146	100.00	

Tabla 36

Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-04

PRUEBA		EXP-LR-04				
pH		8.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0.0 Kg/TM				
Etapa	Reactivo (g/TM)					Tiempo (min)
	CMC	AXK	MT-3682	A-208	DF-1210	
Acond. 1	250					2.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

ITEM	Producto	Peso(g)	% Peso	Ley	Finos	Distribución	Ratio
				Au (g/TM)	Au (gr)	% Au	
1	Conc Cleaner	108.80	13.50	12.70	0.00138	<b>81.75</b>	7.41
2	Relave Cleaner	82.30	10.21	1.88	0.00015	<b>9.15</b>	
1-2	Conc. Rougher	191.10	23.71	8.04	0.00154	<b>90.91</b>	
3	Relave final	614.80	76.29	0.25	0.00015	9.09	
	Cabeza Calculada	805.90	100.00	2.10	0.00169	100.00	

**Tabla 37***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-05*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-05</b>				
pH		8.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0.0 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	1000					2.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	64.60	8.09	18.85	0.00122	<b>81.33</b>	12.37
2	Relave Cleaner	68.60	8.59	2.23	0.00015	<b>10.22</b>	
1-2	Conc. Rougher	133.20	16.67	10.29	0.00137	<b>91.55</b>	
3	Relave final	665.80	83.33	0.19	0.00013	8.45	
	Cabeza Calculada	799.00	100.00	1.87	0.00150	100.00	

**Tabla 38***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-06*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-06</b>				
pH		8.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0.0 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	250					5.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	109.70	13.53	11.84	0.00130	<b>81.27</b>	7.39
2	Relave Cleaner	77.50	9.56	1.77	0.00014	<b>8.58</b>	
1-2	Conc. Rougher	187.20	23.08	7.67	0.00144	<b>89.85</b>	
3	Relave final	623.80	76.92	0.26	0.00016	10.15	
	Cabeza Calculada	811.00	100.00	1.97	0.00160	100.00	

**Tabla 39***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-07*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-07</b>				
pH		8.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		0.0 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	1000					5.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	66.90	8.27	18.71	0.00125	<b>77.69</b>	12.09
2	Relave Cleaner	70.50	8.71	2.05	0.00014	<b>8.97</b>	
1-2	Conc. Rougher	137.40	16.98	10.16	0.00140	<b>86.66</b>	
3	Relave final	671.60	83.02	0.32	0.00021	13.34	
	Cabeza Calculada	809.00	100.00	1.99	0.00161	100.00	

Tabla 40

Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-08

PRUEBA		EXP-LR-08				
pH		10.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		1.36 Kg/TM				
Etapa	Reactivo (g/TM)					Tiempo (min)
	CMC	AXK	MT-3682	A-208	DF-1210	
Acond. 1	250					2.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

ITEM	Producto	Peso(g)	% Peso	Ley	Finos	Distribución	Ratio
				Au (g/TM)	Au (gr)	% Au	
1	Conc Cleaner	96.70	11.93	9.65	0.00093	<b>75.38</b>	8.38
2	Relave Cleaner	75.50	9.31	1.67	0.00013	<b>10.18</b>	
1-2	Conc. Rougher	172.20	21.24	6.15	0.00106	<b>85.56</b>	
3	Relave final	638.40	78.76	0.28	0.00018	14.44	
	Cabeza Calculada	810.60	100.00	1.53	0.00124	100.00	

**Tabla 41***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-09*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-09</b>				
pH		10.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		1.35 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	1000					2.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	60.50	7.47	18.74	0.00113	<b>74.15</b>	13.39
2	Relave Cleaner	68.50	8.45	2.19	0.00015	<b>9.81</b>	
1-2	Conc. Rougher	129.00	15.92	9.95	0.00128	<b>83.96</b>	
3	Relave final	681.30	84.08	0.36	0.00025	16.04	
	Cabeza Calculada	810.30	100.00	1.89	0.00153	100.00	

**Tabla 42***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-10*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-10</b>				
pH		10.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		1.36 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	250					5.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	91.10	11.21	11.75	0.00107	<b>72.81</b>	8.92
2	Relave Cleaner	83.80	10.32	1.88	0.00016	<b>10.72</b>	
1-2	Conc. Rougher	174.90	21.53	7.02	0.00123	<b>83.52</b>	
3	Relave final	637.50	78.47	0.38	0.00024	16.48	
	Cabeza Calculada	812.40	100.00	1.81	0.00147	100.00	

**Tabla 43***Condiciones y balance de la prueba de flotación EXP-LR-11*

<b>PRUEBA</b>		<b>EXP-LR-11</b>				
pH		10.0				
Ca(OH) <sub>2</sub>		1.34 Kg/TM				
<b>Etapa</b>	<b>Reactivo (g/TM)</b>					<b>Tiempo (min)</b>
	<b>CMC</b>	<b>AXK</b>	<b>MT-3682</b>	<b>A-208</b>	<b>DF-1210</b>	
Acond. 1	1000					5.00
Acond. 2		37	38	19	67	5.00
Rougher 1						5.00
Rougher 2		25			22	3.00
Cleaner 1						3.00

**Balance Metalúrgico**

<b>ITEM</b>	<b>Producto</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Finos</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ratio</b>
				<b>Au (g/TM)</b>	<b>Au (gr)</b>	<b>% Au</b>	
1	Conc Cleaner	59.72	7.38	18.43	0.00110	<b>70.15</b>	13.55
2	Relave Cleaner	62.74	7.75	2.32	0.00015	<b>9.28</b>	
1-2	Conc. Rougher	122.46	15.13	10.18	0.00125	<b>79.43</b>	
3	Relave final	686.71	84.87	0.47	0.00032	20.57	
	Cabeza Calculada	809.17	100.00	1.94	0.00157	100.00	

### 9.3. Reporte de laboratorio externo

**Figura 40**

*Resultados de análisis de carbón en muestra de concentrados de flotación*

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
125145	EXP-LR-01 CONC.CL 23-12-2022	C Total	C	6.68	%	0.01 a 100
125145	EXP-LR-01 CONC.CL 23-12-2022	C Orgánico	C	5.27	%	0.01 a 100
125145	EXP-LR-01 CONC.CL 23-12-2022	C Grafítico	C	1.1	%	0.1 a 50
125146	EXP-LR-02 CONC.CL 23-12-2022	C Total	C	6.17	%	0.01 a 100
125146	EXP-LR-02 CONC.CL 23-12-2022	C Orgánico	C	4.91	%	0.01 a 100
125146	EXP-LR-02 CONC.CL 23-12-2022	C Grafítico	C	1.0	%	0.1 a 50
125147	EXP-LR-03 CONC.CL 23-12-2022	C Total	C	6.37	%	0.01 a 100
125147	EXP-LR-03 CONC.CL 23-12-2022	C Orgánico	C	5.05	%	0.01 a 100
125147	EXP-LR-03 CONC.CL 23-12-2022	C Grafítico	C	1.0	%	0.1 a 50
125148	EXP-LR-04 CONC.CL 24-12-2022	C Total	C	5.42	%	0.01 a 100
125148	EXP-LR-04 CONC.CL 24-12-2022	C Orgánico	C	3.85	%	0.01 a 100
125148	EXP-LR-04 CONC.CL 24-12-2022	C Grafítico	C	0.7	%	0.1 a 50
125149	EXP-LR-05 CONC.CL 24-12-2022	C Total	C	3.16	%	0.01 a 100
125149	EXP-LR-05 CONC.CL 24-12-2022	C Orgánico	C	2.26	%	0.01 a 100
125149	EXP-LR-05 CONC.CL 24-12-2022	C Grafítico	C	0.1	%	0.1 a 50
125150	EXP-LR-06 CONC.CL 24-12-2022	C Total	C	5.48	%	0.01 a 100
125150	EXP-LR-06 CONC.CL 24-12-2022	C Orgánico	C	4.04	%	0.01 a 100
125150	EXP-LR-06 CONC.CL 24-12-2022	C Grafítico	C	0.8	%	0.1 a 50

Notas:



LABORATORIO  
**PLENGE**

REPORTE DE LABORATORIO N° **L000021554**

Pág. 1

Cliente: JOEL GIL MEDINA  
 Dirección: S/N  
 RUC / DNI /Otros: 47144895  
 Atención:  
 Referencias: Mostrador

Orden de Trabajo:  
 Fecha de Ingreso: 16/03/2023  
 Fecha de Resultados: 19/03/2023  
 Cantidad de Muestras: 11



LABORATORIO  
**PLENGE**

REPORTE DE LABORATORIO N° **L000021554**

Pág. 2

Cliente: JOEL GIL MEDINA  
 Dirección: S/N  
 RUC / DNI /Otros: 47144895  
 Atención:  
 Referencias: Mostrador

Orden de Trabajo:  
 Fecha de Ingreso: 16/03/2023  
 Fecha de Resultados: 19/03/2023  
 Cantidad de Muestras: 11

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
125151	EXP-LR-07 CONC.CL 24-12-2022	C Total	C	4.01	%	0.01 a 100
125151	EXP-LR-07 CONC.CL 24-12-2022	C Orgánico	C	2.92	%	0.01 a 100
125151	EXP-LR-07 CONC.CL 24-12-2022	C Grafítico	C	0.1	%	0.1 a 50
125152	EXP-LR-08 CONC.CL 24-12-2022	C Total	C	6.29	%	0.01 a 100
125152	EXP-LR-08 CONC.CL 24-12-2022	C Orgánico	C	4.79	%	0.01 a 100
125152	EXP-LR-08 CONC.CL 24-12-2022	C Grafítico	C	1.0	%	0.1 a 50
125153	EXP-LR-09 CONC.CL 25-12-2022	C Total	C	6.82	%	0.01 a 100
125153	EXP-LR-09 CONC.CL 25-12-2022	C Orgánico	C	5.14	%	0.01 a 100
125153	EXP-LR-09 CONC.CL 25-12-2022	C Grafítico	C	1.3	%	0.1 a 50
125154	EXP-LR-10 CONC.CL 25-12-2022	C Total	C	6.67	%	0.01 a 100
125154	EXP-LR-10 CONC.CL 25-12-2022	C Orgánico	C	4.68	%	0.01 a 100
125154	EXP-LR-10 CONC.CL 25-12-2022	C Grafítico	C	1.1	%	0.1 a 50
125155	EXP-LR-11 CONC.CL 25-12-2022	C Total	C	6.71	%	0.01 a 100
125155	EXP-LR-11 CONC.CL 25-12-2022	C Orgánico	C	5.11	%	0.01 a 100
125155	EXP-LR-11 CONC.CL 25-12-2022	C Grafítico	C	1.2	%	0.1 a 50

Notas:

vººº

C.H. PLENGE & CIA. S.A

*Alicia Humanizarra*  
 ALICIA HUMANIZARRA  
 ING. QUÍMICO CIP 32143

Nota. Tomado del reporte de análisis del laboratorio externo

## Figura 41

Resultados de análisis ICP de muestra de cabeza.



**LABORATORIO  
PLENGE**

**REPORTE No.21654**

**Cliente:** JOEL GIL MEDINA  
**Muestra:** XPLR CABEZA 01-04-2023  
**CHP:** 125650

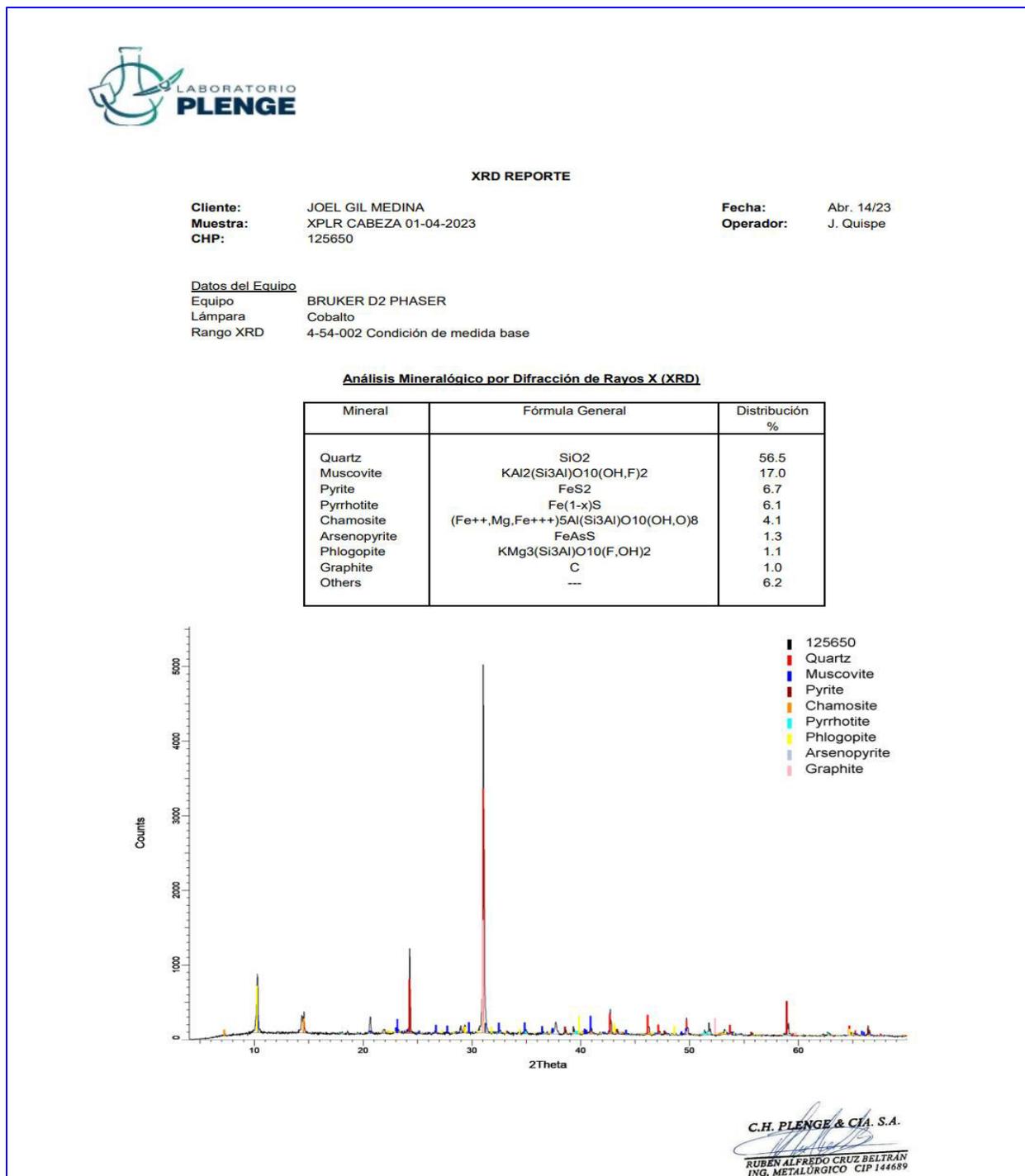
Elemento		Ensaye
Al	%	4.82
K	%	1.77
Na	%	0.17
Si	%	28.6
S total	%	6.16
C total	%	1.37
C organico	%	0.77
ICP - Multielementos		
Ca	%	0.30
Cu	%	0.09
Fe	%	8.57
Mg	%	0.32
Mn	%	0.02
Pb	%	0.01
Ti	%	0.05
Zn	%	0.08
Ag	ppm	10
As	ppm	5865
Ba	ppm	243
Be	ppm	2
Bi	ppm	<5
Cd	ppm	18
Co	ppm	27
Cr	ppm	63
Mo	ppm	9
Ni	ppm	36
P	ppm	387
Sb	ppm	8
Sc	ppm	3
Sn	ppm	9
Sr	ppm	26
V	ppm	87
W	ppm	<1
Y	ppm	2
Zr	ppm	<1

**C.H. PLENGE & CIA. S.A.**  
  
**RUBÉN ALFREDO CRUZ BELTRÁN**  
 ING. METALÚRGICO CIP 144659

Nota. Tomado del reporte de análisis del laboratorio externo

Figura 42

Resultados de análisis XDR a muestra de cabeza

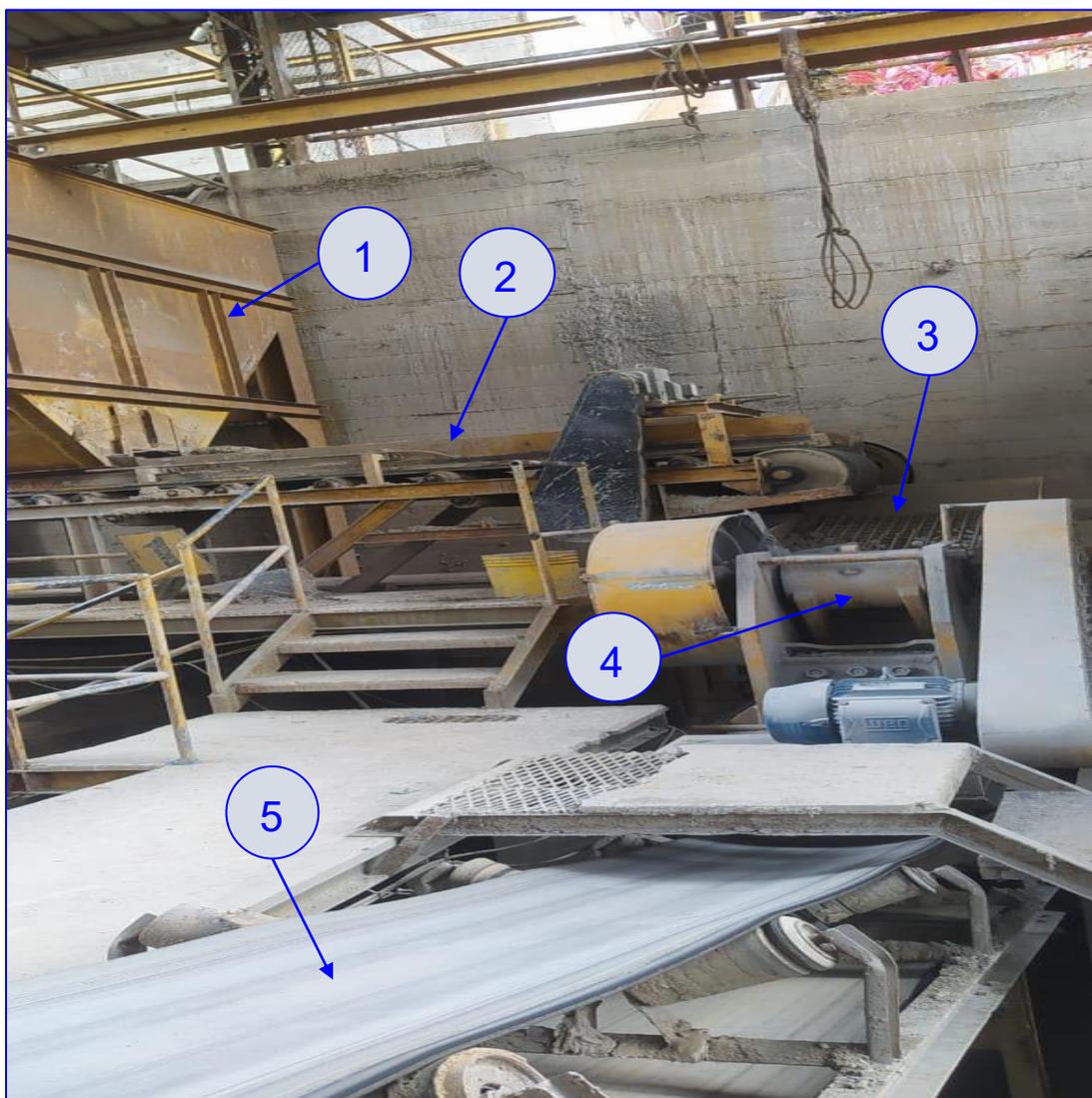


Nota. Tomado del reporte de análisis del laboratorio externo

#### 9.4. Fotografías de planta de procesos

Figura 43

Área de almacenamiento de gruesos, clasificación y trituración en planta de beneficio



*Nota.* En la parte superior izquierda se observa la tolva de almacenamiento de mineral grueso (1) que es extraído por medio de una faja transportadora (2) hacia una zaranda vibratoria (3) para la clasificación y el sobre tamaño (o ver size) ingresa a la trituradora (4). El mineral triturado y el under size es transportado por la faja transportadora (5) vista en la parte inferior de la imagen.

**Figura 44**

*Molino de arrastre (“chileno”) del área de molienda y concentración gravimétrica en bayetas*



*Nota.* En la parte superior observa un molino chileno (1) con compuertas (2) con malla de evacuación de mineral molido y seis canales (C1, C2, C3, C4, C5 y C6) por donde fluye la pulpa de mineral. En estos canales se han extendido bayetas (3) para la retención de oro grueso liberado en la molienda.

**Figura 45**

*Circuito del proceso de flotación en planta.*



Nota. Se observa el circuito de flotación constituido por un tanque acondicionador de reactivos, visto en la parte superior; una celda limpieza (CL) y cuatro celdas rougher (R1, R2, R3, R4).

**Figura 46**

*Imagen comparativa de la espuma de dos pruebas de flotación*



**Nota. A:** En la imagen se observa la espuma de la prueba de flotación con dosificación de 250g/TM de CMC. Se observa una espuma muy densa con coloración gris oscuro por la presencia de grafito.

**B:** En la imagen se observa la espuma de la prueba de flotación con dosificación de 1000g/TM de CMC. Se observa una espuma más selectiva y estable con una coloración amarillo verdoso característico de la pirita sin presencia de grafito.