

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250 para la recuperación de
Cobre/Plomo y Zinc en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad**

Huaron - 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Sindy Gianina AQUINO CONDORI

Bach. Abigail Syndy ALVINO DAGA

Asesor:

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**Evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250 para la recuperación de
Cobre/Plomo y Zinc en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad
Huaron - 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
PRESIDENTE

Dr. Cayo PALACIOS ESPIRITU
MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 350-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250 para la recuperación de
Cobre/Plomo y Zinc en la Empresa Minera Pan American Silver –
Unidad Huaron- 2024**

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. Sindy Gianina AQUINO CONDORI

Bach. Abigail Syndy ALVINO DAGA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Eusebio ROQUE HUAMÁN

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

8 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 27 de noviembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
SIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.11.2025 10:43:33 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos con bastante y aprecio y reconocimiento a nuestros padres, por ser el pilar fundamental en nuestras vida, por su amor incondicional, su apoyo incansable y sus enseñanzas que han guiado cada uno de nuestros pasos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por brindarnos salud, fortaleza y sabiduría para alcanzar esta meta.

A nuestros padres, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la base de todos nuestros logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A nuestros hermanos, por su motivación constante y su compañía en este camino, recordándome siempre la importancia de la familia.

A nuestro asesor de tesis, Eusebio Roque Huamán, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación en cada etapa de este trabajo. Su experiencia y compromiso fueron esenciales para la culminación de esta investigación.

RESUMEN

La Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón realiza la exploración y explotación de minerales polimetálicos a la vez comercializa cobre, plomo y zinc con alto contenido de plata. Recientemente se ha venido realizando el tratamiento de los minerales polimetálicos del Nivel 250, con resultados nada satisfactorio debido a la baja recuperación de cobre en 47.45%, plomo 82.17% y zinc 83.63%, motivo por la que nos pronimos realizar la evaluación metalúrgica de los minerales del Nivel 250. Las pruebas se realizaron a las condiciones estándares de operación y dosificación de reactivos de la planta concentradora.

El tipo de investigación es experimental, de acuerdo al nivel es explicativa. La población en estudio es el mineral del Nivel 250, la muestra está constituido de 37,5 Kg, que se fracturo hasta obtener la muestra a -10 mallas. Como instrumento de recolección de datos se utilizó el cuaderno de campo, reporte de ensayos químicos.

De la caracterización física y química del mineral se determinó que tiene una gravedad específica de 3,2; $W_i=12,69 \text{ Kw-Hr/TM}$. La ley de cabeza de la muestra es 0,15% de Pb, 0,15% de Cu, 8,24% Zn, 13,55% Fe, 1.44% Mn y 0,23% PbOx y 0,30% ZnOx, 0,07% As. El grado de liberación del mineral se encuentra a 54% m -200 mallas, para un tiempo de 13,53 minutos.

Los resultados de las pruebas de flotación a nivel batch fueron satisfactorio, en primer lugar, se floto el concentrado bulk y seguidamente se realizó la separación Cu/Pb teniendo una recuperación de cobre de 48,48%, plomo 85,13%, con dosificaciones de H-150 25 g/T, NaCN 35 g/T y Z-11/Z-6 16 g/T. En segundo lugar, se realizó la flotación de zinc teniendo una recuperación de 85,73%, los parámetros del estudio fueron: tiempo de acondicionamiento 5 min, Sulfato de cobre 200 g/T y colector Z-11/Z-6 18 g/T.

Palabra clave: Evaluación metalúrgica, mineral polimetálico, Mineral del Nivel 250.

ABSTRACT

The Pan American Silver Mining Company – Huarón Unit carries out the exploration and exploitation of polymetallic minerals while marketing copper, lead and zinc with high silver content. Recently, the treatment of polymetallic minerals of Level 250 has been carried out, with unsatisfactory results due to the low recovery of copper at 47.45%, lead 82.17% and zinc 83.63%, which is why it is proposed to carry out the metallurgical evaluation of the minerals. of Level 250. The tests are carried out under the standard operating conditions and reagent dosage of the concentrator plant.

The type of research is experimental, according to the level it is explanatory. The population under study is the mineral of Level 250, the sample consists of 37.5 kg, which was fractured until the sample was obtained at -10 meshes. The field notebook, chemical test report, was used as a data collection instrument.

From the physical and chemical characterization of the mineral, it was determined that it has a specific gravity of 3.2 g/cm³, $Wi=12.69 \text{ Kw-Hr/TM}$. The head grade of the sample is 0.15% Pb, 0.15% Cu, 8.24% Zn, 13.55% Fe, 1.44% Mn and 0.23% PbOx and 0.30% ZnOx, 0.07% As. The degree of release of the mineral is at 54% m -200 meshes, for a time of 13.53 minutes.

The results of the flotation tests at batch level were satisfactory, firstly, the bulk concentrate was floated and then the Cu/Pb separation was carried out, having a recovery of copper of 48.48%, lead 85.13%, with dosages of H-150 25 g/T, NaCN 35 g/T and Z-11/Z-6 16 g/T. Secondly, zinc flotation was carried out with a recovery of 85.73%, the study parameters were: conditioning time 5 min, copper sulfate 200 g/T and Z-11/Z-6 collector 18 g/T.

Keyword: Metallurgical evaluation, polymetallic mineral, Level 250 Ore.

INTRODUCCIÓN

Pan American Silver Huarón es una empresa que se dedica a la exploración y explotación de yacimientos mineros, enfocándose en la producción y comercialización de concentrados de zinc, cobre y plomo que tienen un alto contenido de plata.

El problema que tenemos en la planta concentradora de Francois es la baja recuperación del mineral del nivel 250, que tiene 45,44% de cobre, 79,68% de plomo y 80,54% de zinc y la plata tiene una recuperación de 87,77%. Ante este problema nos plantemos como objetivo realizar la evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 y así dar una solución ante esta baja recuperación.

El estudio es de suma importancia porque al mejorar la recuperación de los contenidos metálicos de cobre, plomo y zinc se mejora la recuperación de la plata y por ende se genera un mayor ingreso económico a la empresa.

En la investigación se realizó la caracterización física y química del mineral, también se vio el grado de liberación del mineral y por último se realizó pruebas de flotación determinando la dosificación adecuada de los reactivos que mejoran la recuperación del mineral polimetálicos del nivel 250.

La tesis se estructuro de acuerdo al protocolo presentado por la universidad, que a continuación se presenta.

En el capítulo I, presentamos la formulación del problema, problema general, problemas específicos, objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación y limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se presenta los antecedentes del estudio, el marco teórico del estudio que se estructuro en base a las variables en estudio, definición de términos, hipótesis general e hipótesis específico, la operacionalización de variables en función al estudio propuesto.

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico de cómo se elaboró el estudio, en la que consta el tipo de investigación, método de investigación, diseño de investigación, población, muestra, técnica e instrumento de recolección de datos, técnica de procesamiento y análisis de datos y tratamiento estadístico.

En el capítulo IV, se presenta la discusión de resultados, y se presentan los estudios de campo preliminares antes de las pruebas metalúrgica, también se presenta los estudios de la caracterización mineralógica, pruebas de moliendabilidad y pruebas de dosificación de colectores en la flotación batch.

INDICE

Páginas

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problema específico	2
1.4. Formulación de objetivos	2
1.4.1. Objetivo general.....	2
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación.....	3
1.6. Limitaciones de la investigación	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.1.1. Antecedente internacional.....	5
2.1.2. Antecedente nacional	6

2.1.3.	Antecedente local.....	7
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	8
2.2.1.	Cobre/plomo	8
2.2.2.	Minerales Sulfurados	9
2.2.3.	Veta	10
2.2.4.	Evaluación metalúrgica del mineral.....	13
2.2.5.	Molienda	14
2.2.6.	Reactivos de flotación.....	15
2.2.7.	Pruebas de flotación.....	18
2.2.8.	Flotación de cobre, plomo y zinc	18
2.2.9.	Elección del sistema de separación Plomo/Cobre	19
2.2.10.	Pruebas metalúrgicas	20
2.3.	Definición de términos básicos	21
2.4.	Formulación de hipótesis.....	22
2.4.1.	Hipótesis general.....	22
2.4.2.	Hipótesis específico	22
2.5.	Identificación de variables.....	22
2.5.1.	Variable independiente	22
2.5.2.	Variable dependiente	22
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	24
3.2.	Nivel de investigación	24
3.3.	Método de investigación.....	25

3.4. Diseño de investigación.....	25
3.5. Población y muestra	26
3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos	28
3.7. Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de investigación	29
3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos	29
3.9. Tratamiento estadístico.....	29
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	30

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	33
4.2.1. Caracterización física y química del mineral	33
4.2.2. Determinación del tiempo de molienda	35
4.2.3. Pruebas de flotación a nivel batch	36
4.3. Prueba de hipótesis	51
4.3.1. Hipótesis de investigación	51
4.4. Discusión de resultados	53

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Evaluación del grado de liberación del mineral.....	13
Tabla 2. Operacionalización de variables	23
Tabla 3. Clasificación de dureza del mineral	34
Tabla 4. Gravedad específica del mineral	34
Tabla 5. Ensayo Químico de laboratorio	35
Tabla 6. Prueba de moliendabilidad.....	35
Tabla 7. Parámetros de flotación.....	38
Tabla 8. Dosificación de reactivos en pruebas de flotación.....	39
Tabla 9. Matriz del diseño factorial codificado	39
Tabla 10. Condiciones de dosificación	40
Tabla 11. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc.....	40
Tabla 12. Condiciones de dosificación	41
Tabla 13. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc.....	41
Tabla 14. Condiciones de dosificación	42
Tabla 15. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc.....	42
Tabla 16. Condiciones de dosificación	43
Tabla 17. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc.....	43
Tabla 18. Matriz del diseño escala real de las pruebas experimentales	44
Tabla 19. Coeficientes codificados	44
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA)	45
Tabla 21. Parámetro de flotación del sulfuro de zinc	48
Tabla 22. Dosificación de reactivos en la prueba de flotación de zinc	48
Tabla 23. Diseño factorial de dos factores	49

Tabla 24. Coeficientes codificados	49
Tabla 25. Análisis de Varianza	50

INDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Veta minera	10
Figura 2. Microscopia de minerales.....	14
Figura 3. Reactivos Xantatos Z-6 y Z-11	16
Figura 4. Reactivo sulfato de cobre pentahidratado	17
Figura 5. Elección del sistema de separación Cu/Pb	19
Figura 6. Planificación de las pruebas experimentales	26
Figura 7. Vista panorámica de la planta concentradora de Francois - Pan American Silver	32
Figura 8. Tiempo de molienda.....	36
Figura 9. Efectos principales	45
Figura 10. Diagrama de efectos de Pareto	46
Figura 11. Efectos principales de la recuperación de zinc.....	50
Figura 12. Diagrama de Pareto en la recuperación de zinc	51
Figura 13. Relación de variables.....	52

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La minería moderna enfrenta el desafío constante de optimizar la recuperación de metales valiosos de minerales extraídos. La unidad Huaron de Pan American Silver, una de las principales productoras de los metales de cobre, plomo y zinc, tiene como objetivo mejorar la eficiencia de recuperación de estos minerales, que son de gran relevancia económica. El mineral del nivel 250, ha sido identificado como fuente potencial rica de estos minerales, sin embargo, la variación de la composición mineralógica y las propiedades físicas de la veta pueden afectar el proceso metalúrgico, afectando la eficiencia y los costos de producción.

De igual manera el tamaño del grado de liberación del mineral es muy importante, que se determina por fracciones granulométricas de mallas del mineral molido, que se determina en función al tiempo de molienda.

El mineral del nivel 250 tiene una ley de cabeza de 0,15% de cobre, 4,07% de Plomo y 8,24% de zinc, que ingresa a la flotación. No obstante, se ha observado que las recuperaciones obtenidas no alcanzan los niveles esperados, ya que la recuperación

de Pb alcanza el 80%, la recuperación de cobre 42%, y la recuperación de zinc 72%, surgiendo la necesidad de realizar una evaluación metalúrgica estos metales.

1.2. Delimitación de la investigación

El desarrollo del estudio de investigación se realizó en la Empresa Minera Pan American Silver, específicamente en el laboratorio metalúrgico. La Unidad Minera se encuentra ubicado en Huarón, distrito de Huayllay, provincia y región Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo la evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250 influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Empresa Minera Pan America Silver – Unidad Huaron?

1.3.2. Problema específico

- a. ¿Cómo es la caracterización física y química del mineral del Nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron?
- b. ¿Cómo realizar pruebas de moliendabilidad para determinar el tiempo de molienda del mineral del Nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron?
- c. ¿Cómo realizar las pruebas de flotación del mineral del Nivel 250 para la recuperación de plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Realizar la caracterización física y química del mineral del Nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron
- b. Realizar pruebas de moliendabilidad para determinar el tiempo de molienda del mineral del Nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron
- c. Realizar pruebas de flotación del mineral del nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huaron

1.5. Justificación de la investigación

Justificación teórica

La investigación contribuirá al enriquecimiento del conocimiento mediante la aplicación de conceptos, teorías existentes en la metalurgia de minerales polimetálicos. La caracterización detallada del mineral del Nivel 250 proporcionara datos sobre su composición mineralógica y química, así como su comportamiento en la flotación.

Justificación social

La mejora de la recuperación de cobre, plomo y zinc beneficia a la Empresa Pan American Silver y también a todos los trabajadores que laboran en la empresa y lleva a una mayor estabilidad laboral y la creación de nuevas oportunidades de trabajo, mejorando la calidad de vida de los trabajadores.

Justificación Económica

La recuperación eficiente de cobre, plomo, zinc y considerable cantidad de plata, es importante para la rentabilidad de la Empresa Minera Pan American Silver. La variabilidad mineralógica del mineral de Nivel 250 afecta directamente la eficiencia

del proceso de concentración lo que puede llevar a la variación de las recuperaciones y, por ende, a las pérdidas económicas significativas.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones del estudio son las siguientes:

Limitación de variabilidad mineralógica

La heterogeneidad del mineral puede afectar la obtención de una buena muestra representativa, el cual nos puede proporcionar resultados inconsistentes.

Limitación económica

La disponibilidad económica afecta la cantidad de pruebas a realizar por lo que solo se realiza 8 pruebas metalúrgicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedente internacional

Wang Gang et. Al (2022) realizó la publicación en un artículo científico intitulado estudio sobre la tecnología de procesamiento de minerales de sulfuros polimetálicos complejos de plomo, cobre y zinc de Mongolia Interior. El problema que tienen es buscar la tecnología adecuada para la recuperación de los minerales polimetálicos complejos de plomo, cobre y zinc de Mongolia interior. Los estudios revelan que los elementos valiosos presentes en el mineral son Cu, Pb, Zn y Ag. Los minerales de cobre, plomo y zinc se encuentran metasomatizados y entrelazados entre sí, destacando que la galena y la calcopirita están envueltas, con la galena mostrando un tamaño de partícula no uniforme. La galena y la esfalerita tienen una relación continua, con superficies de contacto lisas y rectas, facilitando su separación. El mineral de plata está asociado a estos minerales metálicos, por lo que se utiliza un proceso de flotación mixta de cobre y plomo, seguido de su separación, y la flotación del zinc a partir de los relaves. Como resultado llega a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvieron tres concentrados en el de cobre, las leyes promedio de Cu y Ag fueron 18,41% y 594,82 g/t, con recuperaciones del 86,53% y 25,30%, respectivamente.
- El concentrado de plomo, las leyes promedio de Pb y Ag fueron 62,70% y 428,05 g/t, con recuperaciones del 85,01% y 54,62%.
- El concentrado de zinc, las leyes promedio de Zn y Ag fueron 28,12% y 165,75 g/t, con recuperaciones del 59,99% y 4,80%. La recuperación total de la plata fue del 84,72%, logrando la recuperación integral de los elementos valiosos del mineral.

2.1.2. Antecedente nacional

Rivera Vargas (2023) en su tesis intitulado el estudio de la evaluación metalurgica del proceso de flotación de concentrados bulk plomo, cobre y plata para su optimización en la compañía minera Raura. El problema que tiene es la baja recuperacion de plomo, cobre y plata. El mineral tiene una ley de cabeza de 1,50 a 2,30 Oz/T de plata, 1,45% de plomo, y 0,255 de cobre, los reactivos utilizados son ZnSO_4 , RA 55 y MT 4220, siendo el pH de flotación 9,20. Se realiza las pruebas experimentales aplicando el diseño factorial siendo de la siguiente manera: NaCN 0 – 15 g/t, ZnSO_4 200 – 250 g/t y RA 55 0 – 15 g/t..

Llega a las siguientes conclusiones:

- La variable de mayor influencia RA 55 repercute en la recuperacion de cobre, plomo y plata.
- El cianuro de sodio con el RA 55 deprimen a la pirita y pirrotita, que permite dsiminuir el cianuro de sodio.
- El cianuro de sodio y el RA 55 tienen valores de -3,51 y 1,98, tienen relevancia en la depresion del fierro, y se deben dosificar en conjunto.

Carvo & Aguirre (2021) en su tesis intitulado la **evaluación de minerales polimetálicos en la Veta Farallón Nivel 180** con la finalidad de mejorar la recuperación de plomo, plata y zinc, debido al desconocimiento del comportamiento metalúrgico del mineral. El mineral tiene los siguientes contenidos mineralógico: 146,41 gr/ton de Ag, 0,43% de Cu, 1,85% de Pb, 7,57% Zn, 21,59% de Fe, 0,21% de As y 5,22% de Mn, además tiene óxidos en el orden de 24,3%. Realiza pruebas experimentales para evaluar la cinética de flotación y determinar la flotabilidad de del concentrado bulk, de igual manera evalúa la flotabilidad del zinc y fierro.

Realizada las pruebas experimentales llega a las siguientes conclusiones.

1. La dureza del mineral es 12,29 Kw-h/Tc, en comparación con el mineral del proceso que es 13,5 Kw-h/Tc.
2. La plata, plomo se encuentra por encima de los valores de Zn y Fe, estimándose una recuperación de plomo en 93,7%, plata 78,8%. La flotación de Zn y Fe en el concentrado es alta siendo 26,7% y 13% de Fe.
3. El zinc tiene una cinética de flotación lenta y tiene una recuperación de 74,6%.
4. En el circuito bulk se observa altas correlaciones de plata y plomo, que están relacionado con los cobres grises en el concentrado, de igual manera la plata.
5. En el circuito de zinc, se observa una baja recuperación del Zn, esto debido a que se encuentra asociad al manganeso y al Fe. La plata se encuentra en baja concentración, esto lo podemos ver por la baja correlación de la asociación Ag-Cu y Ag-Zn.

2.1.3. Antecedente local

Meza Chacpa, L. (2019). En su tesis intitulado **Realizó el estudio de evaluación metalurgica del circuito de flotación con la finalidad de recuperar Pb, Cu y Zn**. El estudio lo realiza en la compañía minera de Izcaycruz, en la que realiza la extracción

de minerales de las minas Limpe, Chupa, Tinyag 1 y Tinyan 2. El mineral tiene una ley de cabeza de 10,68% de Zn, 0,73% de Pb y 0,56% de Cu, 0,61 Onz de Ag y 23,47% de Fe. La molienda lo realiza a 62% malla -200, y en la flotación bulk utiliza NaCN 15g/T, NaHSO₃ 400 g/T y ZnSO₄ 600 g/t, MIBC y Z-11 30 g/T, teniendo recuperaciones de plomo en 76,77%, cobre 69,60% y en la flotación de zinc se dosifico CuSO₄ 400 g/T, pH 10,8, Z-11 80 g/T y MIBC 36 g/T logrando una recuperación de 90,34%.

Llegando a las siguientes conclusiones:

- La flotación bulk no presenta activación de sulfuros de zinc y puede controlarse facilmente. En la prueba 2, el zinc se activa en 4,58% en el concentrado de plomo.
- La dosificación del metabisulfito en exceso en la limpieza no favorece, debido a que parte del plomo esta deprimido.
- La activación de Zn en el concentrado de cobre es 10,30%, en el concentrado bulk es 19,16%, aparentemente el mineral de zinc de ce cobre 2 estaria influyendo.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Cobre/plomo

Simsa (s.f.) menciona, el plomo es un metal pesado de color verde azulado que, al oxidarse, adquiere un tono gris mate. Es flexible, de fusión fácil y resistente al ácido clorhídrico y sulfúrico. Su resistencia a la corrosión lo hace útil en la construcción e industria química, formando un revestimiento protector contra los ácidos. Se emplea en la fabricación de baterías, pigmentos, aleaciones, cerámicas, plásticos, municiones, soldaduras, cables, plomadas y armas. También se usa en equipos para producir ácido sulfúrico, refinar petróleo y procesos de halogenación.

Según Atlantic (2016). El cobre en la naturaleza, está presente en numerosos minerales, con un porcentaje que varía de 0,3% a 10% aproximadamente. Una vez extraído de los yacimientos, se aplican diversas técnicas en las instalaciones mineras

con las que se aumenta la concentración del cobre hasta un 20-35%. Además de cobre, el concentrado contiene otros metales valorizables como oro, plata, platino, paladio, níquel, selenio y telurio.

2.2.2. Minerales Sulfurados

Los sulfuros son minerales que, en general tienen un aspecto metálico y un brillo también metálico. Estos minerales poseen densidades elevadas, alcanzando hasta nueva, y suelen ser opacos, aunque algunos presentan cierta luminosidad en sus bordes y colores distintivos. Además, los sulfuros tienen índices de refracción muy altos, alta conductividad eléctrica y térmica y en muchos casos son semiconductores. La dureza de los sulfuros varía según su estructura: generalmente los sulfuros con estructuras en cadena son los más duros cuando tienen enlaces covalentes, mientras que los de estructura estratificada son los más blandos.

Los minerales de sulfuros se encuentran principalmente en zonas hidrotermales abarcando entornos hipotermales, mesotermales y epitermales. Los aniones de sulfuro se forman cuando los metales, procedentes de diversas fuentes magmáticas, se depositan al disminuir la temperatura y la presión. Estos minerales se desplazan en solución y, al volver a bajar la temperatura y aumentar la disociación, se generan los aniones de sulfuro. Además, los sulfuros también se forman a partir de rocas sedimentarias o en áreas carboníferas, como en el caso de la pirita y la marcasita.

Es importante destacar que en los yacimientos hidrotermales es común encontrar una variedad de sulfuros, como la galena, la pirita, la calcopirita y la blenda. Estos yacimientos suelen ser muy abundantes y generalmente se hallan junto a otros minerales, como la fluorita, la calcita y dolomita, entre otros. (Rocas, 2015)

2.2.3. Veta

Según la real academia española veta es una faja de material que se encuentra interpuesta.

Según SGM (2017) afirma, una veta minera es una formación geológica que consiste en una fisura o fractura en una roca que ha sido rellenada con minerales que se han depositado a partir de soluciones hidrotermales. Estas soluciones provienen de fluidos calientes que circulan a través de las rocas transportando mineral disueltos que, al enfriarse, precipitan y firman una concentración mineral dentro de la fisura. Las vetas pueden contener una variedad de minerales, incluidos metales preciosos como oro y plata, así como metales base como cobre, plomo y zinc.

Las vetas pueden variar considerablemente en su tamaño, forma, longitud y ancho, y son una fuente importante de minerales valiosos en minería.

Figura 1. *Veta minera*



Nota. Imagen tomada de compañía minera Sur Perú S.A.C.

A. Mineralización

Huarón es un depósito polimetálico de origen hidrotermal que contiene mineralización de plata, plomo, zinc y cobre. Este yacimiento se encuentra alojado

en estructuras que posiblemente están asociadas con la intrusión de diques monzoníticos, ubicados principalmente en el área del anticlinal de Huarón.

Minerales de mena: Esfalerita rubia, esfalerita rubia rojiza, mega cristales de galena, enargita, calcopirita.

Minerales de ganga: Gangas botroidales de siderita, dolomita, barita, rodocrosita y calcita.

Productos y subproductos: Plata, Cobre, Plomo, Zinc, marmatita y pirrotina.

B. Formas del depósito

Las vetas son fracturas iniciales que han sido rellenadas con minerales de cobre, zinc, plomo y plata. En todo el distrito se han identificado más de cincuenta vetas, aunque en Huarón se han proyectado y desarrollado aproximadamente veinticinco de mayor relevancia. Estos depósitos concentran el mayor volumen de mineralización económica.

La actividad tectónica ha permitido que la mineralización ocurra repetidamente en las fisuras, con soluciones hidrotermales de composición cambiante con el tiempo, estas soluciones han dado lugar a la precipitación de la mineralogía variada.

El zoneamiento o secuencia de posicional en el espacio, en Huarón se observa que ha sido horizontal muy marcada, desde una zona central hasta la periferia de acuerdo al siguiente detalle:

Zona Central:

Mineralización cuprosa, que se serían las más antiguas, removilizaciones como la enargita, piritita, cuarzo.

Zona Intermedia:

Con mineralizaciones cuprosas, plomo, zinc, enargita, tetraedrita, esfalerita, galena, piritita (Tapada, Alianza, San Narciso, Fastidiosa).

Zona Exterior:

Minerales de plomo algunas veces tetraedrita, galena, esfalerita, pirita (Patrick, shiusha, bolsonada Bernabe, Sevilla, Veta Pozo D, Veta Rey).

Según los estudios de secuencia para genética, se presentan los siguientes minerales:

Sulfosales

- Tetraedrita: $(\text{Cu, Ag, Fe, Zn})_{12}(\text{SbAs})_4\text{S}_{12}$
- Polibasita: $(\text{Cu, Ag})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$
- Enargita: S_4AsCu_3

Sulfuros

- Esfalerita: ZnS
- Galena: PbS
- Chalcopirita: CuFeS_2
- Pirita: FeS_2
- Estibina: Sb_2S_3

Óxidos

- Rodonita: $(\text{Mn, Ca}) \text{SiO}_3$
- Cuarzo: SiO_2
- Calcita: CaCO_3
- Casiterita: SnO_2

Otros

- Wolframita: $(\text{Fe, Mn}) \text{WO}_4$
- Siderita: FeCO_3
- Rodocrosita: MnCO_3

Estos ciclos de mineralización han sido precedidos por intrusiones cuarzo monzoníticas en los diques N-S y E-W, ubicados en la parte central del anticlinal, presentando una fuerte alteración hidrotermal, caracterizada por la presencia de silicificación, epidotización y piritización.

2.2.4. Evaluación metalúrgica del mineral

De acuerdo a SGS (2012) mencionan que, los estudios de evaluación nos facilitan al entendimiento del yacimiento minero y establecer los procesos que podrían ser utilizados para la extracción y recuperación de minerales valiosos.

Los estudios de evaluación proporcionan:

- Un conocimiento más profundo de la metalurgia básica del mineral y permiten realizar una evaluación económica conceptual del proyecto.
- Una comprensión clara de la magnitud de los costos asociados con futuras pruebas, lo que facilita la obtención de financiamiento.
- Una evaluación de los resultados metalúrgicos antes de avanzar a la siguiente fase de pruebas.

Tabla 1. *Evaluación del grado de liberación del mineral*

Pruebas	Tiempo (min)	Malla - 200
1	0	29,88
2	10	52,39
3	20	68,53

Tipos de estudios de evaluación que son considerados:

Caracterización mineralógica. Esta es la primera fase de una campaña típica de pruebas de evaluación. Su objetivo es caracterizar el mineral, identificar cualquier problema potencial desde el inicio y abordar. Las pruebas mineralógicas proporcionan

una evaluación cuantitativa del mineral, y el análisis ayuda a destacar posibles problemas de procesamiento que pueda surgir en el futuro.

Las pruebas metalúrgicas a escala de laboratorio, se realiza para probar la respuesta metalúrgica y algunas pruebas incluyen:

Pruebas de molienda. Las pruebas de molienda se realizan para entender el índice de trabajo, la dureza, grado de liberación del mineral y los índices de abrasión del mineral.

Pruebas de flotación. Se inicia con la determinación de la mezcla de reactivos adecuados para el mineral, también ayudan a validar el tamaño de liberación y selección de reactivos (colectores, modificadores, depresores).

Los resultados de todas estas pruebas nos dan una potencial relación ley-recuperación y cinética de pulpa.

Figura 2. *Microscopia de minerales*



Nota. Imagen tomada de SGS

2.2.5. Molienda

Según Industrias (2015) La molienda es una operación unitaria para reducir el tamaño de las rocas, minerales y que se asemeja a lo que realiza la trituración. El producto que se obtiene de la molienda son partículas pequeñas de minerales.

De acuerdo a Adrea (2016) menciona, la molienda es una etapa final en el proceso de fragmentación dentro de la minería, generalmente siguiendo a la trituración. Se distingue por el tamaño de las partículas resultantes, que pueden variar desde varios milímetros hasta unas pocas micras. El objetivo principal de la molienda es lograr la liberación de las distintas especies mineralógicas, permitiendo una separación eficiente o alcanzando el tamaño de grano requerido para el método de procesamiento posterior del producto obtenido (p.16).

2.2.6. Reactivos de flotación

Los reactivos de flotación son sustancias de naturaleza química que se utilizan en el proceso de flotación de minerales con el fin de separarlos de otros minerales. Azañero (2015) destaca la importancia de los reactivos como un componente crucial y variable en este proceso, particularmente debido al número limitado de especies que poseen flotabilidad natural, como el talco, el azufre, la molibdenita etc, que tiene importancia comercial. Por lo tanto, es evidente que las operaciones modernas de flotación industrial dependen en gran medida de la presencia de reactivos.

Clasificación de los reactivos de flotación

A. Colectores

Cuyo objetivo es conferir propiedades hidrofóbicas a la parte superficial del mineral. Los xantatos, debido a su elevado poder colector son empleados en la flotación de minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro en los cuales los principales minerales sulfurados son calcopirita, calcocita, enargita, galena, escalerita, marmatita, pirita y pirrotita.

Otra de sus aplicaciones incluye la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro que contienen cobalto o níquel, así como la recuperación de

piritas de hierro.

En nuestras pruebas se utilizarán la combinación de Z-11 con Z-6, ver figura 3

Z-11. Xantato isopropílico de sodio, es un colector de bajo costo y con un elevado poder colector. Este producto se obtiene por la reacción de alcohol isopropílico con bisulfuro de carbono e hidróxido de sodio. Se pueden descomponer a pH menor a 6.

Z-6. Xantato amílico de potasio, es usado como agente colector en la flotación de minerales sulfurados, elementos metálicos como cobre, plomo, plata y minerales oxidados de plomo y cobre. Es un colector potente no selectivo, y es más conveniente para minerales oxidados de plomo y cobre después de la sulfurización.

Figura 3. Reactivos Xantatos Z-6 y Z-11



Nota. Tomado de Renasa

B. Espumantes

Facilita la creación de espumas estables que se caracteriza por un tamaño de burbuja adecuado para el transporte de minerales de valor económico.

H-150: Agente espumante de características similares a MIBC, pero con más selectividad cuando se requiere hacer flotaciones diferenciales de una especie respecto de otra o aplicable a cleaners para obtener concentrados limpios.

C. Modificadores

Se emplea para establecer condiciones favorables en la superficie del mineral que permitan la acción selectiva de los colectores.

Los modificadores se subdividen en:

- Modificador de pH
- Activadores
- Depresores

Activadores. Son reactivos que fomentan la propiedad de la hidrofobicidad de los minerales e incrementan su flotabilidad. En seguida, presentamos algunos reactivos activadores.

- **Sulfato de cobre (CuSO_4).** Se utilizan para la activación de minerales sulfurados de zinc, esfalerita (ZnS) y sulfuros de fierro, tales como la pirita, arsenopirita y pirrotita, cuando estas últimas contienen metales como oro, y níquel.

Figura 4. *Reactivo sulfato de cobre pentahidratado*



Nota. Tomado de laboratorio Adbaquim. S.A.C.

- **Dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).** Se utiliza para la depresión de la galena en la separación Cu/Pb.

Depresores. Reactivos que hidrofilizan la superficie de los minerales impidiendo su flotación.

- **Cianuro de sodio (NaCN).** Los cianuros alcalinos son fuertes depresores de la pirita, pirrotita, marcasita, arsenopirita y esfalerita, depresor en menor grado de la calcopirita, enargita, tenantita, bornita, y todos los sulfuros a excepción de la galena.

2.2.7. Pruebas de flotación

Para asegurar una evaluación precisa y evitar errores, es esencial realizar las pruebas de flotación en condiciones idénticas a las de la prueba estándar, garantizando que todos los reactivos en prueba tengan las mismas oportunidades de demostrar sus propiedades. Esto implica mantener la misma granulometría, dilución dosificación de reactivos, tiempos de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, rpm y técnicas de remoción de espumas.

Durante la flotación, es crucial que la técnica utilizada sea consistente en todas las pruebas. Esto incluye la inclinación, profundidad, modalidad y frecuencias de remoción de espumas, así con la frecuencia de lavado. Estas medidas minimizan el error experimental y evitan conclusiones incorrectas (Azañero Ortiz & Morales Valencia , 1999).

2.2.8. Flotación de cobre, plomo y zinc

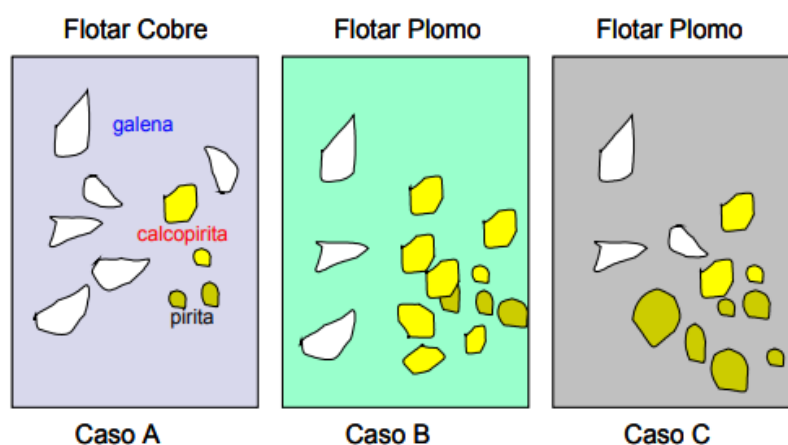
La separación y recuperación por flotación de concentrados de Pb-Cu y Zn de minerales que contienen galena, esfalerita es un proceso firmemente establecido que suele ser bastante eficaz. La plata suele tener un valor económico considerable, que con frecuencia supera a otros metales, debido a su asociación común con la mineralización de la galena. Curiosamente, las fundiciones tienden a ofrecer precios más altos para la plata que se encuentra en los concentrados de plomo en comparación con los

concentrados de zinc, los materiales indeseables, como los sulfuros como la pirita y la pirrotita, suelen estar presentes, pero pueden gestionarse eficazmente, a pesar de su tendencia a flotar. El éxito del proceso de separación se atribuye a la naturaleza hidrofóbica inherente de los minerales y a la escasa respuesta de la esfalerita a los reactivos de flotación. Se utiliza un método establecido que consiste en un sistema de flotación secuencial de dos etapas, y la etapa inicial se centra en evitar que los iones metálicos disueltos activen las superficies de la esfalerita, lo que hace que la esfalerita deje de flotar. La práctica habitual en el procesamiento de flotación de plomo y zinc consiste en introducir sulfato de zinc para inhibir la activación de los iones metálicos especialmente contra la esfalerita. Para mejorar aún más el proceso, los agentes sulfurantes, como el bisulfito de sodio, suele combinarse con el sulfato de zinc para deprimir eficazmente a los minerales de sulfato de hierro (Danafloat, 1986. P. 1)

2.2.9. Elección del sistema de separación Plomo/Cobre

Optar por alguna de las opciones, entre flotar plomo y deprimir cobre o a la inversa depende mayormente de la cantidad de pirita presente en el sistema. Ver Figura 5.

Figura 5. Elección del sistema de separación Cu/Pb



Nota. Imagen tomada de la convención minera 2003 – J. Manzaneda

Cuando las cantidades de galena y calcopirita son relativamente similares, la cantidad de pirita se convierte en el factor determinante para seleccionar el circuito adecuado. En este caso (Caso C), se opta por flotar plomo y deprimir cobre junto con la pirita, utilizando una mezcla de óxido de zinc y cianuro de sodio en una proporción de 2:1. Por otro lado, si la cantidad de galena supera a la suma de cobre y pirita (Caso A), se procede a deprimir la galena con bicromato de sodio. Aunque no existen muchas técnicas alternativas, el gas SO₂ podría reemplazar al bicromato, aunque este método no se ha implementado en la minería peruana y solo cuenta con algunas referencias en México, Canadá y Estados Unidos.

Por lo tanto, el criterio tradicional basado en la relación Pb/Cu en el análisis químico del Bulk como referencia para seleccionar el proceso de separación debe ser reconsiderado. Es más relevante realizar un análisis microscópico que evalúe el grado de liberación de los minerales valiosos y la presencia significativa de pirita.

2.2.10. Pruebas metalúrgicas

De acuerdo a Azañero Ortiz & Morales Valencia (1999). En la fase inicial, se sugiere llevar a cabo pruebas metalúrgicas con flotaciones rougher, rougher-scavenger, ya que son rápidas y económicas en cada etapa. Una vez seleccionado el reactivo, se puede realizar pruebas más detalladas que incluyan etapas de limpieza y pruebas cerradas (pruebas de ciclo). Estas pruebas deben realizarse con la menor cantidad de error posible para obtener conclusiones precisas.

La evaluación de reactivos se basará en la recuperación, índice de enriquecimiento, la eficiencia de separación, índice de selectividad, la forma y tamaño de espumas y otros criterios. A veces es necesario realizar un análisis mineralógico para comprender la naturaleza y la proporción de las diferentes partículas presentes.

Las pruebas metalúrgicas son fundamentales para identificar el tipo de mineral presente en un proyecto minero, lo que ayuda a reducir el riesgo técnico. Estas pruebas deben realizarse con diferentes concentrados de minerales para evaluar la eficiencia del proceso y producir un producto final y residuos mineros.

Además, las pruebas metalúrgicas son esenciales en la industria minera para diseñar, controlar y optimizar las operaciones de extracción y concentración de minerales, con el fin de obtener un producto comercial (HLCSISTEMAS, 2019).

2.3. Definición de términos básicos

Evaluación. Tiene por objetivo medir el comportamiento del mineral en la concentración de minerales, en matrices complejas u otras homogéneas.

Evaluación metalúrgica. Es un proceso sistemático que busca determinar las características físicas, químicas y metalúrgicas de un mineral para diseñar, optimizar y mejorar los procesos de beneficio o extracción de metales de interés.

Flotación de sulfuros. Es un proceso de concentración de minerales en el que se utiliza un colector para hacer hidrofóbica las partículas, haciéndolo repelente al agua.

Veta. Son ramificaciones de minerales en forma de ramas que se encuentran en la naturaleza. Los minerales de las vetas tienen un valor económico.

Pruebas de flotación. Se realizan en celdas de flotación con la finalidad de evaluar la efectividad del proceso y los parámetros involucrados como el tamaño de partícula, reactivos, tiempo de residencia.

Pruebas metalúrgicas. Tiene como finalidad evaluar la eficiencia de operación de las operaciones metalúrgicas en la concentración de minerales.

Mineral polimetálico. Son minerales complejos que esta compuesto de diferentes elementos químicos, entre los mas importantes tenemos el cobre, plomo y zinc.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 se recupera el plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

2.4.2. Hipótesis específico

- a. Con la caracterización física y química del mineral del Nivel 250 se recupera plomo, cobre y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- b. Con las pruebas de moliendabilidad se determina el tiempo de molienda del mineral del nivel 250 para la recuperación de cobre-plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- c. Con la realización de pruebas de flotación del mineral del nivel 250 se recupera el cobre-plomo y zinc de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

- Evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250

2.5.2. Variable dependiente

- Recuperación de Cu/Pb y Zn

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2. *Operacionalización de variables*

Ítem	Variables	Dimensiones	Indicadores
V.I	Evaluación metalúrgica del mineral nivel 250	Caracterización física y química del mineral	Ley de mineral, Gravedad específica del mineral Wi
		Moliendabilidad	Minutos Malla - 200
		Flotación de separación Cu-Pb y Zn	g/t de reactivos
V.D	Recuperación de Cu/Pb y Zn	Recuperación, calidad de concentrado	% de recuperación Cobre/Plomo y Zn

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo a Arias & Mitsou (2021) manifiesta que, la investigación en laboratorio es un tipo de investigación que se realiza en un ambiente controlado, el investigador manipula la variable independiente para obtener resultados.

El estudio realiza la obtención de datos del laboratorio metalúrgico debido a que se crea las condiciones operacionales de planta concentradora, con la finalidad de realizar la evaluación metalúrgica del mineral para mejorar la recuperación del metal valioso con la finalidad de maximizar la recuperación.

3.2. Nivel de investigación

Además, el estudio es **experimental aplicada**, debido a que se realiza la manipulación intencional de variables independientes y ver el efecto.

De acuerdo a la profundidad del estudio lo ubicamos en el enfoque cuantitativo explicativo, debido a que se explicará el efecto de las variables independientes sobre la recuperación del cobre, plomo y zinc, del mineral del Nivel 250.

3.3. Método de investigación

Según Sánchez Kohn, (2018), manifiesta que, los métodos de investigación es la senda, vía o camino más apropiado y eficaz, para lograr un objetivo o propósito investigativo.

Para la ejecución del estudio se aplicó el método inductivo y deductivo, esto consiste que a partir del mineral que se obtiene del nivel 250, en primer lugar, se realizó el reconocimiento del mineral mediante el estudio de las propiedades físicas y químicas, una vez determinado estas características se realizó el estudio de moliendabilidad para ver el grado de liberación del mineral sulfurados y seguidamente se realizó el proceso de flotación en la que se observa los resultados del efecto de los colectores, depresores y espumantes en la recuperación de cobre, plomo y zinc.

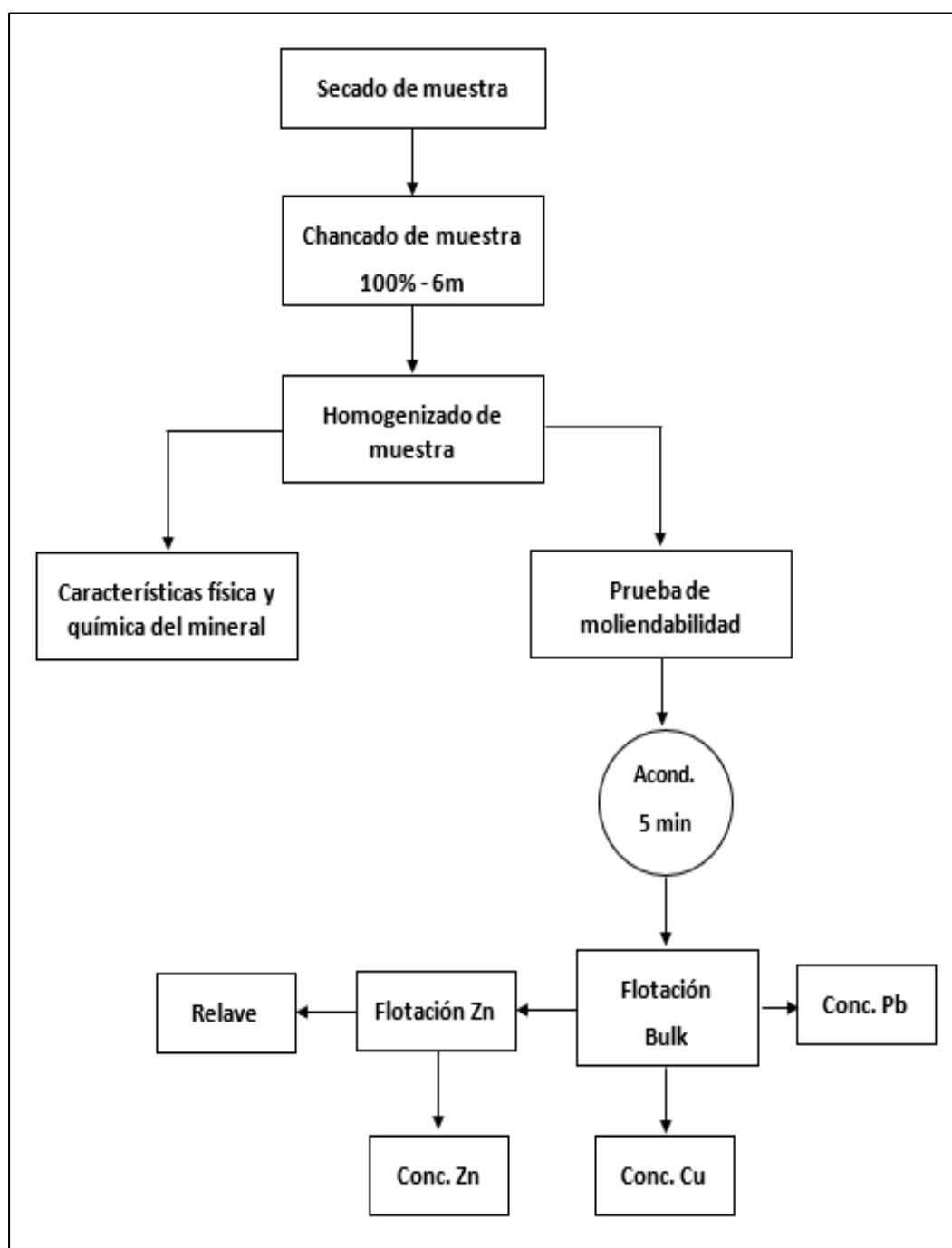
3.4. Diseño de investigación

De acuerdo a Niño (2011) menciona que el diseño son estrategias, procedimientos y pasos que se debe tener para abordar la investigación, lo que engloba a todos los procedimientos racionales y sistémicos para dar solución al problema.

La planificación para la ejecución de las pruebas metalúrgicas se realizó teniendo en cuenta el entendimiento del planteamiento del problema, objetivos, seleccionando la variable respuesta, determinando los factores a estudiar, seleccionando las condiciones de las pruebas, planeando las pruebas experimentales y la ejecución de las pruebas.

A continuación, se presenta el esquema de las actividades a realizar para cumplir con los objetivos y demostrara la hipótesis.

Figura 6. Planificación de las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

3.5. Población y muestra

Población

La población de estudio se considera a los minerales de del Nivel 250 cuyo contenido de estos minerales polimetálicos son Cu, Pb, Zn, Ag, entre otros, los cuales han sido sometidos a estudios físicos y químicos.

Muestra

La muestra está formada por la cantidad de mineral enviado por geología, que se obtuvo por el muestreo chip sampling, obteniéndose de puntos establecidos geográficamente dentro del nivel 250 siguiendo un orden horizontal, para las pruebas experimentales se ha tomado 150 Kg. del mineral en referencia. los cuales fueron sometidos a la preparación mecánica, teniendo en cuenta las consideraciones técnicas siguientes:

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{s^2}$$

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm³)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

s = Medida del error estadístico y normalmente es 0.01

Constante de Muestreo (C)

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

f = Factor de forma el cual es tomado como 0.5, excepto para minerales de oro que es 0.2

g = Factor de distribución de tamaño de partícula, g=0.25

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm³)

Factor de liberación

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

L = Tamaño de liberación del mineral de interés (cm)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

Factor Mineralógico (m)

$$m = \frac{1 - a}{a} [(1 - a) \cdot r + a \times t]$$

a = Es la fracción del mineral de interés

r = Densidad del mineral de interés

t = Densidad de la ganga

$$N = 37,6 \text{ Kg}$$

3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La observación. Esta técnica se utiliza desde el inicio de la planificación del proyecto, en el muestreo, fracturamiento del mineral, caracterización de la muestra y en las pruebas metalúrgicas.

La entrevista. Se realizó a los ingenieros que laboran en la planta concentradora, y docentes, para la elaboración de la planificación de las pruebas experimentales.

Fuentes primarias. Se obtendrá de los reportes de ensaye del laboratorio químico y del laboratorio metalúrgicos.

Instrumentos de recolección de datos

Cuaderno de apuntes. Donde se han tomado los datos de la experimentación durante el estudio.

Reporte de ensaye, en la que se indica los resultados de los análisis químicos realizados.

Hoja de prueba de molienda. Este instrumento se utilizó para registrar datos del tiempo de molienda y la malla de liberación del mineral.

Hoja de pruebas cíclicas. Lo utilizamos para recolectar los datos de las pruebas de flotación continua.

Celda de flotación. Este equipo se utilizó para realizar las pruebas de flotación en la que se obtiene el concentrado y relaves.

Análisis de contenido cuantitativo. Los reportes de ensayos emitidos por laboratorio.

Espectrofotómetro de absorción atómica. Este equipo se utilizó para determinar los ensayos químicos del mineral como ley de cabeza, concentrado y relaves.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de investigación

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron validados por los ingenieros que trabajan en planta concentradora y laboratorio metalúrgico de la de la empresa minera. De la misma manera fue validado por el ingeniero asesor de la tesis.

3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos

La técnica de procesamiento de datos describe las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos o respuestas que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. En cuanto al Análisis se definirán las Técnicas Lógicas o Estadísticas, que se emplearán para descifrar lo que revelan los datos recolectados (Grazia, 2017)

Para el procesamiento y análisis de datos de la granulometría, prueba de molienda, y balances metalúrgicos se utilizará el Microsoft Excel, como también en el análisis de los gráficos.

3.9. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos serán sometidos a cálculos estadísticos como la media, la varianza y determinar el Anova para determinar la variable más significativa en el proceso. Para realiza la prueba de hipótesis, utilizamos la correlación de variables para ver la dependencia de variables haciendo uso del paquete estadístico del Minitab.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

En todo momento se respetará la autoría de las referencias bibliográficas que se toman en la elaboración del marco teórico, también se actuara con ética y valores en la obtención de datos y el procesamiento de datos, respetando los resultados obtenidos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Para la demostración de la hipótesis de la tesis se realizó preparativos del trabajo de campo en la planta concentradora de Huarón.

En primer lugar, se decepcionó la muestra enviada por geología en el laboratorio metalúrgico que consiste en 150 kg, siendo el tamaño de partícula mayor de 3 pulgadas, en cual se fracturo a 1/2 pulgada para después someterlo a un cuarteo hasta reducir a 75 kg. Esta muestra se lleva a la secadora de muestra.

El secado de la muestra mineral se realizó en la secadora a 105 °C durante 3 horas, hasta que la espátula no presenta una superficie fina de mineral del área introducida.

La muestra seca, se reduce con el cuarteador jones aproximadamente de 37,5 kilos, se procede a realizar la reducción de tamaño mediante preparación mecánica en la chancadora de quijada 7" x 11" y posteriormente, se reduce en la trituradora de rodillos a -6 mallas. Esta muestra, lo obtenemos tamizando con la malla tipo Tyler N° 6.

La muestra, se pesa 1 k para la molienda en un molino de bolas de laboratorio de 12" x 12", este proceso se realiza para cada prueba experimental.

Realizada la molienda, se descarga la pulpa en la celda de flotación, dándole las condiciones para la flotación, con una densidad de pulpa de 1300 g/L. Pero, antes de esta operación se adiciona reactivos en la molienda como: NaCN, cal, ZnSO₄.

La pulpa se acondiciona en la celda de flotación por espacio de 2 minutos, la cual contiene reactivos como: colectores, espumantes, para poder realizar la flotación.

También, se hizo la preparación de las muestras de mineral, para la prueba de molienda con el molino de bond y determinar el work index. De igual manera, se preparó muestras de mineral para realizar pruebas de molienda y determinar el tiempo de molienda.

A continuación, podemos ver la vista panorámica de la empresa minera Pan American Silver S.A.C.

Figura 7. Vista panorámica de la planta concentradora de Francois - Pan American Silver



Nota. Tomado Gestión. <https://acortar.link/y1b7oN>

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para cumplir con los objetivos de la tesis, a continuación, presentamos las pruebas realizadas al mineral del nivel 250.

4.2.1. Caracterización física y química del mineral

A. Determinación de la dureza del mineral (Work Indice)

Para la determinación de la dureza del mineral se usó el método comparativo con cuarzo que tiene un Índice de Trabajo de 13,6 Kw-hr/Tc. Para ambos minerales se determinaron el tamaño de alimentación promedio F_{80} (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P_{80} luego de la molienda, para ambas muestras (Mineral Veta Rey Zona Norte Nv 250 Labor SN 370 y Cuarzo) el tiempo de molienda fue de 10 minutos para ambas muestras, los siguientes datos son resultados del análisis granulométrico:

F_{80} cuarzo = 1834,70 μm (100% malla -6).

P_{80} cuarzo = 292,65 μm .

F_{80} mineral = 1342,33 μm (100% malla -6)

P_{80} mineral = 178,27 μm .

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

$$13.6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}} c} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}} c} \right) = Wi \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}} m} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}} m} \right)$$

Haciendo uso de la ecuación de bond se determinó el $Wi = 12,69 \text{ Kw-hr/TM}$ que será el indicador de dureza del mineral en estudio.

Tabla 3. *Clasificación de dureza del mineral*

Descripción	Limite Wi (Kw-H/Tm)
Muy blando	7,26
Blando	7,26 – 10,89
Medio	10,89 – 14,51
Duro	14,51 – 18,14
Muy duro	18,14 – 21,77
Extremadamente duro	21,77

Nota. Datos tomados del laboratorio metalúrgicos

Haciendo comparación el índice de trabajo de 12,69 Kw-h/Tm con de la tabla 1 de work index, se determinada que el mineral es medio duro, debido a que se encuentra entre 10,89 a 14,51 (Kw-h/Tm).

B. Determinación de la gravedad específica del mineral

La determinación de la gravedad específica del mineral se realiza aplicando el método de la fiola. Este método consiste en utilizar cualquier volumen de capacidad. Generalmente se prefieren de 1 Litro de capacidad porque permite alimentar el mineral con mayor facilidad por el cuello de la fiola. Para la determinación de la gravedad específica del mineral se utilizó: balanza electrónica, luna de reloj, fiola de 150 ml, muestra de mineral de 20 gramos.

Tabla 4. *Gravedad específica del mineral*

Muestra	Peso M (g)	Peso (g) F	Peso F+M(g)	Peso agua F+H ₂ O (g)	Peso de fiola+M+H ₂ O (g)	Ge
001-M	15,0	82,5	98,0	282,6	292,9	3,2

Nota. Dato obtenido de laboratorio

La gravedad específica del mineral del estudio tiene 3,2 siendo el mineral pesado.

C. Ensayo químico

Seguidamente le presentamos el ensayo químico realizado en el laboratorio metalúrgico de la Empresa minera Huaron.

Tabla 5. *Ensayo Químico de laboratorio*

Ag g/t	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	PbOx%	ZnOx%
202,76	0,15	4,07	8,24	13,55	0,07	1,44	0,23	0,30

En la tabla 5 de ensayo químico, observamos que el mineral tiene una alta ley de plata que se encuentra en 202,76 g/t, plomo 4,07% y zinc 8,24%, valores alto con relación al promedio habitual. El fierro se encuentra alto con 13,55%, el manganeso se encuentra en 1,44% dentro de los valores habituales y los óxidos de plomo y zinc se encuentran por debajo de los valores habituales siendo 0,23% y 0,30% respectivamente.

4.2.2. Determinación del tiempo de molienda

Para determinar del tiempo de molienda se aplicó procedimientos estándares de la empresa para dar confiabilidad a los resultados. La molienda se da inicio con la adición del mineral al molino con un peso de 1 kilogramo, agua 500 ml y se procede a realizar la molienda teniendo los siguientes resultados.

Tabla 6. *Prueba de moliendabilidad*

N° pruebas	Tiempo de molienda	M -200 Ac (-)	# +65 Ac (+)
1	0	26,72	57,89
2	10	49,34	21,82
3	15	57,08	10,09
4	20	62,94	4,94
13.53		54	10,72
54% m -200 mallas = 13,53			

Nota. Datos tomados de pruebas metalúrgicas

De la ecuación de molienda tenemos

$$Y = 1,8971x + 28,32$$

Donde:

Y = malla - 200

X = tiempo de molienda

Remplazando los datos se determinó el tiempo de la molienda:

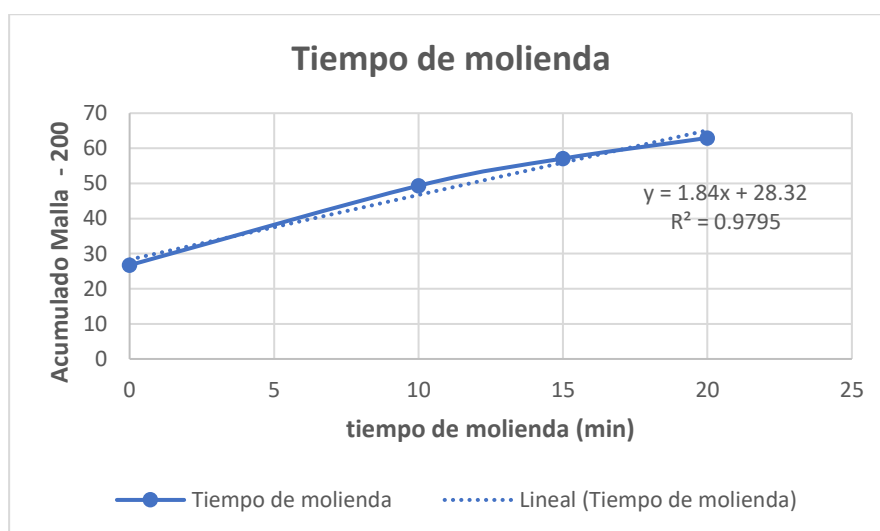
$$54 = 1,8971X + 28,32$$

$$X = 13,53 \text{ min.}$$

El tiempo de molienda estimado es de 13,53 minutos para 54% - 200 mallas

A continuación, le presentamos la figura 5 del tiempo de molienda del mineral del nivel 250.

Figura 8. Tiempo de molienda



Nota. Elaboración propia

En la figura 8 se observa que la pendiente del tiempo de molienda tiene una correlación de 0,9795, siendo considerada como buena.

4.2.3. Pruebas de flotación a nivel batch

A continuación, presentamos las condiciones de la flotación estándar similares a la planta concentradora a nivel batch para la obtención del concentrado bulk y después se realiza la separación Cobre-plomo.

A. Condiciones de operación de flotación cíclicas bulk

Molienda:

- Peso de mineral : 1 Kg
- Agua : 500 cc
- Tiempo de molienda : 13,52 minutos
- Cianuro de sodio : 30 g/Tn
- Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación Rougher Bulk:

- pH de flotación : 9,10
- sulfato de zinc : 200 g/Tn
- Z-11/Z-6 : 13 g/Tn
- Espumante H-150 : 25 g/Tn
- Tiempo Acond : 2 minutos
- Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger bulk:

- Z-11/Z-6 : 3 g/Tn
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk I:

- Cianuro de sodio : 5 gr/Tn
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk II:

- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk III:

- Tiempo de flotación : 2 minutos

B. Prueba de Separación cobre/Plomo

- pH : 9.0
- Acondicionamiento : 5 min.
- Bicromato de sodio : 17 g/T

En las pruebas experimentales, para determinar los factores que tienen influencia en la recuperación de cobre y plomo se determinó los parámetros en estudio que se presenta en la tabla siguientes:

Tabla 7. *Parámetros de flotación*

Factores	Niveles (-)	Niveles (+)
X ₁ : H-150 (g/T)	20	25
X ₂ : NaCN (g/T)	30	35
X ₃ : Z-11/Z-6 (g/T)	12	16

Se aplico el diseño factorial para los tres factores, siendo un total de 8 pruebas

$$N=2^3 = 8 \text{ pruebas}$$

Establecido los niveles de dosificación de los reactivos, se realizó las pruebas cíclicas establecidas desde la primera prueba hasta culminar con la prueba 8. A continuación, presentamos en la tabla 8 la dosificación de reactivos que se utilizan en las pruebas experimentales.

Tabla 8. Dosificación de reactivos en pruebas de flotación

Nombre:	Reactivos g/Ton									
	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-Il/Z-6	Cal	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
molienda	13,43	8,45							150	
Ro-Bk	3	8,45	30	10				25		150
Scv-Bk	2	8,4		6						
1° Cl Bk	3		5							
2° Cl Bk	3									
3° Cl Bk										
Sp Cu/Pb	5	9				17				
Ac Zn 1°	3	10,5			750					
Ac Zn 2°	4				250		160			
Ro Zn	3			10						
Scv-Zn	2			6			50			
1° Cl Zn	3				300					
2° Cl Zn	3				300					
3° Cl Zn	3				150					

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

Con las condiciones de dosificación en los puntos establecidos se realiza las pruebas metalúrgicas teniendo en cuenta la variación de los niveles de dosificación aplicando el diseño factorial, ver tabla 9.

Tabla 9. Matriz del diseño factorial codificado

N° prueba	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃
1	-	-	-	+	+	+
2	+	-	-	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-
4	+	+	-	+	-	-
5	-	-	+	+	-	+
6	+	-	+	-	+	-
7	-	+	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+

Nota. Matriz obtenida de optimización por diseños experimentales Ayala

Las pruebas de flotación se iniciaron cargando la pulpa de mineral a la celda, dosificando los reactivos, flotando inicialmente el concentrado bulk, separación y finalmente la flotación de zinc. En enseguida presentamos algunos balances metalúrgicos de las recuperaciones de las pruebas experimentales.

Primera prueba de flotación

Esta prueba se realiza dosificando los reactivos con las mínimas dosificaciones de espumante con 20 g/T, cianuro de sodio con 30 g/T y colectores con 12 g/T. Ver tabla 10.

Tabla 10. Condiciones de dosificación

Reactivos g/Ton								
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄
molienda	13.43	8,45						150
Ro-Bk	3	8,45	25	8			20	150
Scv-Bk	2	8,4		4				
1° Cl Bk	3		5					
2° Cl Bk	3							
3° Cl Bk								
Sp Cu/Pb	5	9			17			
Total			30	12			20	

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

Realizado las pruebas experimentales de la primera prueba tenemos los siguientes resultados en el balance metalúrgico, ver tabla 11.

Tabla 11. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc

PM-001 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6,19	0,62	611,79	9,44	9,51	4,84	7,18	1,87	38,28	1,46	0,36	0,33
Conc. Pb	51,93	5,19	2895,31	1,34	54,89	7,61	7,39	74,20	45,58	70,52	4,81	2,84
Conc. Zn	113,79	11,38	207,68	0,07	3,29	56,29	9,23	11,66	5,52	9,22	77,93	7,80
Relave Final	828,09	82,81	30,00	0,02	0,92	1,68	14,45	12,26	10,62	18,80	16,90	89,03
Cbza Calc.	1000,00	100,00	202,62	0,15	4,05	8,22	13,44	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos del ensaye químico

En la tabla 11 se observa que, trabajando con los niveles mínimos de dosificación del espumante, cianuro de sodio y Z-11/Z-6, tenemos una recuperación de cobre 38,28%, plomo 70,52% y zinc 77,93%. Las calidades de los concentrados son bajos como se observa en la tabla.

Cuarta prueba de flotación

Esta prueba se realiza dosificando los reactivos con las mínimas dosificaciones de espumante, cianuro de sodio y colectores

Tabla 12. Condiciones de dosificación

Reactivos g/Ton									
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
molienda	13,43	8,45						150	
Ro-Bk	3	8,45	30	8			25		150
Scv-Bk	2	8,4		4					
1° Cl Bk	3		5						
2° Cl Bk	3								
3° Cl Bk									
Sp Cu/Pb	5	9			17				
Total			35	12			25		

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

Esta prueba se realiza dosificando el espumante H-150 en 25 g/t, NaCN en 35 g/t y Z-11/Z-6 en 12 g/t. Realizado las pruebas metalúrgicas tenemos los siguientes resultados.

Tabla 13. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc

PM-004 PRODUCTO	Peso	%	*** ENSAYES ***						RECUPERACIÓN			
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6,73	0,67	669,81	9,37	9,59	4,89	7,11	2,52	41,31	1,40	0,40	0,36
Conc. Pb	53,12	5,31	2874,72	1,21	55,23	7,67	7,31	75,36	42,10	71,42	4,96	2,89
Conc. Zn	112,41	11,24	192,01	0,08	3,40	56,84	8,99	10,62	5,81	10,14	77,74	7,52
Relave Final	827,74	82,77	28,14	0,02	0,80	1,68	14,49	11,50	10,78	17,04	16,92	89,23
Cbza Calc.	1000,00	10,00	202,09	0,15	4,04	8,22	13,44	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos del ensayo químico

En esta prueba se observa que las recuperaciones metálicas se incrementan con respecto a la prueba PM-001, siendo la recuperación de cobre 41,31%, plomo 71,42% y zinc con 77,74%. Así mismo, las calidades de los concentrados mejoran siendo estos 9,37% para el cobre, 55,23% para el plomo y para el zinc en 58,66%

Sexta prueba de flotación

Esta prueba se realiza dosificando el NaCN con 30 g/T, Z-11/Z-6 con 16 g/T y espumante 25 g/T, como se puede apreciar en la tabla 14.

Tabla 14. Condiciones de dosificación

Reactivos g/Ton									
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-II/Z-6	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
molienda	13,43	8,45						150	
Ro-Bk	3	8,45	30	8			25		150
Scv-Bk	2	8,45		4					
1° Cl Bk	3		5						
2° Cl Bk	3								
3° Cl Bk									
Sp Cu/Pb	5	9			17				
Total			30	16			25		

Nota. Los valores de color azul son las dosificaciones de las pruebas

A continuación, se observa las recuperaciones y calidad del concentrado en la prueba metalúrgica, ver tabla 15.

Tabla 15. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc

PM-006 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6,83	0,68	662,21	9,69	8,94	4,42	7,13	2,01	43,35	1,51	0,37	0,36
Conc. Pb	55,68	5,57	2627,41	1,11	57,63	6,23	7,12	82,68	40,49	79,39	4,22	2,95
Conc. Zn	112,74	11,27	187,11	0,08	3,27	58,66	8,58	8,30	5,61	9,10	80,46	7,53
Relave Final	824,75	82,48	21,21	0,02	0,49	1,49	14,53	7,01	10,55	10,00	14,95	89,16
Cbza Calc.	1000,00	100,0	202,77	0,15	4,04	8,22	13,44	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos del ensaye químico

En esta prueba se observa que las recuperaciones metálicas se incrementan con respecto a la prueba PM-004 teniendo una recuperación de cobre de 43,35%, plomo con 79,39% y zinc con 80,46%. Así mismo, las calidades de los concentrados mejoran en 9,69% para el cobre, 57,63% para el plomo y para el zinc en 58,66%

Octava prueba de flotación

Esta prueba se realiza dosificando el NaCN con 35 g/T, Z-11/Z-6 con 16 g/T y espumante 25 g/T, como se puede apreciar en la tabla 16.

Tabla 16. Condiciones de dosificación

Reactivos g/Ton									
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-Il/Z-6	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
molienda	13,43	8,45						150	
Ro-Bk	3	8,45	30	8			25		150
Scv-Bk	2	8,4		4					
1° Cl Bk	3		5						
2° Cl Bk	3								
3° Cl Bk									
Sp Cu/Pb	5	9			17				
Total			35	16			25		

Nota. Los valores de color azul son las dosificaciones de las pruebas

En seguida podemos observar las recuperaciones y calidad del concentrado en la prueba metalúrgica PM-008. Ver tabla 17

Tabla 17. Balance metalúrgico de cobre. Plomo y zinc

PM-008 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6,68	0,67	368,03	11,08	7,25	2,42	7,13	1,21	48,48	1,20	0,20	0,35
Conc. Pb	53,98	5,40	2785,00	1,04	63,01	6,15	7,12	84,96	36,75	85,13	4,04	2,86
Conc. Zn	112,87	11,29	102,40	0,07	2,30	62,43	8,98	6,45	5,03	6,87	85,73	7,54
Relave Final	826,47	82,65	18,10	0,02	0,32	1,01	14,53	7,38	9,74	6,80	10,03	89,25
Cbza Calc.	1000,00	100,00	202,76	0,15	4,04	8,23	13,45	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos del ensaye químico

En esta prueba se observa que las recuperaciones metálicas se incrementan con respecto a la prueba PM-006, la recuperación de cobre es 43,35%, plomo con 85,13% y zinc con 85,73%. Así mismo, las calidades de los concentrados mejoran en 11,08% para el cobre, 63,01% para el plomo y para el zinc en 62,43%.

En seguida presentamos la tabla 18 donde se observa las corridas de las pruebas experimentales utilizando el software estadístico del Minitab Versión 21.

Tabla 18. Matriz del diseño escala real de las pruebas experimentales

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	H-150	NaCN	Z-11/Z-6	Recup. Pb
1	1	1	1	1	20	30	12	70.50
2	2	2	1	1	25	30	12	72.27
3	3	3	1	1	20	35	12	72.50
4	4	4	1	1	25	35	12	71.42
5	5	5	1	1	20	30	16	74.68
6	6	6	1	1	25	30	16	79.39
7	7	7	1	1	20	35	16	81.99
8	8	8	1	1	25	35	16	85.13

Nota. Las recuperaciones son datos obtenidos del balance metalúrgico

A continuación, presentamos en la tabla 19 los efectos obtenidos de las corridas experimentales para el análisis de forma preliminar.

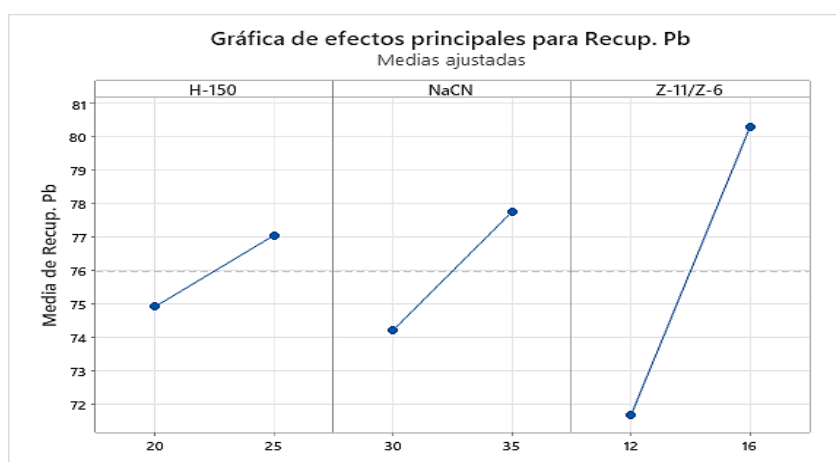
Tabla 19. Coeficientes codificados

Término	Efecto
Constante	75,985
H-150	2,135
NaCN	3,550
Z-11/Z-6	8,625
NaCN*Z-11/Z-6	2,975

Análisis de los efectos

Visualizando los valores de los efectos, se observa que la mezcla de Z-11/Z-6 tiene un valor alto de 8,625, seguido del NaCN y espumante H-150. Notamos que la combinación de los colectores tiene mayor influencia en la recuperación de plomo, de igual manera el NaCN y el H-150 que influyen en la recuperación de plomo. Lo manifestado gráficamente también lo podemos visualizar en la figura 9.

Figura 9. Efectos principales



Nota. Imagen obtenida de Minitab

Para corroborar los análisis desarrollados líneas arriba de forma preliminar, utilizamos el análisis de varianza, considerado como error la interacción triple y dobles que no influyen en el proceso.

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente Variación	Suma Cuadrados	GL	Media Cuadrados	Valor F	Valor p
H-150	9,116	1	9,116	3,02	0,181
NaCN	25,205	1	25,205	8,35	0,063
Z-11/Z-6	148,781	1	148,781	49,29	0,006
NaCN*Z-11/Z-6	17,701	1	17,701	5,86	0,094
Error	9,055	3	3,018		
Total	209,859	7			

Coeficiente correlación 95,69%

En la tabla 20 observamos que el factor que tiene mayor influencia es la combinación de los colectores Z-11/Z-6, seguido por el cianuro de sodio, esto lo deducimos por el valor de P-value que es 0,006 y 0,063 respectivamente. Para un coeficiente de correlación de 95,69%.

El valor F para la tabla para un 90% de significancia, observamos F-Ratio del factor colector es 49,29, por lo tanto, este factor es significativo y tiene una influencia alta en la recuperación de plomo. De igual manera el NACN tiene un F-Ratio de 8,35. Por lo que se corrobora que estos factores son una variable y se

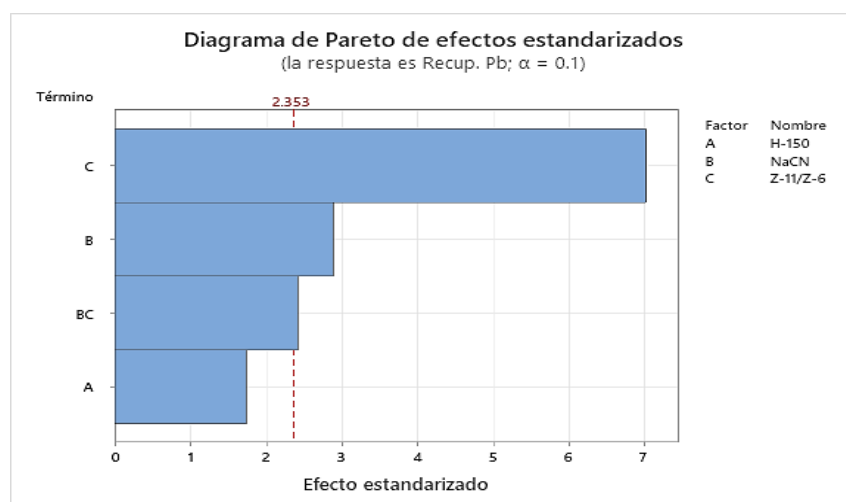
encuentra en su nivel mínimo y se puede maximizar y a la vez es una variable en el proceso.

El modelo matemático para el proceso es:

$$\text{Recup. Pb} = 148,5 + 0,427 \text{ H-150} - 3,45 \text{ NaCN} - 7,51 \text{ Z-11/Z-6} + 0,297 \text{ NaCN} * \text{Z-11/Z-6}$$

En el modelo se observa, que la constante es positiva y viene hacer el promedio de los valores del vector respuesta, así mismo es el valor inicial del proceso en estudio, el signo positivo de la constante nos indica que se encuentra en su valor mínimo y puede ser maximizado para alcanzar el valor optimo, que depende de los factores NaCN y espumante H-150.

Figura 10. Diagrama de efectos de Pareto



Nota. Imagen obtenida de Minitab

En el diagrama de Pareto se observa que los factores influyentes son la combinación de colectores Z-11/Z-6, seguido del NaCN que tienen influencia en la recuperación de plomo. La interacción cianuro de sodio y colector es mínimo, esto lo deducimos por el punto crítico t – student que es $t_{(0,10,3)} = 2,35$.

C. Condiciones de operación para la flotación de zinc

En estas corridas, se procedió a trabajar activando el sulfuro de zinc con sulfato de cobre, y se elevó el pH a 10,8. En seguida le presentamos las condiciones de la flotación de zinc.

Condiciones de la flotación de zinc

Flotación Rougher Zinc:

- Cal : 1000 gr/Tn
- pH de flotación : 10.80
- sulfato de Cobre : 175 gr/Tn
- Z-11/Z-6 : 10 gr/Tn
- Espumante H-150 : 12 gr/Tn
- Tiempo Acond : 5 minutos
- Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger zinc:

- sulfato de Cobre : 25 gr/Tn
- Z-11/Z-6 : 8 gr/Tn
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner zinc I:

- Cal : 400 gr/Tn
- pH : 11.60
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner zinc II:

- Cal : 300 gr/Tn
- pH : 11.60
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner zinc III:

- Cal : 300 gr/Tn
- pH : 11.60
- Tiempo de flotación : 2 minutos

En esta prueba, aplicamos el diseño factorial para dos factores como son: Sulfato de cobre y la combinación de colectores Z-11/Z-6). En seguida le presentamos la tabla 21 de los factores en estudio con su respectivo parámetro de dosificación.

Tabla 21. *Parámetro de flotación del sulfuro de zinc*

Factores	Niveles (-)	Niveles (+)
X ₁ : Tiempo de acondic. min	3	5
X ₂ : Sulfato de cobre (g/T)	180	200
X ₃ : Z-11/Z-6 (g/T)	14	18

Aplicando el diseño factorial para tre factores tenemos:

$$N=2^3= 8 \text{ pruebas}$$

En seguida le presentamos los puntos de dosificación de los reactivos para las pruebas experimentales para cada corrida. Ver tabla 22

Tabla 22. *Dosificación de reactivos en la prueba de flotación de zinc*

Reactivos g/Ton									
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-II/Z-6	Cal	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
Ac Zn 1°	3	10,5			750				
Ac Zn 2°	5				250	160			
Ro Zn	3			10					
Scv-Zn	2			6		40			
1° Cl Zn	3				300				
2° Cl Zn	3				300				
3° Cl Zn	3				150				
Total	3 - 5			16		200			

Teniendo los parámetros definidos se procedió a realizar las pruebas experimentales a escala real.

Tabla 23. *Diseño factorial de dos factores*

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8 
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Tiempo Acond.	CuSO4	Z-11/Z-6	Recup. Zn
1	1	1	1	1	3	180	14	77.93
2	2	2	1	1	5	180	14	78.01
3	3	3	1	1	3	200	14	78.04
4	4	4	1	1	5	200	14	77.74
5	5	5	1	1	3	180	18	78.77
6	6	6	1	1	5	180	18	80.46
7	7	7	1	1	3	200	18	83.70
8	8	8	1	1	5	200	18	85.73

Nota. Los valores del sulfato de cobre y colectores se presentan en la tabla

En la tabla 23 se observa las recuperaciones de las corridas experimentales, en la prueba 8 tenemos una recuperación alta de 85,73% de zinc, en comparación con las otras corridas que son inferiores a este valor.

Después del procesamiento de los datos con el Minitab V21, tenemos los efectos promedios de los factores en estudio que a continuación se presenta.

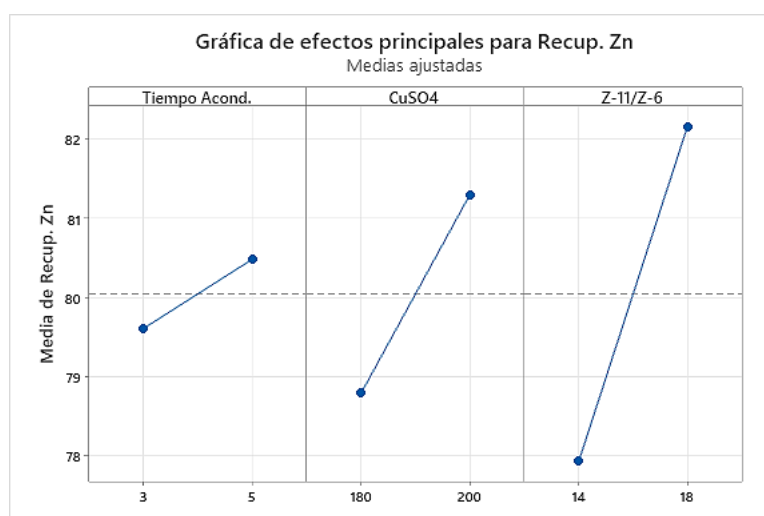
Tabla 24. *Coeficientes codificados*

Término	Efecto
Constante	80,047
Tiempo Acod.	0,875
CuSO ₄	2,510
Z-11/Z-6	4,235

Análisis de efectos

El análisis preliminar de los efectos nos muestra que la dosificación del colector Z-11/Z-6 tienen un valor de 4,235, que nos indica que influye en la recuperación de zinc, seguido del sulfato de cobre que tiene un valor de 2,51 y el tiempo de acondicionamiento que tienen un valor de 0,875. Lo manifestado lo podemos comprobar en la figura 11, por la pendiente más pronunciada.

Figura 11. Efectos principales de la recuperación de zinc



Nota. Imagen obtenida de Minitab

Para confirmar lo mencionado anteriormente, el análisis de varianza nos permite determinar lo manifestado, teniendo en cuenta que la interacción triple es considerada como error debido a que no es significativo.

Tabla 25. Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Media de Cuadrados	Valor F	Valor p
Tiempo Acond.	1,5312	1	1,5312	47,12	0,021
CuSO ₄	12,6002	1	12,6002	387,70	0,003
Z-11/Z-6	35,8704	1	35,8704	1103,71	0,001
Tiempo Acond.*Z-11/Z-6	1,9405	1	1,9405	59,71	0,016
CuSO ₄ *Z-11/Z-6	13,4162	1	13,4162	412,81	0,002
Error	0,0650	2	0,0325		
Total	65,4236	7			

Nota. Coeficiente de correlación R – cuadrado 99,90%

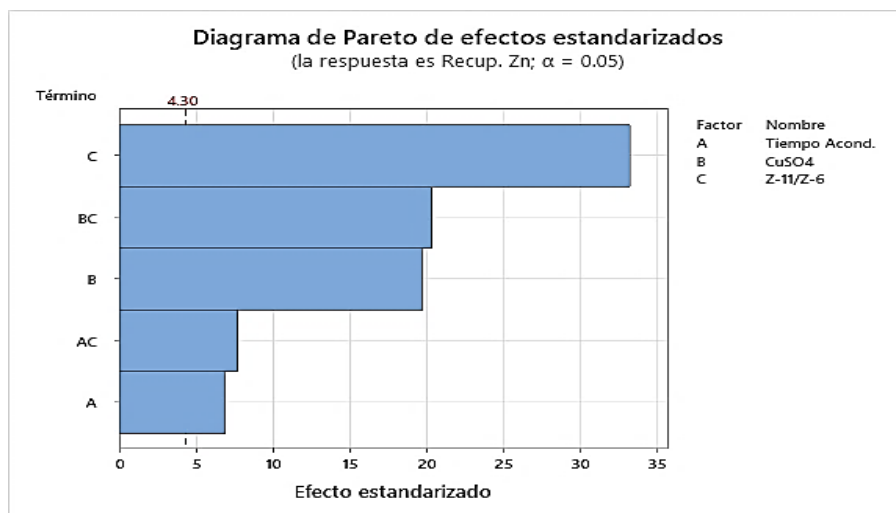
En el análisis de varianza observamos, que la dosificación del colector tiene efecto significativo en la recuperación de zinc, seguido por el sulfato de cobre y tiempo de acondicionamiento para un coeficiente de correlación de 99,90%. Además, la sinergia de las interacciones tiene influencia en la recuperación de zinc que son significativos.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Recup. Zn} = 250., - 3,503 X_1 - 0,9105 X_2 - 12,229 X_3 + 0,2463 X_1 * X_3 + 0,06475 X_2 * X_3$$

Lo manifestado lo podemos ver en el diagrama de Pareto que tiene $t = 4,30$.

Figura 12. Diagrama de Pareto en la recuperación de zinc



En la figura 12 observamos que el colector es más significativo, seguido de la interacción sulfato de cobre*colector y dosificación del sulfato de cobre.

4.3. Prueba de hipótesis

Para la demostración de la hipótesis general, se utilizó la relación de variables utilizando la correlación de variables.

4.3.1. Hipótesis de investigación

Hipótesis Nula: $r_{XY} \neq 0$

La evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 no está relacionada con la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

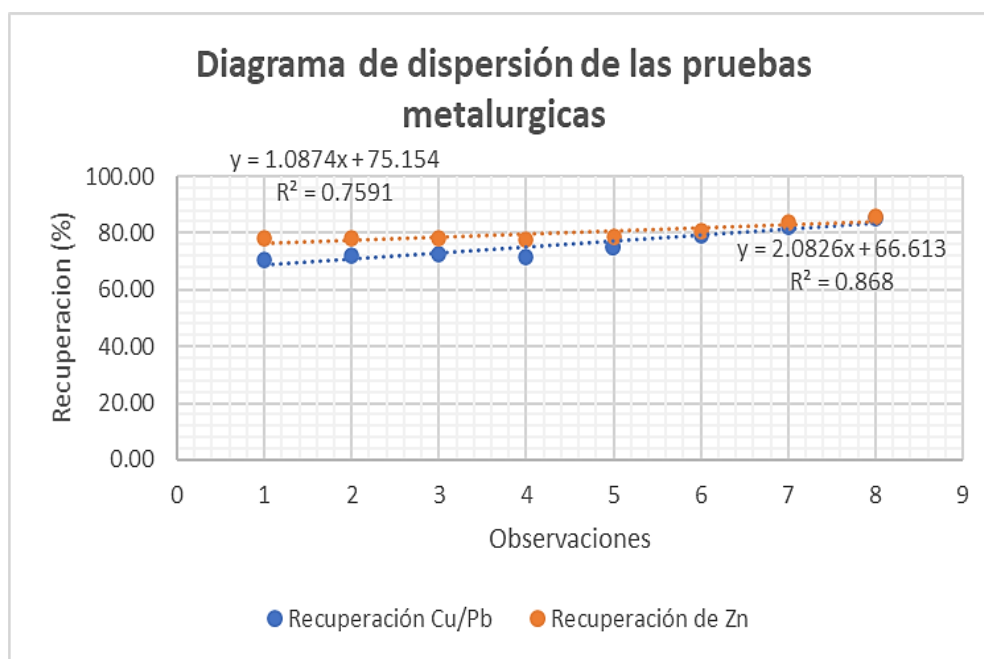
Hipótesis alterna: $r_{XY} = 0$

La evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 está relacionada con la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

Prueba de hipótesis

Se demuestra la hipótesis con los valores obtenidos de la recuperación de cobre, plomo y zinc en la evaluación metalúrgica. Ver figura 13

Figura 13. Relación de variables



Nivel de significancia

$$\alpha = 0,01$$

Estadístico de prueba

Correlación

Correlaciones			
		Pruebas metalúrgicas	Recuperación
Pruebas metalúrgicas	Correlación	1	,932**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	8	8
Recuperación	Correlación	,932**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	8	8
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).			

Valor de decisión:

(Si $P > \alpha$ se acepta la H_0) (Si $P < \alpha$ se rechaza la H_0)

$$P=0,001 < \alpha = 0,01$$

Decisión

Se acepta la Hipótesis Alternativa

Conclusión

Existe suficiente evidencia para afirmar que existe correlación entre las variables Evaluación metalúrgica del mineral del Nivel 250 con la recuperación de cobre, plomo y zinc de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón, al 95% de significancia.

4.4. Discusión de resultados

El objetivo de la tesis es realizar la evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

Aplicando la correlación de variables se observó que las pruebas metalúrgicas como: la caracterización física y química de los minerales del nivel 250, grado de liberación y las pruebas de flotación de dosificación de reactivos, tienen influencia en la recuperación del cobre, plomo y zinc. Esto se comprobó por la correlación de Pearson que tiene un valor P-value de 0,001 que es menor que 0,05 del nivel de significancia (**$P=0,001 < 0,05$**), por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Lo manifestado tiene relación con lo manifestado por **SGS (2012)** que menciona, que la evaluación metalúrgica es un proceso sistemático que busca determinar las características físicas, químicas y metalúrgica de los minerales para diseñar, optimizar y mejorar los procesos de beneficio de minerales de interés.

De la caracterización física y química del mineral del nivel 250 se determinó que el mineral tiene una gravedad específica de 3,2 g/cm³, que nos sugiere que el mineral es pesado, así mismo, la dureza del mineral se encuentra dentro de los minerales medio duro por el valor de 12,69 Kw-hr/TM, de la misma manera, la caracterización química del mineral nos dio un ensaye de ley de cabeza de una alta ley de plata 202,76 g/T, cobre 0,15%, plomo 4,07% siendo una ley que se encuentra dentro de los parámetros establecidos de operación, zinc 8,24% que también se encuentra dentro del promedio establecido. El fierro también se encuentra dentro del promedio establecido de operación. Los restos de minerales no tienen demasiada influencia en la calidad del concentrado y en la recuperación. Al respecto **Carvo y Aguirre (2021)** también realizan la evaluación de minerales polimetálicos den la veta Farallón, Nivel 180, para mejorar la recuperación de plomo, plata y zinc, también realizan el análisis del mineral que tiene una ley de 146,41 g/T de plata, 0,42% de cobre, 1,85% de plomo, zinc 7,57% y 21, 59% de fierro y un manganeso de 5,22%. La dureza del mineral también es de 12,29 Kw-Hr/Tc, considerándose también medio duro.

De la prueba de molienda se terminó que el grado de liberación adecuada para el mineral del nivel 250 es 54% malla -200, para un tiempo de molienda de 15,53 minutos, encontrándose este tiempo dentro de los rangos establecidos en la operación a nivel de planta. Así mismo, **Adrea (2016)** manifiesta que la molienda es la etapa final en el proceso de fracturamiento del mineral y que tiene como finalidad lograr la liberación de las especies mineralógicas, alcanzando el grano requerido. De igual manera **Carvo y Aguirre (2021)** determinaron el grado de liberación del mineral de veta Farallon se encuentra en 55% malla -200.

Las pruebas de flotación del mineral del nivel 250 se realizó utilizando los reactivos de flotación como NaCN, Espumante H-150 y la combinación de colectores

Z-11/Z-6 en la flotación bulk y en la separación Cu/Pb. La dosificación de NaCN se experimentó en el rango de 30 a 35 g/T, Z-11/Z-6 en el rango 12 a 16 g/T y espumante H-150 en el rango de 20 – 25 g/T alcanzando una máxima recuperación de cobre de 48,48%, con una calidad de concentrado de 11,08%, con una ley de plata de 368,03 g/T; la recuperación de plomo se alcanzó a 85,13% con una calidad de concentrado de 63,01%, que contiene 2785 g/T de plata.

La recuperación de zinc se alcanzó a 85,73% con una calidad de concentrado de 62,43%. La prueba consistió en la activación del sulfuro de zinc con sulfato de cobre que se dosifico en el rango de 180 a 200 g/T y la dosificación de colector Z-11/Z-6 de 14 a 18 g/T, el tiempo de acondicionamiento de vario de 3 min a 5 min. Al respecto **Meza Chacpa (2019)** en su estudio de evaluación metalúrgica del circuito de flotación para recuperar plomo, cobre y zinc en Izcaycruz, en la flotación bulk utiliza NaCN 15 g/T, NaHSO₃ 400 g/T y ZnSO₄ 600 g/T, espumante MIBC y Z-11 30 g/T, teniendo una recuperación de plomo de 76,77%, cobre 69,60%. Y en la flotación de zinc dosifico sulfato de cobre 400 g/T y colector Z-11 80 g/T y espumante 36 g/T de MIBC, teniendo una recuperación de 90,34%.

CONCLUSIONES

1. La evaluación metalúrgica tiene influencia en la recuperación de cobre, plomo, zinc y apreciable contenido de plata del mineral del nivel 250 de la Minera Pan American Silver – Unidad Huarón, que se demostró mediante la correlación de variables con la recuperación siendo el P-value $0,001 < 0,05$.
2. Las características físicas y químicas tienen influencia en la recuperación de cobre, plomo y zinc en la que se determinó que el mineral es medio duro por el valor de W_i de 12,69 Kw-Hr/TM, la gravedad específica es de 3,27, considerándose como un mineral pesado. Y los ensayos químicos arrojaron una alta ley de plata que tiene 202,76 g/T, plomo 4,07%, cobre 0,15%, Zinc 8,24%, hierro 13,55% y As, Mn y plomo soluble y zinc que no perjudican la flotación.
3. De las pruebas de molienda se determinó que el grado de liberación del mineral se encuentra en 54% m – 200 mallas para un tiempo de molienda de 13,53 minutos, en la que tiene una buena correlación de 0,9795.
4. De las pruebas de flotación se determinó que dosificando cianuro de sodio 35 g/T, Z-11/Z-6 16 g/T y tiempo de acondicionamiento de 5 minutos se tenemos una recuperación de cobre 48,48% y plomo 85,13%, siendo los contenidos de plata 368,03 g/T y 2785 g/T respectivamente. En la separación Cu/Pb se utilizó 17 g/T de bicromato de sodio. La recuperación de zinc alcanzo 85,73%, con una calidad de concentrado de 62,43% con una dosificación de sulfato de cobre 200 g/T y Z-11/Z-6 en 18 g/T y 5 minutos de tiempo de acondicionamiento.
5. Las pruebas experimentales que hemos realizado han demostrado que el presente proyecto es viable económicamente, puesto que representarán buenas utilidades para la empresa y además es una herramienta académica para los estudiantes y personas interesadas en la metalurgia extractiva.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio más minucioso de la caracterización física y química del mineral para tener mayor conocimiento de la mineralogía del nivel 250 y proponer alternativas de tratamiento y dosificación de reactivos de flotación.
2. Realizar pruebas de molienda con las muestras totales del nivel 250 para determinar el tiempo del grado de liberación, para que sean más confiables los resultados, a mayor cantidad de muestra los resultados son más confiables.
3. Seguir realizando pruebas de flotación con otros reactivos alternativos que mejoran la recuperación de cobre, plomo y zinc. Así mismo realiza pruebas de molienda de concentrado bulk para ver en que malla se liberan las partículas mixtas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Gonzales, J. L., & Mitsou Covinos, G. (2021). *Diseño y metodología de investigación*. Arequipa: Enfoques Consulting. Obtenido de https://www.academia.edu/69037546/Arias_Covinos_Dise%C3%B1o_y_metodologia_de_la_investigacion_1_
- Atlantic, C. (2016). *El cobre*. Obtenido de <https://www.atlantic-copper.es/proceso-y-comercializacion/materias-primas>
- Azañero Ortiz, A., & Morales Valencia , M. (15 de 12 de 1999). EVALUACIÓN DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 2(4), 77-94. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2149/1864>
- Azañero Ortiz, A., Aramburu Rojas, V., Quiñones Lavado, J., Puente Santibañez, L., Cabrera Sandoval, M., Rengifo Sing, W., . . . Quispe Valdivia, J. (2010). FLOTACION DE MINERALES POLIMETÁLICOS SULFURADOS DE Pb, Cu yZn. *Revista del instituto de investigación Riigeo*, 13(26), 20. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.429>
- Carvo Cuellar, K. E., & Aguirre Galindo, B. (2021). *Caracterización geometalurgica del mineral veta farallón Nivel 180 y los parámetros de flotación de minerales polimetalicos en la Compañía minera Huaron S.A.* Universidad Nacional del Centro del Perú [Tesis de titulación], Huancayo. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8712/T010_70117747_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- HLCSISTEMAS. (19 de agosto de 2019). *Metalurgia*. Obtenido de <https://www.hlcsac.com/noticias/para-que-sirven-pruebas-metalurgicas/>
- Industrias (2015). *Molienda*. <https://www.academia.edu/30227960/molienda>

- Meza Chacpa, L. (2019). *Evaluación metalúrgica en el circuito de flotación para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la planta concentradora Iscaycruz – Oyon, Lima - 2019*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión [Tesis de titulación], Pasco. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1419/1/T026_70809824_T.pdf
- Rocas, M. y. (2015). *Grupo de Minerales: Los sulfuros*. Obtenido de <https://acortar.link/7iYqAY>
- SGM. (22 de marzo de 2017). *Gobierno mexicano*. Obtenido de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Clasificacion-de-yacimientos-minerales.html
- SGS. (2012). *MINERALS SERVICES – T3 SGS 844*. Obtenido de <https://www.sgs.com/-/media/sgscorp/documents/corporate/brochures/sgs-844-metallurgical-scoping-studies--spanish.cdn.es-MX.pdf>
- Simsa. (s.f.). *Concentrado de plomo*. Obtenido de <https://www.simsa.com.pe/concentrado-de-plomo>
- Venancio Astucuri, T. (1981). *Fundamentos y aplicaciones principales de la flotación de minerales*. Lima: colecciones ciencias.
- Vera López, E., López Díaz, A., Pineda Triana, Y., & Useda Rodriguez, O. A. (2020). *Caracterización, beneficio y usos potenciales de minerales estratégicos del departamento de Boyacá*. Colombia: Uptc. Obtenido de <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/134/164/2727?inline=1>

ANEXOS

ANEXO I

BALANCES METALURGICOS

PM-001 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** E N S A Y E S ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.19	0.62	611.79	9.44	9.51	4.84	7.18	1.87	38.28	1.46	0.36	0.33
Conc. Pb	51.93	5.19	2895.31	1.34	54.89	7.61	7.39	74.20	45.58	70.52	4.81	2.84
Conc. Zn	113.79	11.38	207.68	0.07	3.29	56.29	9.23	11.66	5.52	9.22	77.93	7.80
Relave Final	828.09	82.81	30.00	0.02	0.92	1.68	14.45	12.26	10.62	18.80	16.90	89.03
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.62	0.15	4.05	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

$$F = C + T \quad \rightarrow \quad F = Cu + Pb + Zn + T$$

Donde:

F: ley de cabeza

C: ley de concentrado

T: ley de relave

$$T = F - C \rightarrow T = F - Cu - Pb - Zn$$

$$F_f = Cu.ley + Pb.ley + Zn.ley + T.ley$$

Para el cobre

$$1000(8.15) = 9.44Cu + 1.34Pb + 0.07Zn + 0.02(1000 - Cu - Pb - Zn)$$

$$8150 = 9.44Cu + 1.34Pb + 0.07Zn + 20 - 0.02Cu - 0.02Pb - 0.02Zn$$

$$8150 = 9.42Cu + 1.32Pb + 0.05Zn \quad \dots\dots\dots (1)$$

Para el plomo

$$1000(4.07) = 9.51Cu + 54.89Pb + 3.29Zn + 0.92(1000 - Cu - Pb - Zn)$$

$$4070 = 9.51Cu + 54.89Pb + 3.29Zn + 920 - 0.92Cu - 0.92Pb - 0.92Zn$$

$$3150 = 8.59Cu + 53.97Pb + 2.37Zn \quad \dots\dots\dots (2)$$

Para el Zinc

$$1000(8.22) = 4.84Cu + 7.61Pb + 56.29Zn + 1.68(1000 - Cu - Pb - Zn)$$

$$8220 = 4.84Cu + 7.61Pb + 56.29Zn + 1680 - 1.68Cu - 1.68Pb - 1.68Zn$$

$$6540 = 3.16Cu + 5.93Pb + 54.61Zn \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$CM \text{ Cobre} = 6.19 * \frac{9.51}{100} = 0.59$$

$$Recuperación = \frac{0.59}{40.46} * 100 = 1.45 \%$$

$$CM \text{ Plomo} = 51.93 * \frac{54.84}{100} = 28.50$$

$$Recuperación = \frac{28.50}{40.46} * 100 = 70.4 \%$$

$$CM \text{ zinc} = 113.79 * \frac{3.29}{100} = 3.74$$

$$Recuperación = \frac{3.29}{40.46} * 100 = 9.1 \%$$

$$CM \text{ Relave} = 828.09 * \frac{0.92}{100} = 7.62$$

$$Recuperación = \frac{7.62}{40.46} * 100 = 18.8 \%$$

$$\text{Total} = 40.46$$

Cálculo del contenido metálico de Zinc

$$CM \text{ Cobre} = 6.19 * \frac{4.84}{100} = 0.30$$

$$Recuperación = \frac{0.30}{82.22} * 100 = 0.35 \%$$

$$CM \text{ Plomo} = 51.93 * \frac{7.61}{100} = 3.95$$

$$Recuperación = \frac{3.95}{82.22} * 100 = 4.80 \%$$

$$CM \text{ Zn} = 113.79 * \frac{56.29}{100} = 64.05$$

$$Recuperación = \frac{56.29}{82.22} * 100 = 77.92 \%$$

$$CM \text{ Relave} = 113.79 * \frac{1.68}{100} = 13.91$$

$$Recuperación = \frac{1.68}{82.22} * 100 = 16.70 \%$$

$$\text{Total} = 82.22$$

PM-002 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.74	0.67	649.37	9.36	9.58	4.89	7.11	2.16	41.33	1.60	0.40	0.35
Conc. Pb	52.91	5.29	2901.72	1.23	55.21	7.67	7.29	75.77	42.63	72.27	4.91	2.87
Conc. Zn	112.79	11.28	191.01	0.07	3.42	56.85	8.98	10.63	5.41	9.55	78.01	7.54
Relave Final	827.56	82.76	28.01	0.02	0.81	1.66	14.50	11.44	10.63	16.58	16.68	89.24
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.63	0.15	4.04	8.22	13.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-003 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.69	0.67	668.74	9.33	9.61	4.83	7.14	2.21	40.89	1.58	0.39	0.36
Conc. Pb	52.98	5.30	2873.11	1.24	55.31	7.68	7.33	75.12	43.03	72.50	4.95	2.89
Conc. Zn	112.75	11.28	194.06	0.07	3.42	56.89	8.91	10.80	5.46	9.54	78.04	7.47
Relave Final	827.58	82.76	29.06	0.02	0.80	1.65	14.50	11.87	10.62	16.38	16.61	89.28
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.62	0.15	4.04	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-004 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.73	0.67	669.81	9.37	9.59	4.89	7.11	2.52	41.31	1.40	0.40	0.36
Conc. Pb	53.12	5.31	2874.72	1.21	55.23	7.67	7.31	75.36	42.10	71.42	4.96	2.89
Conc. Zn	112.41	11.24	192.01	0.08	3.40	56.84	8.99	10.62	5.81	10.14	77.74	7.52
Relave Final	827.74	82.77	28.14	0.02	0.80	1.68	14.49	11.50	10.78	17.04	16.92	89.23
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.09	0.15	4.04	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-005 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.75	0.68	670.67	9.69	9.61	4.85	7.11	2.23	42.85	1.60	0.40	0.35
Conc. Pb	53.44	5.34	2601.41	1.17	56.49	7.63	7.29	78.57	40.94	74.69	4.93	2.90
Conc. Zn	112.46	11.25	171.24	0.08	3.46	57.57	8.98	9.51	5.60	9.61	78.77	7.50
Relave Final	827.35	82.74	26.16	0.02	0.69	1.58	14.50	9.69	10.61	14.10	15.90	89.25
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.15	0.15	4.04	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-006 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.83	0.68	662.21	9.69	8.94	4.42	7.13	2.01	43.35	1.51	0.37	0.36
Conc. Pb	55.68	5.57	2627.41	1.11	57.63	6.23	7.12	82.68	40.49	79.39	4.22	2.95
Conc. Zn	112.74	11.27	150.11	0.08	3.27	58.66	8.98	8.30	5.61	9.10	80.46	7.53
Relave Final	824.75	82.48	21.11	0.02	0.49	1.49	14.53	7.01	10.55	10.00	14.95	89.16
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.77	0.15	4.04	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-007 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.56	0.66	399.56	10.08	8.52	3.40	7.12	1.29	43.32	1.38	0.27	0.35
Conc. Pb	56.14	5.61	2708.43	1.10	59.03	6.02	7.09	85.93	40.45	81.99	4.11	2.96
Conc. Zn	113.63	11.36	103.04	0.08	3.09	60.54	8.98	5.78	5.66	8.68	83.70	7.59
Relave Final	823.67	82.37	21.16	0.02	0.39	1.19	14.54	7.00	10.57	7.95	11.93	89.10
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.81	0.15	4.04	8.22	13.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

PM-008 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.68	0.67	368.03	11.08	7.25	2.42	7.13	1.21	48.48	1.20	0.20	0.35
Conc. Pb	53.98	5.40	2785.00	1.04	63.01	6.15	7.12	84.96	36.75	85.13	4.04	2.86

Conc. Zn	112.87	11.29	102.40	0.07	2.30	62.43	8.98	6.45	5.03	6.87	85.73	7.54
Relave Final	826.47	82.65	18.10	0.02	0.32	1.01	14.53	7.38	9.74	6.80	10.03	89.25
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.76	0.15	4.04	8.23	13.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Balance metalúrgico de planta concentradora

PRODUCTO	Peso	% Peso	*** E N S A Y E S ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	6.55	0.66	762.21	10.59	7.91	4.33	7.13	2.02	45.44	1.28	0.35	0.35
Conc. Pb	54.93	5.49	2827.41	1.08	58.63	6.21	7.10	87.77	38.67	79.68	4.15	2.90
Conc. Zn	112.95	11.30	120.11	0.07	3.16	58.61	8.98	5.70	5.40	8.83	80.54	7.51
Relave Final	825.57	82.56	16.11	0.02	0.50	1.49	14.53	4.51	10.49	10.21	14.97	89.24
Cbza Calc.	1000.00	100.00	202.17	0.15	4.04	8.22	13.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ANEXO 2

Fotografías



Fotografía 1. Vista panorámica de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huaron



Fotografía 2. Circuito de flotación de la planta concentradora



Fotografía 3. Muestra de mineral



Fotografía 4. Chancado del mineral



Fotografía 5. Pesada de muestra para molienda



Fotografía 6. Acondicionamiento del mineral



Fotografía 7. Flotación de concentrado bulk



Fotografía 8. Dosificación de espumante



Foto 9. Flotación de Bulk



Foto 10. Concentrado cobre

ANEXO 3

Ficha de Entrevista no estructurada

1. Según su experiencia, ¿qué características mineralógicas y químicas predominan en el mineral del Nivel 250?
2. ¿Se ha realizado algún estudio reciente sobre la composición mineralógica y su impacto en la flotación?
3. ¿Podría proporcionar datos sobre la ley promedio de cabeza para Cobre, Plomo y Zinc en este nivel?
4. ¿Cuáles son los valores promedio de recuperación de Cobre, Plomo y Zinc en este nivel de producción?
5. ¿Podría proporcionar información sobre los parámetros operacionales más importantes en la flotación de estos metales?
6. ¿Qué variaciones en la granulometría del mineral han sido observadas y cómo afectan la recuperación?
7. ¿Cuál ha sido el comportamiento de la ley de concentrado y de relave en los últimos meses?
8. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta la planta para mejorar la recuperación de estos metales en el Nivel 250?


Ing. Carlos MEDRANO MINA
Jefe de Guardia


Ing. David BAYONA INCHE
Metalurgista

ANEXO 4

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS|



LABORATORIO QUÍMICO PAN AMERICAN SILVER HUARON

REPORTE DE ENSAYE QUIMICO

Orden:
Fecha de ingreso:
Fecha de reporte:

Item	Código muestra	Ag g/t	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	PbOx%	ZnOx%

Prueba de moliendabilidad

N° pruebas	Tiempo de molienda	M -200 Ac (-)	# +65 Ac (+)
1	0		
2	10		
3	15		
4	20		
m -200 mallas			

David Berrueta
Ing. David RAYONA INCHE
Metalurgia

Parámetros de flotación

Factores	Niveles (-)	Niveles (+)
X ₁ : H-150 (g/T)		
X ₂ : NaCN (g/T)		
X ₃ : Z-11/Z-6 (g/T)		

Dosificación de reactivos en pruebas de flotación

Reactivos g/Ton										
Nombre:	Tiempo (m)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Cal	Na ₂ Cr ₂ O ₇	CuSO ₄	H-150	ZnSO ₄	NaHSO ₃
molienda										
Ro-Bk										
Scv-Bk										
1° Cl Bk										
2° Cl Bk										
3° Cl Bk										
Sp Cu/Pb										
Ac Zn 1°										
Ac Zn 2°										
Ro Zn										
Scv-Zn										
1° Cl Zn										
2° Cl Zn										
3° Cl Zn										

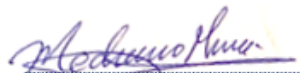
Matriz del diseño factorial codificado

N° prueba	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	% Recup.
1	-	-	-	+	+	+	
2	+	-	-	-	-	+	
3	-	+	-	-	+	-	
4	+	+	-	+	-	-	
5	-	-	+	+	-	+	
6	+	-	+	-	+	-	
7	-	+	+	-	-	-	
8	+	+	+	+	+	+	

Balance metalúrgico

PM-001 PRODUCTO	Peso	% Peso	*** ENSAYES ***					RECUPERACIÓN				
			Ag g/t	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu												
Conc. Pb												
Conc. Zn												
Relave Final												
Cbza Calc.												


 Ing. David BAYONA INCHE
 Metalurgista


 Ing. Carlos MEDRANO MINA
 Jefe de Guardia

ANEXO 5

Reporte de muestreo de mineral



PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A

REPORTE DE MUESTREO DE MINERAL DEL NIVEL 250

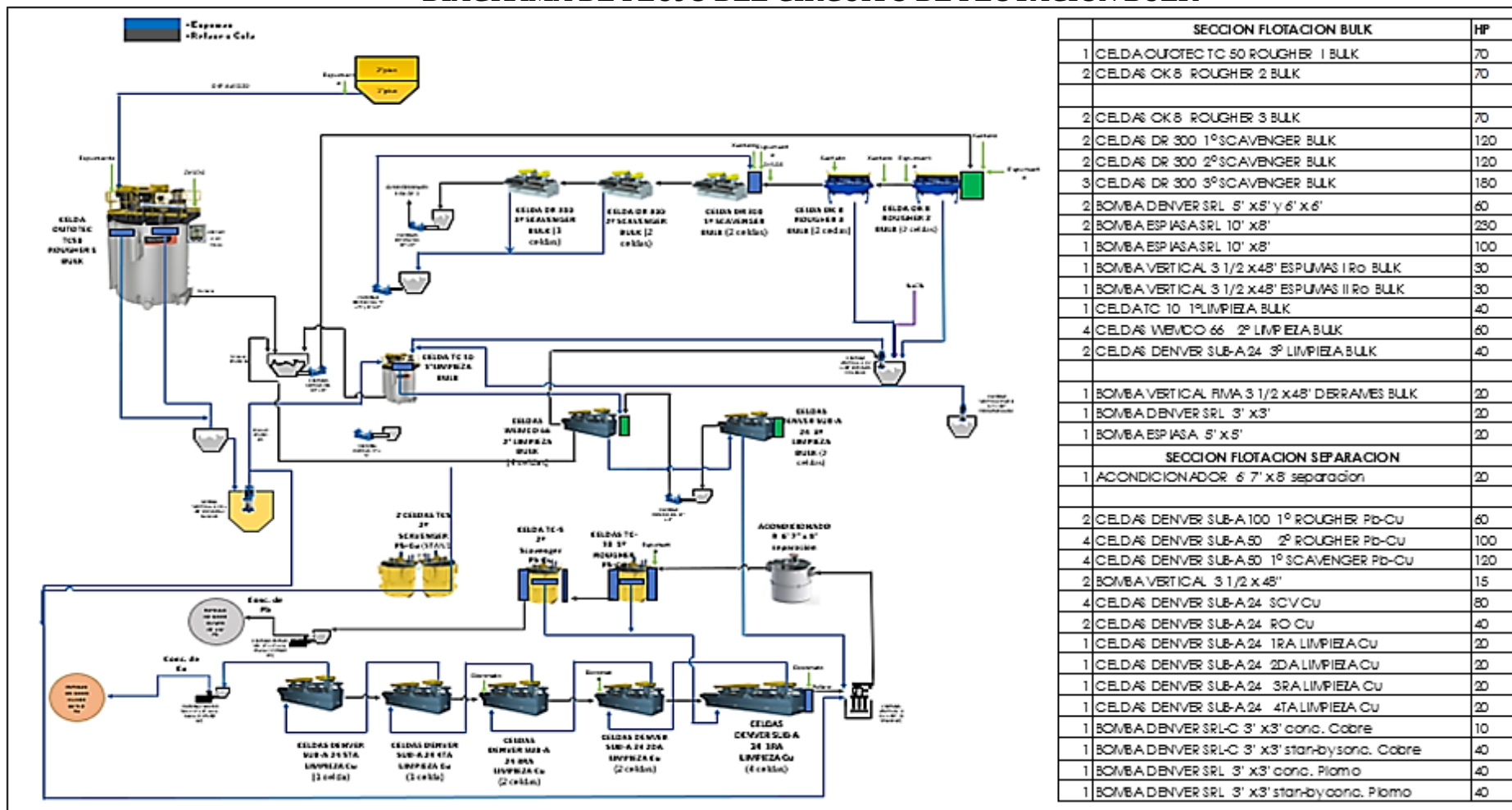
Guardia: 1 guardia

Hora: 6 am – 6 pm

CODIGO DE DE MUESTRA	Fecha muestreo	Cantidad solicitada Kg	Muestra Kg		TOTAL DE MUESTRA Kg
			Pruebas	Testigo	
M-1823	3/08/2024	200	74	73	147
M-1824	4/08/2024	200	79	71	150
M-1825	5/08/2024	200	62	63	125
M-1826	6/08/2024	200	56	54	110
M-1826	7/08/2024	200	58	55	113
--		--	--	--	--

ANEXO 6

DIAGRAMA DE FLUJO DEL CIRCUITO DE FLOTACIÓN BULK



ANEXO 7

Cálculo del tamaño de muestra

Veta Zona Norte, Nivel 250

Ley de cabeza 4.07 PbS

S = 0.01

Liberación 153.92 μ (60% malla -200)

r = 7.5 (Ge Pb)

t = 2.65 (Ge SiO₂)

d = 12700 μ

f = 0.5

g = 0.25

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

$$l = \sqrt{\frac{153.92}{12700}} = 0.109$$

PM_{Pb} = 207.2

PM_S = 32

PM_{PbS} = 239.2

$$\%Zn = \frac{207.2}{239.2} \times 100 = 86.6\%$$

$$100 \% PbS \text{ --- } 86.6\% Pb$$

$$\%a \text{ --- } 4.07 \% Zn$$

$$a = 4.69 \% PbS = 0.0469 \text{ de } PbS$$

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a).r + a \times t]$$

$$m = \frac{1-0.0469}{0.0469} [(1-0.0469)3.5 + 0.0469 \times 2.65] = 147.45 \text{ } g/cm^3$$

d = 12750 μ = 1.27 cm

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

$$C = 0.5 \times 0.25 \times 0.1 \times 147.4 = 1.842 \text{ } g/cm^3$$

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

$$M = \frac{1.84 \times 1.27^3}{0.01^2} = 37690.2 \text{ } gr$$

$$M = 37.690 \text{ } Kg$$

ANEXO 8

Cálculos para la prueba de hipótesis

N°	Recup. Pb	Recup. Zn
1	70.50	77.93
2	72.27	78.01
3	72.50	78.04
4	71.42	77.74
5	74.68	78.77
6	79.39	80.46
7	81.99	83.7
8	85.13	85.73

X	Y	XY	X ²	Y ²
1	70.5	70.5	1	4970.25
2	72.27	144.54	4	5222.9529
3	72.5	217.5	9	5256.25
4	71.42	285.68	16	5100.8164
5	74.68	373.4	25	5577.1024
6	79.39	476.34	36	6302.7721
7	81.99	573.93	49	6722.3601
8	85.13	681.04	64	7247.1169
36	607.9	2822.9	204.0	46399.6
Prom=4.5	Prom= 75.985			

$$Tx = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - (\bar{X})^2} = \sqrt{\frac{204}{8} - (4.5)^2} = 2.291$$

$$Ty = \sqrt{\frac{\sum Y^2}{n} - (\bar{Y})^2} = \sqrt{\frac{46399.6}{8} - (75.985)^2} = 5.121$$

$$Txy = \frac{\sum XY}{n} - \bar{X} \cdot \bar{Y} = \frac{2822.9}{8} - 4.5 * 75.985 = 10.93$$

$$r = \frac{T_{XY}}{T_X \cdot T_Y} \times 100$$

$$r = \frac{10.93}{2.291 * 5.121} \times 100 = 0,9316$$

El valor nos indica que hay una correlación buena (-1 a 1). Cuanto más cercano sea el valor a los extremos del intervalo (1 o -1) más fuerte será la tendencia de las variables, o será menor la dispersión que existe en los puntos alrededor de dicha tendencia.

Hay una buena relación entre las variables: evaluación metalúrgica del mineral del nivel 250 con la recuperación de cobre, plomo y zinc.