

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



T E S I S

**Efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de Pirita y Arsenopirita del relave de la
relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco - 2023**

Para optar el título profesional de

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Raquel Estefany RICRA VALDEZ

Asesor:

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

Cerro de Pasco – Perú - 2025

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



T E S I S

**Efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de Pirita y Arsenopirita del relave de la
relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco - 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO
PRESIDENTE

Dr. Ruben Edgar PALOMINO ISIDRO
MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 280-2025-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:

Efecto del Z6 y Z11 en la Recuperación de Pirita y Arsenopirita del relave de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco - 2023.

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Raquel Estefany RICRA VALDEZ

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

10 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 4 de junio del 2025



DEDICATORIA

Con gratitud infinita, dedico esta tesis a Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi trayectoria académica. A mis queridos padres, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido mi mayor inspiración.

AGRADECIMIENTO

A mis estimados maestros de la Universidad Daniel Alcides Carrión, cuyas enseñanzas han sido faros de sabiduría que iluminaron mi camino académico.

Al ingeniero Roberto Carlos Medrano Nina cuya sabiduría y orientación ha aportado mi camino hacia el conocimiento.

A la Compañía Minera Poderosa S.A. por brindarme la oportunidad de aprender y crecer en un entorno profesional tan enriquecedor. Este logro no sería posible sin su influencia y respaldo. Gracias por ser parte fundamental de este capítulo significativo en mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar el efecto del xantato (Z6 xantato amílico de potasio, Z11 xantato isopropílico de sodio) en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave santa maría de la Compañía Minera Poderosa mediante la etapa de la flotación batch. Durante el estudio se realizó pruebas preliminares de flotación con la finalidad de seleccionar las variables independientes que tienen mayor influencia en la variable dependiente (recuperación de pirita y arsenopirita (%Fe), haciendo uso del software estadístico MINITAB.

En la primera etapa, se realizó una selección de variables utilizando un Diseño Factorial Fraccionado, donde se identificó que el xantato es la variable más influyente según el análisis estadístico realizado con el software Minitab. Se empleó la prueba de hipótesis utilizando el valor estadístico de “T” student, estableciendo un nivel de significancia de 0,05. Se determinó que aquellas variables independientes con valores de “p” menores a 0,05 tienen mayor influencia en las recuperaciones de pirita y arsenopirita (%Fe).

En la segunda etapa, se llevó a cabo la etapa de optimización mediante un diseño hexagonal. Se planteó optimizar el uso de xantato amílico de potasio (Z6) en mezcla con el xantato isopropílico de sodio (Z11) en proporciones variables junto a la variable porcentaje en sólidos (S%) como acompañante. Se encontró que para alcanzar una recuperación objetivo de 36,91% Fe (pirita y arsenopirita) de acuerdo con el pronóstico de la optimización del diseño, la mezcla de xantatos Z6/Z11 debe ser 100% de Z6 y el porcentaje de sólidos (%S) debe ser del 30,03%.

Estos hallazgos contribuyen al conocimiento sobre la recuperación de minerales a partir de relaves mineros.

Palabras clave: Recuperación, Flotación, Minitab.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the effect of xanthate (Z6 potassium amyl xanthate, Z11 sodium isopropyl xanthate) on the recovery of pyrite and arsenopyrite from the Santa Maria tailings of Compañía Minera Poderosa through the batch flotation stage. Preliminary flotation tests were conducted during the study to select the independent variables that have the most influence on the dependent variable (recovery of pyrite and arsenopyrite (%Fe)) using the statistical software MINITAB.

In the first stage, variable selection was performed using a Fractional Factorial Design, where it was identified that xanthate is the most influential variable according to the statistical analysis performed with Minitab software. The hypothesis test was conducted using the statistical value of "T" student, setting a significance level of 0,05. It was determined that independent variables with "p" values less than 0,05 have a greater influence on the recoveries of pyrite and arsenopyrite (%Fe).

In the second stage, optimization was carried out using a hexagonal design. The aim was to optimize the use of potassium amyl xanthate (Z6) mixed with sodium isopropyl xanthate (Z11) in varying proportions along with the variable percentage of solids (%S) as an accompaniment. It was found that to achieve a target recovery of 36,91% Fe (pyrite and arsenopyrite) according to the design optimization forecast, the mixture of Z6/Z11 xanthates should be 100% Z6, and the percentage of solids (%S) should be 30,03%.

These findings contribute to the knowledge of mineral recovery from mining tailings.

Keywords: Recovery, Flotation, Minitab.

INTRODUCCIÓN

La actividad minera representa un pilar fundamental para el progreso económico en diversos países, aunque conlleva desafíos ambientales considerables, especialmente en lo referente a la gestión de los relaves mineros. En este contexto, la recuperación de minerales valiosos de los relaves emerge como una oportunidad de gran importancia tanto desde una perspectiva económica como ambiental.

Este estudio se centra en la recuperación de pirita y arsenopirita de los relaves provenientes de la relavera Santa María, perteneciente a la Empresa Minera Poderosa S.A., localizada en el Distrito y Provincia de Patate (La Libertad). Estos minerales poseen un valor económico significativo y, al mismo tiempo, su manejo inadecuado puede acarrear riesgos ambientales considerables.

Para abordar este desafío, se han explorado diversas estrategias de recuperación, con el uso del reactivo colector xantato como el Z6 (xantato amílico de potasio) y el Z11 (xantato isopropílico de sodio). Este reactivo ha demostrado tener un impacto sustancial en la recuperación de minerales sulfurados, como la pirita y arsenopirita, presentes en los relaves mineros.

El presente estudio se estructura en torno a la aplicación de diseños factoriales y, posteriormente, un diseño hexagonal para optimizar la recuperación de pirita y arsenopirita. Estos enfoques permiten explorar de manera sistemática el efecto de diversas variables en el proceso de recuperación, ofreciendo así una base sólida para la toma de decisiones en la industria minera.

A través de este trabajo, se busca contribuir al cuerpo de conocimiento en el ámbito de la recuperación de minerales a partir de relaves mineros, así como proporcionar información relevante y aplicable para mejorar las prácticas de gestión de relaves y promover la sostenibilidad en la industria minera.

Por lo tanto, esta investigación está compuesta de la siguiente manera.

El **Capítulo I:** contiene el problema de investigación donde se desarrolló el planteamiento del problema, formulación de objetivos, justificación y limitaciones de la investigación. Además, es relevante resaltar la importancia de este estudio en el contexto actual. El **Capítulo II:** contiene marco teórico donde se desarrolló los antecedentes de estudio, desarrollo del marco teórico correspondiente al objeto de estudio y definición de términos básicos, formulación de hipótesis e identificación de variables. El **Capítulo III:** contiene la metodología y técnicas de investigación donde se desarrolló el tipo, nivel, métodos, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, Tratamiento estadístico, Orientación ética filosófica y epistémica. aplicada con el fin de alcanzar los objetivos de la investigación. El **Capítulo IV:** contiene resultados y discusión donde se desarrolló la descripción del trabajo de campo, la presentación análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis y la discusión de resultados de la investigación. Finalmente, se desarrolló las conclusiones y las recomendaciones.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Delimitación de la Investigación	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la Investigación	6
1.6. Limitaciones de la Investigación	6
1.6.1. Limitación teórica	6
1.6.2. Limitación temporal	7
1.6.3. Limitación de recursos	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	8
------------------------------------	---

2.1.1.	A nivel internacional.....	8
2.1.2.	A Nivel Nacional	13
2.1.3.	Ubicación - Accesibilidad.....	16
2.2.	Bases teóricas – científicas	18
2.2.1.	Flotación Batch	18
2.3.	Definición de términos básicos	26
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	28
2.4.1.	Hipótesis general.....	28
2.4.2.	Hipótesis específicas	28
2.5.	Identificación de Variables.....	29
2.5.1.	Variable Dependiente.....	29
2.5.2.	Variable Independiente.....	29
2.6.	Definición Operacional de Variables e Indicadores	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	31
3.2.	Nivel de Investigación.....	31
3.3.	Métodos de Investigación.....	32
3.4.	Diseño de Investigación	32
3.5.	Población y Muestra	32
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	35
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	36
3.8.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	37
3.9.	Tratamiento Estadístico	37
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	38

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	40
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados	43
4.2.1. Diseño experimentales	43
4.2.2. Objetivo de aplicar el diseño experimental.....	43
4.2.3. Diseño del esquema experimental	43
4.2.4. Primera etapa selección de variable	44
4.2.5. Segunda etapa de optimización de resultados.....	55
4.3. Prueba de Hipótesis	64
4.4. Discusión de Resultados.....	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Vías de Acceso.....	16
Tabla 2 Operacionalización de Variables	30
Tabla 3 Matriz de diseño a escala codificada con 2 variables	44
Tabla 4 Matriz de diseño a escala codificada con 3 variables	45
Tabla 5 Matriz de diseño a escala codificada con 4 variables	45
Tabla 6 Nivel de Factores	46
Tabla 7 Matriz de diseño a escala codificada	47
Tabla 8 Matriz de diseño a escala decodificada.....	47
Tabla 9 Resultados de las pruebas batch.....	48
Tabla 10 Plantilla codificada con interacciones.....	49
Tabla 11 Análisis de Varianza	50
Tabla 12 Desviación estándar y R-cuadrado.....	51
Tabla 13 Coeficientes del modelo matemático	52
Tabla 14 Ecuación de regresión	52
Tabla 15 Aplicación de grado de significancia de cada variable T-Student.....	53
Tabla 16 Aplicación del T-Student analizando el T de Tabla.....	54
Tabla 17 Niveles del diseño hexagonal.....	56
Tabla 18 Matriz con escala codificada que incluye la recuperación de pirita y arsenopirita.....	57
Tabla 19 Análisis de Varianza	58
Tabla 20 Desviación estándar y el R-cuadrado.....	60
Tabla 21 Coeficientes del modelo matemático, etapa de optimización.....	60
Tabla 23 Aplicación de grado de significancia de cada variable T-Student.....	61
Tabla 24 Aplicación del T-Student analizando el T de tabla.....	62
Tabla 25 Recuperación del hierro - parámetros	63

Tabla 26	Ajuste de recuperación del Fe.....	63
Tabla 27	Predicción de respuesta múltiple	63
Tabla 28	Análisis de Varianza para comprobar la hipótesis del xantato	65
Tabla 29	Valor de "p" para comprobar la hipótesis del xantato	66
Tabla 30	Análisis de Varianza para comprobar la hipótesis del CuSO ₄	66
Tabla 31	Valor de "p" para comprobar la hipótesis del CuSO ₄	67
Tabla 32	Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del Ph.....	67
Tabla 33	Valor de "p" para comprobar la hipótesis del Ph.....	68
Tabla 34	Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del %S	68
Tabla 35	Valor de "p" para comprobar la hipótesis del %S.....	69
Tabla 36	Resultados de las pruebas de diseño factorial fraccionado – variables	72
Tabla 37	Resultados del ANOVA del diseño factorial fraccionado	73
Tabla 38	Tabla de “T”- student.....	107
Tabla 39	Instrumentos de Investigación Matriz de Consistencia	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problema.....	3
Figura 2	Vía de Acceso Lima-La Oroya-Cerro de Pasco	17
Figura 3	Vía de Acceso Lima-Huayllay-Cerro de Pasco.....	17
Figura 4	Celda de Flotación.....	19
Figura 5	Colector - Xantato	25
Figura 6	Esquema de pruebas para diseño factorial fraccionado.....	36
Figura 7	Esquema Pruebas Metalúrgicas	42
Figura 8	Diagrama de Pareto de los efectos en la Etapa Screening.....	51
Figura 9	Análisis de Graficas de Residuos	53
Figura 10	Grafica de contorno % Recup Fe Vs xantato y %S.....	54
Figura 11	Diagrama de pareto de los efectos en la etapa de optimización	59
Figura 12	Análisis de graficas de residuo	61
Figura 13	Gráfica de Contorno %Rec Fe vs xantato Z6 y el % S	62
Figura 14	Máxima recuperación del Fe	64
Figura 15	Registro de asistencia	80
Figura 16	Pesado de muestra relave santa maría	81
Figura 17	Preparación de reactivos xantato Z6 (xantato amílico de potasio).....	82
Figura 18	Preparación de reactivos sulfato de cobre (CuSO_4).....	83
Figura 19	Preparación de reactivos xantato Z11 (xantato isopropílico de sodio)	84
Figura 20	Dilución del sulfato de cobre (CuSO_4)	85
Figura 21	Dilución del xantato Z6 (xantato amílico de potasio)	86
Figura 22	Dilución del xantato Z11 (xantato isopropílico de sodio).....	87
Figura 23	Adición del Z6 para coleccionar partículas.....	88
Figura 24	Adición del CuSO_4 - para la activación de los sulfuros	89

Figura 25	Obtención del concentrado pirita - arsenopirita	90
Figura 26	Plateo del concentrado.....	91
Figura 27	Etapa de filtrado	92
Figura 28	Muestra de relave filtrada.....	93
Figura 29	Muestra de concentrado filtrada	94
Figura 30	Muestras secadas	95
Figura 31	Obtención y preparación de muestras para análisis químico	96
Figura 32	Prueba Metalúrgica 1 resultados del diseño factorial fraccionado.....	97
Figura 33	Prueba Metalúrgica 2 resultados del diseño factorial fraccionado.....	98
Figura 34	Prueba Metalúrgica 3 resultados del diseño factorial fraccionado.....	99
Figura 35	Prueba Metalúrgica 4 resultados del diseño factorial fraccionado.....	100
Figura 36	Prueba Metalúrgica 5 resultados del diseño factorial fraccionado.....	101
Figura 37	Prueba Metalúrgica 6 resultados del diseño factorial fraccionado.....	102
Figura 38	Prueba Metalúrgica 7 resultados del diseño factorial fraccionado.....	103
Figura 39	Prueba Metalúrgica 8 resultados del diseño factorial fraccionado.....	104
Figura 40	Prueba Metalúrgica 9 resultados del diseño factorial fraccionado.....	105
Figura 41	Prueba Metalúrgica 10 resultados del diseño factorial fraccionado.....	106
Figura 42	Caracterización mineralógica concentrado bulk de piritas y arsenopiritas	108
Figura 43	Caracterización mineralógica Relave Final.....	109

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las actividades mineras generan cantidades significativas de relaves, los cuales a menudo contienen minerales valiosos que no se recuperan completamente durante los procesos de extracción primaria. En el caso de los relaves de Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A., una cantidad considerable de pirita y arsenopirita permanece sin recuperar, representando tanto una oportunidad económica perdida como un desafío ambiental.

Diversas investigaciones a nivel internacional han abordado el efecto de la flotación con xantato Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita proporcionando información valiosa sobre los beneficios y desafíos asociados a esta técnica. La flotación ha enfatizado como una opción prometedora para mejorar la recuperación de minerales y reducir el impacto ambiental de los relaves.

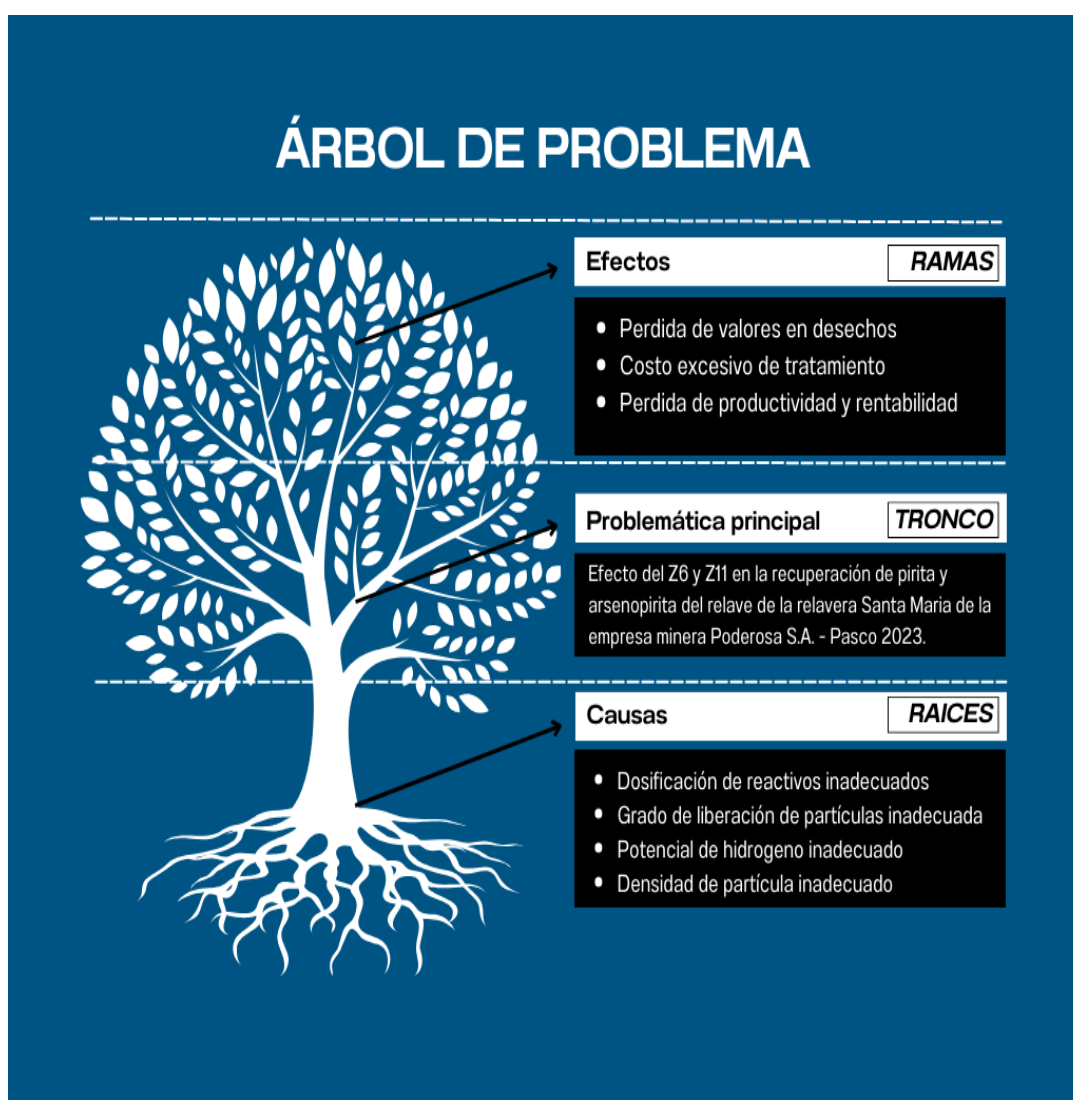
A nivel nacional, está creciendo el interés en evaluar la influencia de la flotación en la recuperación de pirita y arsenopirita auríferas presentes en relaves mineros. Varios estudios han abordado este tema, proporcionando evidencia apropiada de su viabilidad

y beneficios en el contexto peruano. Un estudio llevado a cabo por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en 2019 en la región de Pasco mostro un incremento significativo en la recuperación de pirita y arsenopirita auríferas utilizando la flotación en la recuperación de minerales de interés en relaves.

A nivel regional, la región de Pasco cuenta con una importante actividad minera y ha sido objeto de investigaciones relacionadas con el tratamiento de relaves. Aunque todavía no se ha encontrado fuentes específicas que aborden la flotación en la recuperación de pirita y arsenopirita auríferas, se ha observado un creciente interés en comprender la importancia de la gestión de relaves y la mejora de la eficiencia de recuperación de minerales son consideraciones clave para el desarrollo sostenible de la industria minera en la región de Pasco.

El problema de investigación se encuentra detallado en el siguiente árbol de problema:

Figura 1 *Árbol de problema*



Nota: Árbol del Problema creado en Canva

1.2. Delimitación de la Investigación

- **Delimitación geográfica**

El estudio se realizó en el laboratorio de la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, situada en Yanacancha, Distrito de Pasco, Provincia de Pasco, Región de Pasco.

- **Delimitación de la población**

Los minerales empleados en el estudio provienen de relaves de cianuración de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. La empresa minera

aurífera subterránea de mediana minería se encuentra ubicada en el caserío Vijus, Distrito y Provincia de Pataz en el departamento de la Libertad.

- **Delimitación temporal**

Las actividades del proyecto de investigación de recopilación de datos y experimentación en el laboratorio metalúrgico de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión se desarrollaron entre marzo y septiembre de 2023. Posteriormente, el análisis de datos y la redacción del informe final se realizaron entre enero y marzo de 2024.

- **Delimitación teórica**

La presente investigación se sustenta en fundamentos teóricos y conceptuales relacionados con la flotación batch de minerales para el tratamiento de relaves mineros de la Empresa Minera Poderosa S.A. y el uso de reactivos de xantato Z6 y Z11 en interacción de las variables en el proceso metalúrgico.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál será el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál será el efecto del CuSO_4 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?
- b. ¿Cuál será el efecto del xantato en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?

- c. ¿Cuál será el efecto del pH en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?
- d. ¿Cuál será el efecto del porcentaje de sólidos en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el efecto del CuSO_4 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.
- b. Determinar el efecto del xantato en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.
- c. Determinar el efecto del pH en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.
- d. Determinar el efecto del porcentaje de sólidos en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.

1.5. Justificación de la Investigación

- **Justificación Teórica**

Los relaves de la relavera Santa Maria contienen minerales de pirita y arsenopirita con una ley promedio de oro (Au) de 1,6 gr/ ton lo que los hace interesante desde el punto de vista económico. Esto indica que, al realizar el proceso de la tecnología de flotación por espuma, es posible obtener la recuperación de mineral aurífero con una posterior lixiviación. La flotación se usa cuando el mineral presenta propiedades de flotabilidad, permitiendo separar los elementos de interés y deprimir la parte estéril sin valor económico. Este estudio permitió ampliar el conocimiento sobre el tratamiento de minerales sulfurados de pirita y arsenopirita.

- **Justificación Práctica**

La presente investigación tiene un impacto práctico directo para la Empresa Minera Poderosa S.A., ya que permitirá optimizar la recuperación de minerales valiosos, como la pirita y la arsenopirita, a partir de los relaves de la relavera Santa María mediante el uso eficiente de los reactivos xantato Z6 y Z11. De esta manera se contribuye con la empresa Minera Poderosa S.A.

- **Justificación Metodológica**

El enfoque de investigación es de estudio cuantitativo y experimental, con un nivel explicativo, esencial para determinar el efecto de las diferentes variables de flotación a estudiar.

1.6. Limitaciones de la Investigación

1.6.1. Limitación teórica

Información relevante demasiado costosa. puesto que algunos sitios web no son gratuitos de manera que solicitan pagar dinero por dicha información.

1.6.2. Limitación temporal

El tiempo en el laboratorio es muy limitado ya que se cuenta con un horario establecido y que se tiene que respetar para poder realizar la investigación.

1.6.3. Limitación de recursos

Uno de los desafíos más significativos que se presentarán es la limitación económica, dado que la investigación se llevará a cabo con recursos financieros propios de modo que se necesita viajar y comprar algunos instrumentos de laboratorio para realizar dicha investigación, pero contando con respaldo externo de la Empresa Minera Poderosa S.A. para su financiamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel internacional

García & Guzmán (2019) desarrollaron la tesis: “Estudio de la flotación de piratas auríferas utilizando diferentes colectores y espumantes para la Unidad Minera Fresnillo PLC” en el Instituto Politécnico Nacional – México. La tesis tuvo como objetivo evaluar experimentalmente diferentes combinaciones de reactivos en la recuperación de piratas por el método de flotación. La metodología de la investigación es de tipo aplicada, de nivel explicativo y de enfoque cuantitativo. El mineral de pirita es uno de los sulfuros más abundantes en todo el planeta, y suele encontrarse mayormente en asociación con metales preciosos como el oro. Esta característica ha suscitado un creciente interés en la extracción y procesamiento de este mineral. En este contexto, se llevaron a cabo pruebas de flotación específicas en la unidad minera de Fresnillo PLC S.A de C.V. Las pruebas se enfocaron en el tratamiento de mineral proveniente de las colas finales del proceso de flotación. Además, se trabajó con un compuesto elaborado a partir de una mezcla de Jales (34%) y colas (66%), cuyo tamaño

de partícula se ajustó a una granulometría con un p80 de 22 micrómetros. Para alcanzar esta granulometría objetivo, se realizó una serie de experimentos en un molino vertical, variando los tiempos de molienda en intervalos de 0, 3 y 5 minutos. La investigación se centró en la evaluación de diferentes combinaciones de reactivos en las pruebas de flotación. Se priorizó la recuperación de elementos como hierro (Fe), oro (Au) y plata (Ag). Asimismo, se llevaron a cabo pruebas adicionales de remolienda con el propósito de determinar el tiempo óptimo necesario para lograr la granulometría deseada.

La investigación concluye que las mejores recuperaciones de Fe en el compósito de colas de zinc se obtuvieron mediante diversas combinaciones de reactivos. Entre las combinaciones más efectivas se encuentran el reactivo 2044, con una recuperación del 59.65%, el reactivo 2091, con una recuperación del 49,25%, y el KAX41-T225, con una recuperación del 48,02%. Estas combinaciones demostraron ser particularmente eficaces en el proceso de flotación, lo que sugiere su potencial para optimizar la recuperación de Fe en el mineral de pirita.

En resumen, la investigación condujo a pruebas exhaustivas de flotación y remolienda, evaluando diversas combinaciones de reactivos para maximizar la recuperación de Fe, Au y Ag en el compósito de colas de zinc. Los resultados obtenidos aportan valiosa información sobre la viabilidad y eficacia de los procesos de tratamiento en la unidad minera de Fresnillo PLC S.A de C.V.

Monte, Dutra, Albuquerque, Tondo, & Lins, (2002) desarrollaron el artículo científico “La influencia del estado de oxidación de pirita y arsenopirita en la flotación de un mineral sulfurado aurífero” en la revista ingeniería de minerales en el 2002. La presente investigación se enfocó en analizar el impacto del estado de oxidación de la pirita y la arsenopirita en el proceso de flotación de un mineral aurífero compuesto por sulfuros. Se emplearon diversas técnicas y enfoques experimentales para comprender

mejor cómo estas diferencias de oxidación influyen en las recuperaciones de oro y sulfuro durante la flotación. El enfoque principal de la investigación se centró en la evaluación de la relación entre el estado de oxidación de la pirita y la arsenopirita, y su comportamiento en el proceso de flotación. Se investigó cómo variaciones en el potencial de la pulpa y la concentración de reactivos afectan las recuperaciones de oro y sulfuro en una celda de flotación a escala de laboratorio. Se realizó un enfoque aplicado, utilizando una metodología cuantitativa con un nivel explicativo. La muestra de prueba consistió en un concentrado de oro obtenido a través del proceso de gravedad del circuito RPM, que presentaba una composición media de 58,3 g Au/t, 15,2% Fe, 21,9% S y 11% As. Para realizar un análisis exhaustivo, se sometió una alícuota de la muestra a técnicas de caracterización como XRD y SEM con EDS, lo que permitió comprender la estructura y composición de los minerales presentes. El proceso experimental incluyó la molienda húmeda de muestras cuidadosamente preparadas, las cuales se introdujeron en una celda de flotación Denver de 1,5 litros. La suspensión se complementó con agua desionizada para alcanzar un 30% (p/p) de sólidos. En esta etapa, se utilizaron reactivos específicos, con PAX como colector y metilisobutilcarbinol como espumante. Los resultados obtenidos llevaron a la conclusión de que las mediciones de potencial de electrodo demostraron que la arsenopirita es más propensa a la oxidación en comparación con la pirita. Esta diferencia en la susceptibilidad a la oxidación entre los minerales tiene implicaciones directas en el proceso de flotación, lo que influye en las recuperaciones de oro y sulfuro.

En resumen, la investigación aporta una comprensión más profunda sobre cómo el estado de oxidación de la pirita y la arsenopirita influye en la flotación de un mineral de sulfuro aurífero. Los resultados destacan la importancia de considerar estas

diferencias de oxidación al diseñar estrategias de flotación para la recuperación eficiente de oro y sulfuro en este tipo de minerales.

Romero, Romero & Redrovan (2019), desarrollaron el artículo científico “Efecto de la variación de los colectores Z6, 404 y 1208 en la flotación a granel de pirita y arsenopirita aurífera” en la Revista Boliviana de Química en el 2019. La investigación tuvo como principal fue evaluar el impacto de diferentes combinaciones de colectores en la flotación de oro, específicamente utilizando dos mezclas distintas: (xantato amílico de potasio Z6 como colector primario + ditiofosfato 404 como colector secundario) y (Z6 + ditiofosfato 1208 como colector secundario). Se llevaron a cabo experimentos variando las dosificaciones de estos colectores en relación con el activador $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y el espumante 350, y se analizó cómo esto afecta el porcentaje de recuperación de oro. Las concentraciones de los colectores secundarios utilizados fueron del 10%, con una pureza del 100%. La investigación es de nivel explicativo y del tipo aplicada. El mineral de estudio consistió en cuarzo asociado con piritas y arsenopiritas auríferas. Luego de un proceso de sedimentación de las arenas durante 15 días en piscinas, se procedió a muestrear en diferentes puntos, extrayendo aproximadamente 2 kilogramos de material húmedo a una profundidad de 20 centímetros. Estas muestras se recolectaron en recipientes plásticos y posteriormente se homogeneizaron en una geomembrana, obteniendo alrededor de 100 kilogramos de muestra húmeda. Se utilizó una celda de flotación DENVER con capacidad para 2,5 litros de pulpa. Se introdujo una cantidad de pulpa (combinación de mineral y agua) de 2,1 litros, permitiendo que la espuma ocupara el espacio restante. Se trabajó con diferentes porcentajes de sólidos en la pulpa, incluyendo 27%, 30%, 33% y 37%, este último siendo el porcentaje comúnmente empleado en la planta de beneficio aurífero donde se realizó el estudio.

Las conclusiones obtenidas resaltan que el porcentaje de sólidos en la pulpa de mineral tiene un impacto significativo en la recuperación de oro. Específicamente, se observó que un contenido del 33% de sólidos en la pulpa generó la mayor recuperación de oro en comparación con los porcentajes de 27%, 30% y 37%. Esto difiere debido a que se realizaron pruebas en busca de optimización de costos de producción, lo que llevó a una reducción en el porcentaje de sólidos. Adicionalmente, se demostró que disminuyendo la cantidad de colector Z6 y el activador se logra alcanzar una mayor recuperación de oro al utilizar una dosificación del 100%, que es habitual en la planta de beneficio donde se llevó a cabo la investigación.

Salazar, Corona, Caudillo & Elorza (2022) desarrollaron el artículo científico: “Flotación colectiva pirita-arsenopirita-oro de los residuos de Noche Buena, Zac, y su separación en concentrados pirita-oro y arsenopirita” en el XX X Encuentro Sobre Procesamiento de Minerales – México. El objetivo central de esta investigación fue desarrollar un proceso de concentración y extracción de metales base-preciosos a partir del tratamiento de residuos de pirita-arsenopirita. El enfoque metodológico adoptado fue cuantitativo, de nivel explicativo y de tipo aplicado. El material de estudio se obtuvo de los depósitos de residuos de las antiguas operaciones en Noche Buena, mediante un muestreo exhaustivo. Las pruebas iniciales se enfocaron en la flotación colectiva de pirita-arsenopirita-oro, con el objetivo de maximizar la recuperación de oro. Se variaron los tiempos de remolienda (12, 14, 16, 24 y 30 minutos), el consumo de reactivos y los tiempos de flotación. Estas pruebas se realizaron en condiciones cíclicas a lo largo de cuatro ciclos de experimentación. La investigación concluye que asociación entre la pirita y el oro a través de la caracterización mineralógica de una porción de concentrado colectivo de pirita-arsenopirita-oro, mediante el uso de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Adicionalmente, se observó que la asociación pirita-oro es ventajosa

para fines comerciales, ya que la arsenopirita quedaría en los residuos, reduciendo la recuperación global de oro a un 50%. Como alternativa, se propuso la implementación de una flotación selectiva de plomo y zinc, seguida de la flotación colectiva de un concentrado que contiene pirita, arsenopirita y oro ($FeS_2 - AsFeS - Au$). Luego, se sugiere separar este último concentrado mediante una técnica de flotación-oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a un pH de 6,0. Finalmente, se plantea la recuperación del oro a partir del concentrado de pirita y oro ($FeS_2 - Au$).

2.1.2. A Nivel Nacional

Gutiérrez & Otiniano (2017) desarrollaron la tesis: “Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro” en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La tesis tuvo como objetivo optimizar el porcentaje de recuperación oro de minerales sulfurados refractarios con alto contenido de arsénico mediante la flotación. La investigación fue experimental de enfoque cuantitativo y deductivo, y de tipo aplicada. La muestra representativa del mineral sulfurado con un alto contenido de arsénico fue obtenida en la provincia de Paucartambo, en el departamento de Pasco. Esta muestra presentó una cabeza ensayada con una ley de 2,95 gramos de oro por tonelada corta (TC) y un 7,69% de contenido de arsénico. Con base en estos resultados, se llevaron a cabo pruebas metalúrgicas de flotación bulk para evaluar la viabilidad de procesar este mineral. La prueba más representativa arrojó los siguientes valores: el concentrado obtenido presentó una calidad con una ley de 14,20 gramos de oro por tonelada corta, logrando una recuperación del 97,65%, y se utilizó un consumo del reactivo colector Z-6 de 78,43 gramos por tonelada métrica (TM).

La investigación llega a la conclusión de que los minerales auríferos de naturaleza refractaria requieren un pretratamiento previo para poder ser sometidos a

pruebas convencionales de cianuración y, así, obtener resultados óptimos en términos de recuperación de oro. Entre las pruebas de flotación realizadas, la que arrojó los mejores resultados se logró utilizando una dosificación de 78,43 gramos de reactivo Z-6 por tonelada métrica como variable independiente, logrando una recuperación del 97,65% como variable dependiente y una calidad de concentrado con una ley de 14,2 gramos por tonelada corta. De esta manera, la recuperación total de oro a lo largo de los procesos de flotación y cianuración alcanzó el 92,28%.

Estrada & Torres (2020) desarrollaron la tesis: “Tratamiento de minerales metamórficas para la flotación de menas auríferos a nivel experimental en la Planta Geza Minerales ASIS – 2019” en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. El objetivo de esta tesis fue analizar el proceso de tratamiento de minerales metamórficos para la flotación de menas auríferas, llevando a cabo un estudio experimental en la Planta Geza Minerales ASIS. La investigación fue una investigación básica, con un nivel y diseño experimental, con un enfoque cuantitativa. El estudio se centró en examinar el impacto de diversas variables en el tratamiento del mineral, con el propósito de establecer los parámetros de operación óptimos. En el estudio, se evaluaron los efectos de diferentes variables en el tratamiento del mineral. Se utilizaron los reactivos espumantes MIBC, colectores Z-6 y A-238. Se buscó alcanzar una liberación pasante del 61,75% en la malla 200, lo que resultó en una calidad de 32,763 gramos por tonelada (g/t) con una recuperación del 95,10% a un pH de 6,5. Además, se investigó una liberación del 78,09% pasante en la malla -200m, obteniendo una calidad de 11,566 g/t con una recuperación del 96,19% a un pH de 6,5. Asimismo, se analizó el efecto de un pH de 8,5, que produjo una calidad de 10,264 g/t con una recuperación del 97,15%.

Las conclusiones de la investigación señalan que se logró obtener la calidad deseada para el propósito establecido, junto con una recuperación óptima, al operar con un pH natural del mineral y haciendo uso de los reactivos convencionales empleados en los procesos de flotación. Se destaca la influencia significativa del tratamiento de los minerales metamórficos en la liberación del mineral, en el tiempo de acondicionamiento y flotación, y en la dosificación de colectores (Z-6, A-238) y espumante MIBC. Estos factores influyeron directamente en la calidad y la recuperación del oro en la flotación de los minerales periticos auríferos, dentro del contexto de la investigación.

Fernández (2020) desarrollo la tesis: “Evaluación del proceso de flotación de oro y plata en la compañía minera Tocadulomo S.A” en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. La tesis tuvo como objetivo llevar a cabo una evaluación exhaustiva del circuito que abarca las etapas de molienda, clasificación y flotación de oro y plata. El objetivo primordial fue recopilar datos esenciales que permitieran establecer límites de control específicos en cuanto a la densidad de la pulpa y la dosificación de reactivos clave como Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino. El propósito último de estas medidas era mejorar la producción en la empresa minera Tocadulomo S.A. Es una investigación no experimental de campo, con un enfoque cuantitativo. La investigación presenta una recopilación de datos relacionados con el circuito de molienda y clasificación, así como las cantidades de reactivos utilizadas en el proceso de flotación. Se describen las densidades de la pulpa en diversas etapas del proceso, así como las cantidades exactas de los reactivos Z-6, A-404, A-208 y aceite de pino que fueron dosificadas. he proporcionan las leyes promedio de plata y oro en las fases de alimentación, concentrado y relave, junto con los porcentajes correspondientes de recuperación. Cabe destacar que la investigación detalla que la recuperación promedio

de oro alcanza el 62,54%, mientras que la recuperación promedio de plata se sitúa en un 38,61%. Estos resultados ilustran el desempeño del proceso de flotación en cuanto a la extracción de oro y plata de la muestra estudiada.

La investigación concluye que la densidad de pulpa en el circuito de clasificación tiene influencia significativa estadísticamente en la carga circulante ya que el valor p calculado es menor a 0,05. Mientras que la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404, aceite de pino y la densidad de pulpa en la flotación no es significativa estadísticamente en la calidad y recuperación de plata y oro en el concentrado.

2.1.3. Ubicación - Accesibilidad.

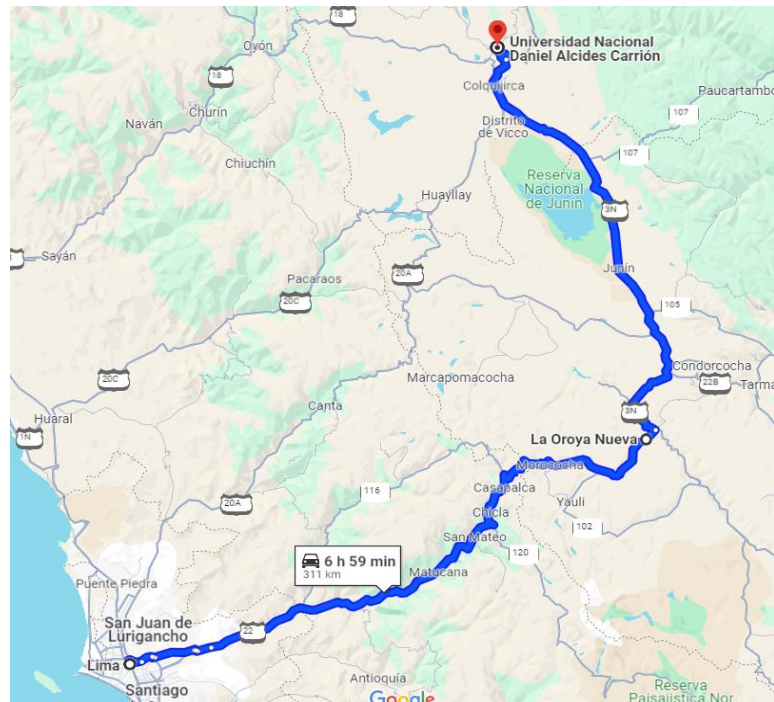
Laboratorio de procesos metalúrgicos, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión con abreviatura UNDAC, se ubica en el Distrito de Yanacancha, Provincia de Pasco, Región de Cerro de Pasco con coordenadas 10°40'06"S 76°15'11"O. Se encuentra a una altura de 4,200 m.s.n.m., aproximadamente a 295 km de Lima y con acceso a la Carretera Central.

Tabla 1 *Vías de Acceso*

RUTA	CARRETERA
Lima-La Oroya-Cerro de Pasco	311 km
Lima-Huayllay-Cerro de Pasco	251 km

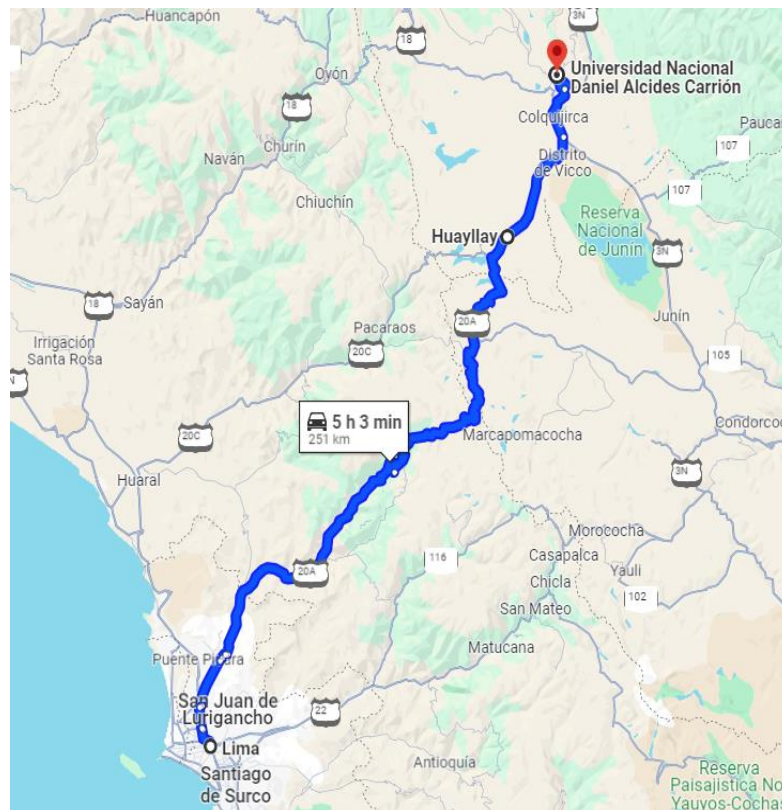
Nota. Elaboración Propia

Figura 2 *Vía de Acceso Lima-La Oroya-Cerro de Pasco*



Nota. Imagen tomada de Google Maps

Figura 3 *Vía de Acceso Lima-Huayllay-Cerro de Pasco*



Nota. Imagen tomada de Google Maps

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Flotación Batch

La flotación batch es un método ampliamente utilizado en el procesamiento de minerales para separar partículas minerales valiosas de la ganga. Este proceso se lleva a cabo en un solo lote, permitiendo un control preciso de las condiciones experimentales y facilitando la evaluación de diferentes variables que afectan la eficiencia de la separación.

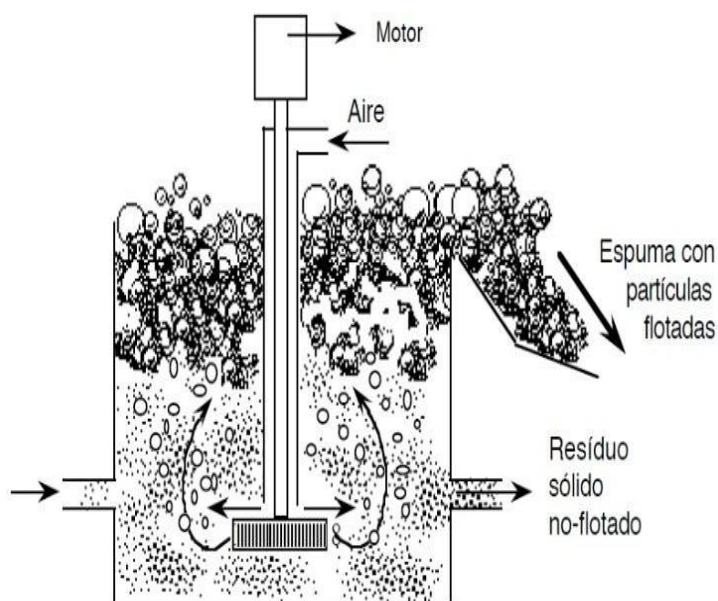
Principios de la Flotación

La flotación se basa en las diferencias en las propiedades de superficie de los minerales. Los minerales hidrofóbicos, que repelen el agua, se adhieren a las burbujas de aire y se elevan a la superficie, formando una espuma que puede ser recogida. Los minerales hidrofílicos, que atraen el agua, permanecen en la pulpa y se desechan como relaves. Este proceso se optimiza mediante el uso de diversos reactivos químicos que modifican las propiedades de superficie de los minerales.

Flotación Batch

En la flotación batch, una cantidad fija de pulpa (mezcla de mineral y agua) se trata en una celda de flotación durante un período de tiempo específico. Durante este tiempo, se añaden los reactivos necesarios y se agita la pulpa, introduciendo burbujas de aire que transportan las partículas hidrofóbicas a la superficie.

Figura 4 Celda de Flotación



Nota. Imagen de SlideShare

La flotación batch es una técnica crucial en el procesamiento de minerales que permite una evaluación detallada y precisa de las variables que afectan la separación de minerales valiosos. Con el uso adecuado de reactivos y un control cuidadoso de las condiciones experimentales, la flotación batch puede proporcionar información valiosa para optimizar y mejorar los procesos de flotación en la industria minera.

Reactivos Utilizados en la Flotación Batch

Los reactivos de flotación se clasifican en tres categorías principales: colectores, espumantes y modificadores. Cada uno de estos tipos de reactivos desempeña un papel crucial en el proceso de flotación al interactuar con las partículas minerales y el medio acuoso, facilitando así la separación y concentración selectiva de los minerales de interés.

- **Colector:**

Son compuestos que se adsorben en la superficie de los minerales, aumentando su hidrofobicidad y facilitando su adherencia a las burbujas de aire.

Xantatos: Son los colectores más comunes en la flotación de sulfuros. El xantato amílico de potasio (Z6) y el xantato isopropílico de sodio (Z11) son ejemplos típicos que se utilizan en la flotación de minerales como la pirita y arsenopirita.

- **Espumante:**

Los espumantes son reactivos que se utilizan para estabilizar y mejorar la formación de la espuma en el proceso de flotación. Ayudan a crear burbujas de aire finas y estables, lo que es esencial para llevar los minerales valiosos a la superficie de la pulpa y formar el concentrado. Los espumantes reducen la tensión superficial del agua, lo que promueve la formación de espuma y facilita la separación. Algunos ejemplos de espumantes son el metilisobutilcarbinol (MIBC), Aceite de pino.

- **Modificadores:**

Los modificadores son reactivos que se añaden al sistema de flotación para alterar las propiedades superficiales de los minerales y mejorar la selectividad del proceso. Pueden cambiar la conducta de los minerales en función de su tipo y características específicas. Los modificadores pueden ajustar la acidez o alcalinidad de la pulpa (pH), controlar la dispersión de los minerales, inhibir la acción de ciertos colectores o mejorar la acción de los colectores en minerales específicos. Ejemplos

1. **Reguladores de pH:** Como la cal (CaO) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4), se utilizan para ajustar el pH de la pulpa, optimizando la flotación de ciertos minerales.
2. **Depresores:** Como el sulfato de zinc (ZnSO_4) y el cianuro de sodio (NaCN), se utilizan para deprimir la flotabilidad de minerales no deseados.
3. **Activadores:** Como el sulfato de cobre (CuSO_4), que se utiliza para mejorar la flotabilidad de ciertos minerales.

En conjunto, estos tres tipos de reactivos trabajan para lograr una separación eficiente de los minerales valiosos durante el proceso de flotación, permitiendo la obtención de concentrados ricos en los minerales de interés y la eliminación de los minerales no deseados en los relaves.

Variables operacionales relevantes en el proceso:

Las variables de mayor importancia en el proceso de flotación pueden variar dependiendo del tipo de mineral y del contexto específico de la operación minera. Sin embargo, en términos generales, algunas de las variables clave que suelen tener un impacto significativo en el proceso de flotación son las siguientes:

- 1. Tipo de mineral:** La composición mineralógica y las propiedades físicas y químicas del mineral influyen en la respuesta a los reactivos de flotación y en la selectividad de la separación.
- 2. Tamaño de partícula:** El tamaño de partícula influye en la eficiencia de la flotación, ya que las partículas más finas pueden tener diferentes comportamientos de flotación en comparación con las más gruesas.
- 3. Densidad de pulpa:** La densidad de la suspensión acuosa de mineral (pulpa) afecta la estabilidad y la formación de burbujas de aire, lo que a su vez influye en la recuperación y la calidad del concentrado.
- 4. pH:** El pH del sistema influye en la carga de las partículas y en la actividad de los reactivos. Puede afectar la selectividad de la flotación y la estabilidad de los reactivos.
- 5. Reactivos de flotación:** La selección y dosificación de los colectores, espumantes y modificadores son fundamentales para controlar la hidrofobicidad de las partículas y lograr la separación deseada.

6. **Tiempo de residencia:** El tiempo que las partículas pasan en la celda de flotación influye en la probabilidad de que entren en contacto con las burbujas y se adhieran a ellas.
7. **Temperatura:** La temperatura puede afectar la cinética de reacción y la estabilidad de los reactivos, lo que a su vez influye en la flotación.
8. **Agitación:** La agitación adecuada es esencial para la dispersión de las burbujas de aire y para garantizar la interacción eficiente entre las partículas y los reactivos.
9. **Aireación:** La cantidad y la calidad del aire introducido en el sistema afectan la generación y la estabilidad de las burbujas de aire.
10. **Equipo y diseño de la celda de flotación:** El tipo de celda de flotación, su diseño y su geometría pueden influir en la cinética de flotación y en la eficiencia de la separación.

Celdas de Flotación

Las celdas de flotación son dispositivos esenciales en el proceso de separación de minerales por flotación. Estas celdas desempeñan un papel crucial al facilitar la interacción entre las partículas minerales y las burbujas de aire, lo que permite la separación selectiva de los componentes valiosos de las pulpas minerales. A continuación, se describen sus funciones, características y su importancia en el proceso de flotación.

Funciones Principales:

- **Suspensión y prevención de sedimentación:** Las celdas de flotación garantizan que las partículas minerales se mantengan en suspensión dentro de las pulpas, evitando su sedimentación y asegurando una distribución uniforme en el sistema. Esto es fundamental para lograr una interacción efectiva entre las partículas y las burbujas de aire.

- **Aireación Efectiva:** Estas celdas proporcionan una adecuada aireación a través de la introducción controlada de aire en la pulpa. La aireación es esencial para la generación de burbujas de aire finas y su dispersión uniforme en toda la celda, lo que facilita la adhesión de las partículas a las burbujas.
- **Colisiones y adhesiones:** Las celdas de flotación promueven las colisiones entre las partículas minerales y las burbujas de aire. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas, formando una espuma rica en minerales valiosos que se separa de la pulpa.
- **Estabilización de la pulpa y la espuma:** Las celdas de flotación mantienen una capa de espuma estable en la parte superior de la celda, lo que permite la separación adecuada entre el concentrado y el relave. Además, evitan la agitación excesiva de la pulpa inmediatamente debajo de la espuma, lo que facilita la recuperación eficiente de los minerales valiosos.
- **Transporte eficiente:** Estas celdas aseguran un transporte eficiente de la pulpa hacia la celda, así como del concentrado y el relave hacia sus salidas respectivas, contribuyendo a la operación continua y ordenada del proceso.
- **Control de variables operativas:** Las celdas de flotación permiten ajustar y controlar variables operativas como la densidad de pulpa, la aireación y la agitación, lo que influye en la eficiencia y la selectividad del proceso de flotación.

Importancia y Eficiencia:

Las celdas de flotación son esenciales para el éxito del proceso de flotación, ya que influyen directamente en la recuperación y la calidad de los productos obtenidos. La eficiencia de estas celdas se mide en términos de su capacidad de procesamiento por

unidad de volumen, la calidad del concentrado y el relave, así como los consumos de energía y reactivos. Además, las celdas de flotación contribuyen significativamente a los costos de operación y mantenimiento por tonelada de mineral tratado.

Características Clave:

- Las celdas de flotación deben ser capaces de:
- Mantener la pulpa en suspensión continua.
- Evitar la sedimentación no deseada de partículas.
- Facilitar una separación efectiva entre el concentrado y el relave.
- Permitir la regulación y control de variables operativas cruciales.

Las celdas de flotación son componentes esenciales en el proceso de flotación de minerales, desempeñando un papel vital en la separación selectiva y la obtención de productos de alta calidad y valor. Su diseño y operación adecuados son fundamentales para el éxito de la operación minera y el logro de los objetivos metalúrgicos.

Procedimiento de la Flotación Batch

1. **Preparación de la Pulpa:** El mineral se muele y se mezcla con agua para formar una pulpa.
2. **Condicionamiento:** Se añaden los reactivos necesarios (colectores, espumantes y modificadores) a la pulpa para preparar los minerales para la flotación.
3. **Flotación:** La pulpa acondicionada se introduce en una celda de flotación, donde se airea y se agita. Los minerales hidrofóbicos se adhieren a las burbujas de aire y suben a la superficie, formando una espuma.
4. **Recolección de la Espuma:** La espuma, que contiene los minerales valiosos, se recoge en intervalos regulares para su posterior análisis.
5. **Análisis:** Se analizan las fracciones recolectadas para determinar la recuperación y la ley de los minerales valiosos.

Flotación Batch utilizando reactivo xantato Amílico de potasio (Z6) y xantato isopropílico de sodio (Z11) a gran escala en entornos de laboratorio
Colectores: xantato Z6 y Z11.

Los reactivos químicos más utilizados en el proceso de flotación de minerales son los colectores: Z6 (xantato amílico de potasio) y Z11(xantato isopropílico de sodio).

Figura 5 *Colector - Xantato*



Nota. Imagen de global Sources

El xantato amílico de potasio, conocido mayormente como Z-6, se destaca por su alta potencia, lo que lo convierte en una elección habitual en las operaciones de flotación que demandan el nivel más elevado de efectividad colectora. En consecuencia, resulta especialmente idóneo para la flotación de minerales de cobre que presentan sulfuros manchados u oxidados. Asimismo, en el tratamiento de minerales de plomo, se aplica en situaciones que involucran arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto y níquel, así como sulfuros de hierro que contienen oro. Además, cumple la función de promotor secundario en procesos de flotación agotativa que siguen a una flotación "bulk", en los cuales se emplea un promotor más selectivo. Principio del formulario con

unas dosis adecuadas, el Z-6 puede ser más selectivo para ciertas separaciones. (Quijua, 2018, pág. 60)

Por otra parte, El Z-11, también denominado xantato isopropílico de sodio, destaca como el xantato de mayor empleo entre todos debido a su asequible precio y su gran capacidad colectora. En general, su velocidad es ligeramente menor que la de los xantatos de etilo, no obstante, en muchas ocasiones, puede reemplazarlos con una clara disminución en la cantidad y el gasto de agente colector necesario. Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc; minerales complejos de plomo y zinc y cobre-hierro, en los que los principales minerales sulfurosos son calcopirita, calcosita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, piritita y pirrotita. Otra de las aplicaciones incluye la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro conteniendo cobalto o níquel; así como la recuperación de piritita de hierro para procesar y obtener el ácido sulfúrico. (MJ, 2017, pág. 13)

2.3. Definición de términos básicos

Activadores: La función principal es activar a los minerales sulfurados, los activadores por su parte sirven para aumentar la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales.

Celdas de flotación: es un equipo que tiene como función separar en forma eficiente material valorable desde la pulpa. Éstas se caracterizan por poseer un sistema rotor-estator que permite la dispersión tanto de las partículas sólidas presente en la pulpa como del aire que es ingresado.

Cinéticas de flotación: En la flotación de minerales hay presencia de fenómenos fisicoquímicos, para apreciar la eficiencia del proceso de flotación es necesario determinar su velocidad y selectividad, con que flotan las partículas de

minerales o sea es la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo.

Colector: Es el reactivo fundamental del proceso de flotación porque produce la película hidrofóbica en la partícula mineral.

Depresores: Disminuyen la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílica o impidiendo la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarla.

Espumante: Tiene como función la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de celdas de flotación.

Ganga: Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación.

Ley de mineral: Es el contenido metálico de un determinado elemento en el mineral, expresado en diferentes formas como: %, Gr, Onzas Troy, etc. Además, se refiere a la concentración o contenido de un mineral valioso presente de muestras o depósitos minerales. En general, se representa como un porcentaje o como una proporción de la masa del mineral valioso en relación con la masa total de la muestra.

Mena: Es el mineral cuya explotación presenta interés, refiriéndose al mineral del que se extrae el elemento químico útil. Este término es más comúnmente utilizado en minerales metálicos.

Modificadores: Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando la acción del colector para flotar el mineral de valor, evitando su acción a todos los otros minerales cómo es la ganga.

pH: Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

Potenciómetro de pH: También llamado medidor de pH es un dispositivo científico que mide la actividad de los iones de hidrógeno en una solución acuosa, lo que indica el grado de acidez o alcalina representada como pH.

Reactivos de flotación: Los reactivos de flotación juegan un papel importante en este proceso. Estos, si se agregan al proceso, cumplen ciertas funciones que permiten la separación de los minerales valiosos (Mena) de la ganga (Estéril).

Recuperación: Hace referencia al porcentaje de metal total contenido en la mena que se recupera en el concentrado.

Reguladores de pH: Se agrega para operar en medio alcalino o ácido.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Hay suficiente evidencia estadística para sostener que el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave de la relavera Santa Maria Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el CuSO_4 influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.
- b. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el xantato influyen en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.
- c. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el pH influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.

- d. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el porcentaje de sólidos influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Dependiente

Recuperación del concentrado de piritas y arsenopiritas

2.5.2. Variable Independiente.

Efecto del Z6 y Z11

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Tabla 2 Operacionalización de Variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		
VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADORES
<p>Dependiente:</p> <p>Recuperación de piritas y arsenopirita</p>	<p>La recuperación de piritas y arsenopirita se refiere a los procesos utilizados para extraer y recuperar estos minerales de yacimientos o relaves mineros, especialmente con fines industriales.</p>	<p>Porcentaje de piritas y arsenopiritas en el concentrado bulk</p>
<p>Independiente:</p> <p>Efecto del Z6 y Z11</p>	<p>Los xantatos, debido a su elevado poder colector son empleados en la flotación de minerales, Los xantatos (Z6 y Z11) son sustancialmente no espumantes y por lo tanto pueden emplearse en cualquier cantidad necesaria, sin peligro de producir espumación excesiva. Al mismo tiempo es fundamental conocer la granulometría del mineral, la dosificación de los reactivos de flotación, el pH y la densidad de pulpa a la que está trabajando.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Densidad de pulpa • Reactivos de flotación. • • • • Porcentaje de sólidos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Considerando los objetivos de la investigación y la esencia del problema planteado en el desarrollo de este estudio, se optó por utilizar el tipo de investigación aplicada. Esta elección se sustenta en la capacidad de la investigación aplicada para abordar de manera efectiva los problemas planteados, especialmente en lo que respecta a la caracterización sobre la evaluación metalúrgica del impacto de los xantatos Z6 y Z11 para la recuperación de las piritas y arsenopiritas de las muestras de relave Santa Maria de la Compañía Minera Poderosa S.A.

3.2. Nivel de Investigación

Se utilizó el nivel experimental y Explicativo en este estudio ya que se llevó a cabo una evaluación detallada de las variables independientes Z6 y Z11. estas variables interactuarán en diversas mezclas, y se buscó determinar la proporción de la mezcla que ejerza una mayor influencia en los resultados. Su objetivo fue evaluar, analizar y optimizar las recuperaciones de piritas y arsenopiritas. Este nivel de investigación se

eligió debido al nivel de conocimiento y experiencia del investigador en el tema tratado, con el fin de obtener los resultados deseados.

3.3. Métodos de Investigación

El proyecto de tesis que se llevó a cabo se caracteriza por presentar un diseño de investigación explicativa. En este enfoque, la perspectiva del investigador desempeña un papel fundamental, ya que se basa en su formación profesional y experiencia en el tratamiento de los relaves depositados en la relavera Santa Maria. Se proporciona una explicación detallada acerca de las variables independientes, abordando aspectos que son explorados en función de la variable dependiente. Este enfoque busca elucidar cómo y por qué estas variables se relacionan con las preguntas de investigación planteadas.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño que se utilizó para el presente trabajo de investigación corresponde al experimental. La investigación experimental está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver. Este tipo de investigación se lleva a cabo cuando es crucial para el investigador obtener conclusiones estadísticas que le faciliten la recopilación de información para su estudio. En nuestro caso, se ha optado por un diseño experimental en el que se ejerce un grado máximo de control por parte del investigador; es decir, implica la manipulación de variables. Este enfoque no solo brinda la capacidad de recopilar datos de manera precisa, sino que también permite establecer relaciones causales entre las variables estudiadas.

3.5. Población y Muestra

La Población: La población de este estudio está compuesta por todos los relaves acumulados en la relavera Santa María, perteneciente a la Empresa Minera

Poderosa, durante un periodo temporal determinado. Los relaves son los residuos generados durante los procesos de extracción de minerales, y en este caso, corresponden a los desechos derivados de la actividad minera realizada en dicha relavera.

Importancia de la Población Estudiada:

La correcta gestión de los relaves es un tema de gran relevancia en la minería moderna. Comprender la distribución y las características de los relaves en la relavera Santa María es fundamental para evaluar los procesos de recuperación y mitigación que la empresa minera está implementando, y para proponer posibles mejoras en la gestión de los relaves como en el caso que se hizo en esta investigación.

“Se define como el conjunto de casos que tienen una serie de especificaciones en común y se encuentran en un espacio determinado. En muchos casos, no es posible analizar toda la población por cuestiones de tiempo y recursos humanos” (Arispe Alburquerque & Yangali Vicente, 2020, pág. 73). Es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación.

Muestra: En este estudio, la muestra se seleccionó como un subconjunto representativo de la población total de los relaves acumulados en la relavera Santa María. Para garantizar que los resultados del análisis sean generalizables y sin sesgos, se empleó el método de muestreo aleatorio simple.

Muestreo Aleatorio Simple:

El muestreo aleatorio simple fue elegido debido a la necesidad de obtener una muestra no sesgada y representativa de todos los relaves acumulados en la relavera Santa María, ya que la población de relaves presenta una gran cantidad de muestras dispersas en varias zonas de la relavera. Al utilizar este enfoque, se asegura que cada

unidad o muestra de relave tenga la misma probabilidad de ser seleccionada sin influencias externas o preconcepciones, lo que refuerza la objetividad de la investigación.

Características del Muestreo Aleatorio Simple:

1. **Selección al Azar:** Cada muestra de relave se selecciona de manera aleatoria sin ningún criterio previo que pueda favorecer a ciertas áreas o tipos de relave. Esto elimina el sesgo de selección y asegura que todas las zonas de la relavera tengan la misma oportunidad de ser representadas en el estudio.
2. **Diversidad en la Composición de los Relaves:** Dado que los relaves pueden variar en sus propiedades, el muestreo aleatorio simple garantiza que las muestras seleccionadas representen toda la variabilidad que podría existir en la población. Esto permite un análisis generalizado sobre las características de los relaves en la relavera.
3. **Tamaño de la Muestra:** El número de muestras seleccionadas fue determinado con base en el tamaño total de la población de relaves y el nivel de precisión deseado en los resultados. Se utilizaron herramientas estadísticas para calcular el tamaño de muestra adecuado, asegurando que la cantidad seleccionada sea suficiente para obtener resultados confiables.
4. **Distribución Geográfica de las Muestras:** Aunque se empleó un muestreo aleatorio, se consideró la distribución geográfica de los relaves dentro de la relavera. Esto significa que, aunque las muestras fueron seleccionadas al azar, se procuró cubrir diferentes áreas de la relavera para obtener una representación equitativa de los relaves, considerando que la distribución de los relaves no es homogénea.

Es una parte o fragmento representativo de la población, cuyas características esenciales son las de ser objetiva y reflejo fiel de ella, de tal manera que los resultados

obtenidos en la muestra puedan generalizarse a todos los elementos que conforman dicha población. (Carrasco Díaz, 2005, pág. 237)

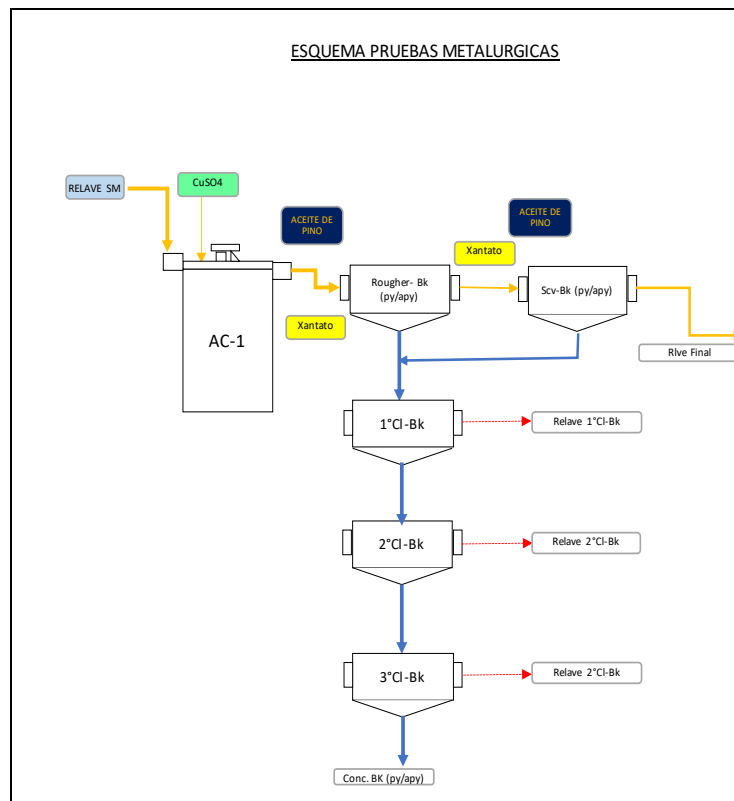
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La técnica para el desarrollo de la investigación fue de medición y las herramientas han sido materiales y equipos de laboratorio tales como:

- Balanza analítica.
- Agitador magnético.
- Celdas de flotación.
- Filtros a presión.
- Estufa de secado.
- PH metro.
- Vasos de precipitación 100ml y 200ml.
- Espátula.
- Picetas.
- Probetas.
- Fiolas.
- Bandejas.
- Baldes.
- sobre manilas.

En el desarrollo de la práctica para este proyecto de investigación, se utilizó los equipos e instrumentos disponibles del laboratorio de metalúrgico de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Figura 6 Esquema de pruebas para diseño factorial fraccionado



Nota. Elaboración Propia

Estos equipos e instrumentos se utilizó con el objetivo de llevar a cabo pruebas de flotación Batch de diseño factorial y una etapa de optimización (diseño hexagonal), de manera que se flotará y recuperará el mineral de interés (concentrado pirita y arsenopirita), del mismo modo se deprimirán los minerales que no son de interés (ganga) se emplearán los reactivos xantatos y CuSO₄ más adecuados para este propósito, así como se identificará, el pH y el porcentaje de solidos adecuados para el desarrollo de la investigación.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

A partir de realizar pruebas de flotación Batch de diseño factorial, y realizar la etapa de optimización con el fin de evaluar los parámetros y las variables que influyen en cada etapa del proceso de flotación tales como el Xantato, CuSO₄, pH, Porcentaje de solidos (%S) y la respuesta en interacción de los xantatos Z6 y Z11 en mezcla con el

fin de determinar la proporción ideal de mezcla de estos xantatos que nos permitió maximizar la recuperación de pirita y arsenopirita.

Para la interpretación y evaluación de los resultados obtenidos, se empleó los programas de software Excel y Minitab. Excel se utilizó para la organización y el análisis preliminar de los datos, mientras que Minitab se aplicó para el análisis estadístico avanzado y la optimización de las variables experimentales.

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento y análisis de datos juega un papel fundamental en la investigación, ya que permitió evaluar cómo se comporta la variable dependiente al modificar la variable independiente. Después de obtener los datos de una serie de pruebas metalúrgicas realizadas en el lugar de trabajo, la interpretación de los datos se llevó a cabo mediante un enfoque crítico y a través del análisis de la relación causa y efecto de los valores obtenidos. Para ello, se utilizó hojas de cálculo y el software Minitab para lograr una mejor interpretación de los resultados.

3.9. Tratamiento Estadístico

Se realiza el tratamiento estadístico de todos los datos seleccionados, que consiste en afirmaciones estadísticas de los datos, sin embargo, el análisis no puede quedar reducido a una operación contable, de obtención de promedios, medias e índices, etc. Hay que analizarlos, interpretarlos y darles sentido. (Ágora, 2012, pág. 1).

Para el desarrollo y el procesamiento de datos, se utilizó modelos tabulares numéricos y gráficos, así como el uso de software aplicado, como Minitab 19 y Excel Versión 2018.

Por ende, se desarrolló medidas de tendencia central, como el promedio, la mediana y la moda, así como las medidas de dispersión, como la varianza, la desviación

estándar y la variación y el análisis de la distribución de datos en el conjunto de información.

Del mismo modo se empleó el coeficiente de correlación de Spearman y la prueba de "t" de Student como herramientas para contrarrestar la hipótesis de la investigación y determinar la fuerza y la importancia de las relaciones encontradas. Estos métodos le permiten evaluar la asociación entre las variables y llevar a cabo interferencias estadísticas en los estudios de correlación.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La orientación ética en la investigación es vital y debería ser un componente fundamental en cualquier investigación científica. La ética en la investigación implica consideraciones y principios morales que guían el comportamiento de los investigadores para garantizar el respeto, la integridad y el logro de todos los participantes y las partes involucradas en el proceso de investigación.

Primeramente, la orientación ética implica obtener un consentimiento informado y voluntario de los participantes antes de que se incluyan en el estudio. Esto implica proporcionar información clara y comprensible sobre los objetivos del estudio, procedimientos involucrados, posibles riesgos y ventajas, así como de confidencialidad de datos. Además, la orientación ética implica la protección de la confidencialidad y confidencialidad de los datos recopilados. Los investigadores deben asegurarse de que la información personal de los participantes se considere confidencialmente y que se use solo para fines científicos específicos y autorizados.

Este trabajo de investigación, con un enfoque particular en las consideraciones éticas, prioriza la integridad intelectual de los autores al abordar diversas teorías y conocimientos, citándolos adecuadamente y proporcionando referencias bibliográficas conforme al estilo APA de la séptima edición. Es importante destacar que la

investigación se llevó a cabo en la provincia de Pasco, específicamente en el distrito de Chaupimarca, dentro de las instalaciones del laboratorio metalúrgico de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, mediante un convenio establecido con la Compañía Minera Poderosa S.A. Por ende, se garantiza la veracidad total de los datos e información presentados en este estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

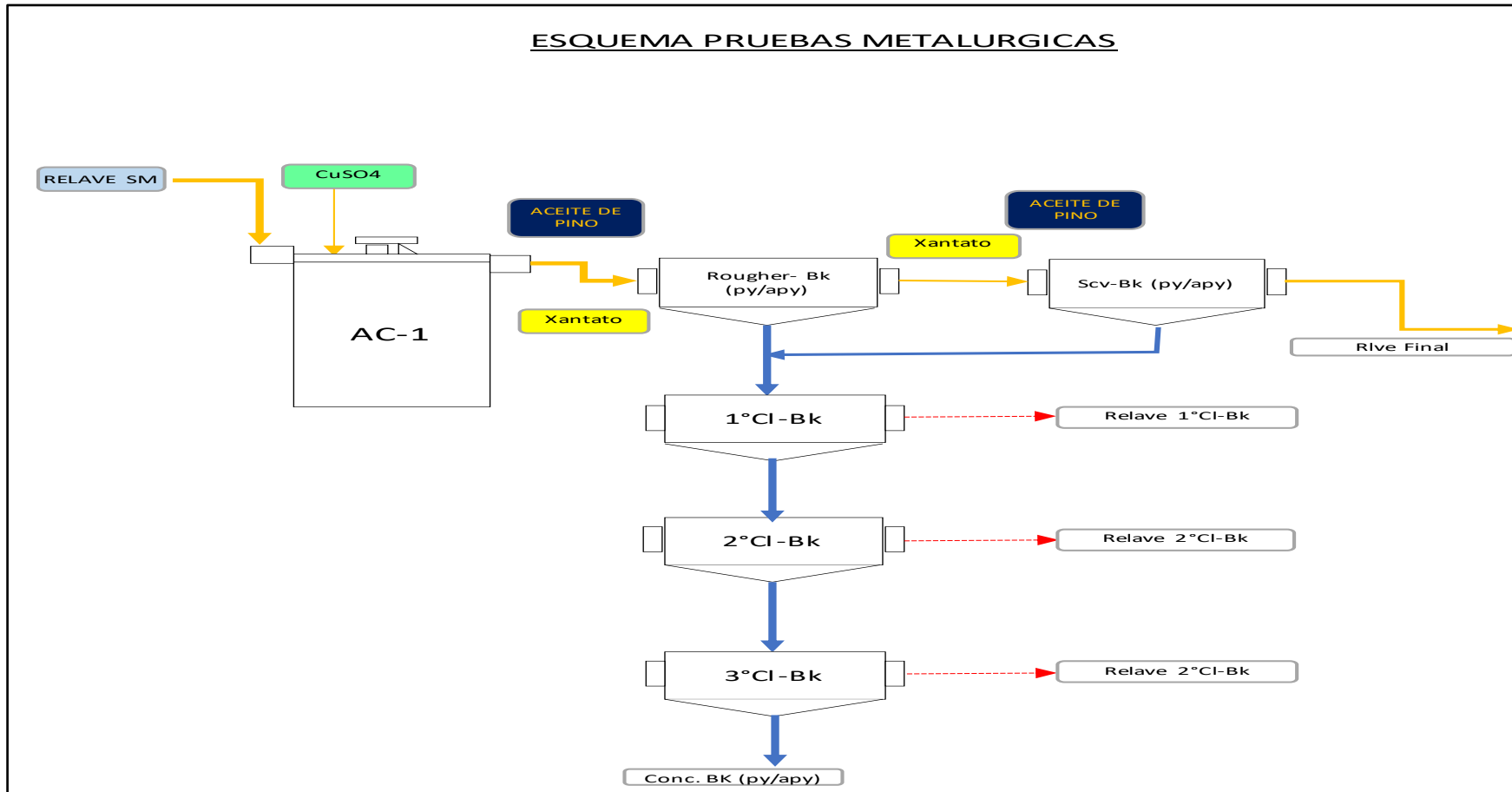
El relave Santa Maria, proveniente de la relavera de la Empresa Minera Poderosa S.A., se encuentra almacenado en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión - Pucayacu. Desde este depósito, se extrae una muestra representativa de aproximadamente 30 kilos como punto de partida para llevar a cabo las pruebas batch, siguiendo el esquema detallado en la figura 7 adjunta. El objetivo principal de estas pruebas batch es obtener un concentrado bulk de pirita y arsenopirita.

En las pruebas de diseño factorial para la identificación de las variables más influyentes en la recuperación de Fe (pirita y arsenopirita) se evaluó las variables independientes tales como xantato Z6 y Z11, CuSO_4 , pH y el porcentaje de sólidos (S%) mediante este diseño factorial cuya respuesta es el porcentaje de recuperación de % Fe (pirita y arsenopirita).

Habiéndose identificado las variables más influyentes en la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita). se estableció un diseño hexagonal con el cual se optimizó

los niveles de la proporción en mezcla de los xantatos Z6 y Z11 con el cual se buscó maximizar la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita) en el relave santa maría.

Figura 7 Esquema Pruebas Metalúrgicas



Nota. Elaboración Propia

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Diseño experimentales

Son formas ordenadas en las cuales se distribuyen las pruebas, que generalmente tienen una forma geométrica regular; las variables se mueven a través de un rango. En la etapa “screening” se usan los arreglos factoriales, las factoriales fraccionadas y las plantillas Plackett Burmann. (Manzaneda Cabala, 2000)

Siendo una de las herramientas más efectivas para mejorar los procesos metalúrgicos a través de experimentación, especialmente cuando el proceso es complejo o poco comprendido, siendo visto como una "caja negra". En este enfoque, la relación entre el criterio de optimización y las variables controlables se investiga mediante experimentos realizados en laboratorio o planta piloto para obtener una comprensión empírica.

4.2.2. Objetivo de aplicar el diseño experimental

El objetivo principal es mostrar que, usando el razonamiento del diseño experimental en las investigaciones, es posible aprovechar los resultados de estas con la finalidad de hacer una proyección para un trabajo a escala industria. El diseño experimental, al utilizar múltiples variables simultáneamente, tiene la capacidad de identificar incluso la influencia de las interacciones entre estas variables. (Manzaneda Cabala, 2000)

4.2.3. Diseño del esquema experimental

Diseño Estáticos: se emplean en entornos de laboratorio o en escalas de pilotaje. En este esquema de diseño estático, se distinguen dos etapas principales, que se recomienda seguir de manera secuencial y complementaria.

- **La primera etapa** es la de selección de variables, donde se realiza el primer intento de estudio para determinar la significancia de la mayoría de las variables y

comprender su influencia metalúrgica en torno a la respuesta deseada. Esto se lleva a cabo utilizando el estadístico "t-student".

- **La segunda etapa** es la de optimización, en la cual se ajusta un modelo, generalmente cuadrático, con dos o tres variables como máximo. Aquí, se estiman los mejores valores de las variables para alcanzar el valor óptimo en la respuesta deseada, utilizando el estadístico "F". (Manzaneda Cabala, 2000)

4.2.4. Primera etapa selección de variable

Para esta etapa se cuenta con los Diseños Factoriales 2^n si las variables son 2 y 3, al incrementar el número de variables entre 4 y 5 se usan las factoriales fraccionados mitad y un cuarto (son diseños factoriales recortados en bloques y que evitan hacer un mayor número de pruebas como lo indicaría una factorial 2^n). (Manzaneda Cabala, 2000, pág. 6)

- Las plantillas normalmente aparecen en variable codificada siendo -1 el rango real inferior elegido y $+1$ el rango superior, 0 expresa el punto central y la relación entre variable real y codificada.

Plantilla más conocida en selección de variables

Factorial con dos variables

$$2^2 = 4 \text{ pruebas}$$

Tabla 3 Matriz de diseño a escala codificada con 2 variables

PRUEBA	X1	X2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1

Nota. Datos obtenidos de Manzaneda Cabala, pág. 7

Factorial con tres variables

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

Tabla 4 Matriz de diseño a escala codificada con 3 variables

PRUEBA	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Nota. Datos obtenidos de Manzaneda Cabala, pág. 7

Cuando son más de cuatro variables se usan diseños factoriales fraccionados para evitar hacer un mayor número de pruebas tal como se usó en las pruebas realizadas en la investigación.

Diseño Factorial Fraccionado – Etapa Screening

Factorial de 4 Variables Fraccionado

$$2^4 = 8 \text{ Pruebas}$$

Tabla 5 Matriz de diseño a escala codificada con 4 variables

PRUEBA	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	-1	-1
2	1	1	-1	-1
3	1	-1	1	-1
4	-1	1	1	-1
5	1	-1	-1	1
6	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1
8	1	1	1	1

Nota. Datos obtenidos de Manzaneda Cabala, pág. 8

Pruebas de diseño factorial

Siguiendo el esquema de las pruebas de flotación batch se plantea el desarrollo de pruebas de diseño factorial con las cuatro variables que intervienen en el proceso de

flotación. Estableciendo los niveles mínimos, máximos y punto central de acuerdo adjuntada en la tabla siguiente.

Con esta evaluación se pretende evaluar el nivel de significancia del xantato, CuSO_4 , pH y porcentaje de sólidos.

Selección de variable en prueba estandar de laboratorio

Se desarrolla el siguiente diseño a fin de establecer como influyen 4 variables sobre los resultados de una flotación Batch y determinar su significancia sobre las funciones respuesta elegidas; al mismo tiempo usaremos 2 puntos centrales.

Las variables y sus respectivos rangos fueron las siguientes:

- Xantato 10 a 20 gr/tn
- CuSO_4 50 a 100 gr/tn
- pH 6 a 6,7 gr/tn
- Porcentaje de solidos 30 a 35 gr/tn

Nivel de los factores

Tabla 6 *Nivel de Factores*

	VARIABLE	MINIMO	MAXIMO	CENTRO
A	Xantato	10	20	15
B	CuSO_4	50	100	75
C	pH	6	6,7	6,35
D	%S	30	35	32,5

Nota. Elaboración Propia

La Plantilla Utilizada para las pruebas es un diseño fraccionado para 4 variables con 8 pruebas y 2 puntos centrales.

Plantilla codificada:

De acuerdo con el diseño factorial se establece la siguiente plantilla codificada de acuerdo al nivel de las variables.

Tabla 7 Matriz de diseño a escala codificada

PRUEBA	Xantato	CuSO4	pH	%S
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	1
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0

Nota. Elaboración Propia

Plantilla decodificada:

La interpretación de la plantilla codificada se muestra la siguiente plantilla decodificada donde se muestra las cantidades y condiciones con las que se realizó las pruebas batch.

Tabla 8 Matriz de diseño a escala decodificada

XANTATO	CuSO4	pH	%S
10 gr/ton	50 gr/ton	6	30
20 gr/ton	100 gr/ton	6	35
10 gr/ton	50 gr/ton	6,7	35
20 gr/ton	100 gr/ton	6,7	30
10 gr/ton	50 gr/ton	6	35
20 gr/ton	100 gr/ton	6	30
10 gr/ton	50 gr/ton	6,7	30
20 gr/ton	100 gr/ton	6,7	35
15 gr/ton	75 gr/ton	6,35	32,5
15 gr/ton	75 gr/ton	6,35	32,5

Nota. Elaboración Propia

Resultados de las pruebas de diseño factorial

Resultados Ensayes y Recuperación de %Fe

Tabla 9 *Resultados de las pruebas batch*

PRUEBAS METALURGICAS	ENSAYE	RECUPERACIONES
	%Fe	%Fe
PM1	19,37	46,17
PM2	27,83	65,19
PM3	25,76	44,95
PM4	19,02	56,46
PM5	24,64	41,47
PM6	20,31	59,53
PM7	18,11	48,52
PM8	12,99	51,87
PM9	22,76	48,51
PM10	13,67	49,89

Nota. Elaboración Propia

Plantilla codificada con interacciones

Tabla 10 *Plantilla codificada con interacciones*

PRUEBAS	CODIFICADO											XANTATO	CuSO4	pH	%S
	A	B	C	D	A.B	A.C	A.D	B.C	B. D	C.D	A.B.C.D				
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	10	50	6	30
2	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	20	100	6	35
3	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	10	50	6,7	35
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	20	100	6,7	30
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	10	50	6	35
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	20	100	6	30
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	10	50	6,7	30
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	100	6,7	35
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	75	6,35	32,5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	75	6,35	32,5

Nota. Elaboración Propia

Análisis de la Varianza

En la tabla 11 se analiza la varianza, con datos obtenidos de software minitab.

Tabla 11 *Análisis de Varianza*

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	467,529	58,441	61,68	0,098
Lineal	4	373,942	93,485	98,67	0,075
Xantato	1	337,311	337,311	356,02	0,034
CuSO4	1	13,955	13,955	14,73	0,162
Ph	1	16,21	16,21	17,11	0,151
%S	1	6,466	6,466	6,82	0,233
Interacciones de 2 términos	3	83,012	27,671	29,21	0,135
Xantato*CuSO4	1	61,672	61,672	65,09	0,079
Xantato*Ph	1	10,407	10,407	10,98	0,187
Xantato*%S	1	10,932	10,932	11,54	0,182
Curvatura	1	10,575	10,575	11,16	0,185
Error	1	0,947	0,947		
Total	9	468,477			

Nota. Elaboración Propia

De la tabla anterior podemos indicar lo siguiente.

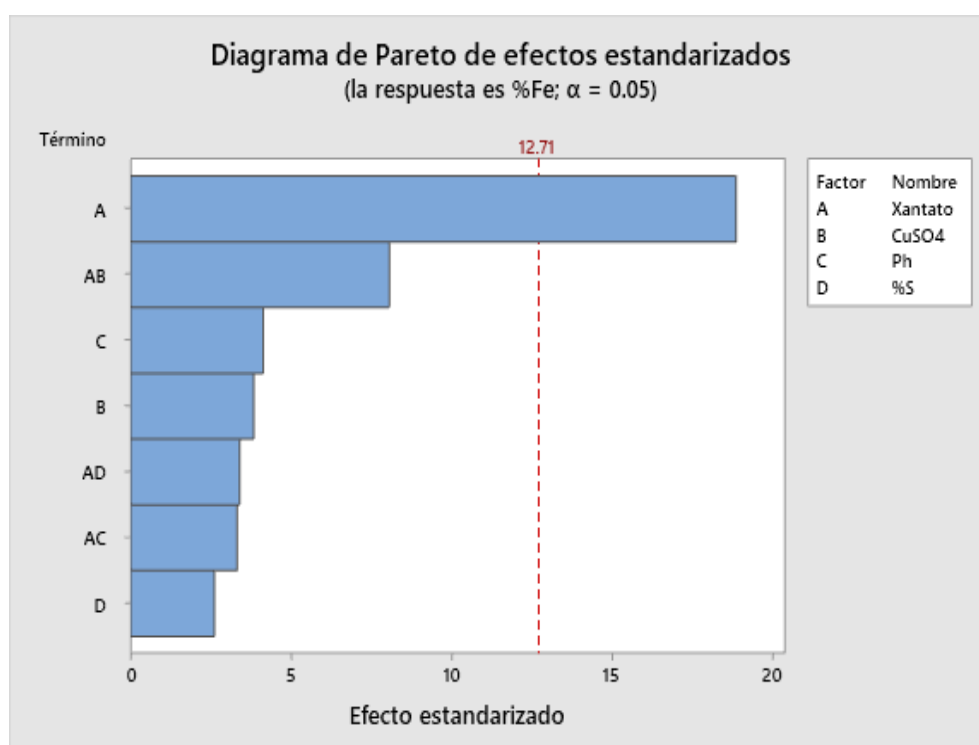
Para la prueba de hipótesis se utiliza el valor estadístico de “T” student considerando el nivel de significancia de 0,05.

Todas las variables independientes cuyos valores sean menores a “p” 0,05 son las más influyentes sobre las recuperaciones de %Fe (pirita y arsenopirita).

El Xantato tiene un valor de “p” es 0,034 lo cual nos indica que es la variable más influyente en la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita).

A continuación, en la siguiente figura se muestra el diagrama de Pareto el cual nos indica que la variable A la cual corresponde al xantato es la más influyente para la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita) mostrando a su vez que las otras variables no muestran significancia sobre las recuperaciones.

Figura 8 Diagrama de Pareto de los efectos en la Etapa Screening



Nota. Elaboración Propia

Cálculo del modelo Matemático

En la siguiente tabla se muestran los valores de la desviación estándar y el R-cuadrado.

Tabla 12 Desviación estándar y R-cuadrado

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,973374	99,80%	98,18%	*

Nota. Elaboración Propia

En la tabla 12 La interpretación del modelo matemático nos indica que la desviación estándar (S) 0,97 nos indica que los datos están relativamente concentrados en la media, al ser este valor menor a 1 sugiere que el modelo es preciso y los datos están bien representados. El valor de r cuadrado de 99,80% indica que el modelo explica aproximadamente el 99,80 % de la varianza en los datos esto sugiere que el modelo es

muy preciso y que los predictores incluidos en el modelo están estrechamente relacionados con la variable dependiente.

En términos generales estos resultados sugieren que el modelo es muy preciso y que las variables independientes están estrechamente relacionadas con la variable dependiente.

Coefficientes Codificados.

En la siguiente tabla se muestra los valores de los coeficientes codificados del modelo matemático.

Tabla 13 *Coefficientes del modelo matemático*

TERMINO	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		51,77	0,344	150,43	0,004	
Xantato	12,987	6,493	0,344	18,87	0,034	1
CuSO4	-2,642	-1,321	0,344	-3,84	0,162	1
Ph	-2,847	-1,423	0,344	-4,14	0,151	1
%S	-1,798	-0,899	0,344	-2,61	0,233	1
Xantato*CuSO4	-5,553	-2,777	0,344	-8,07	0,079	1
Xantato*Ph	-2,281	-1,141	0,344	-3,31	0,187	1
Xantato*%S	2,338	1,169	0,344	3,4	0,182	1
Pt Ctral		-2,571	0,77	-3,34	0,185	1

Nota. Elaboración Propia

Tabla 14 *Ecuación de regresión*

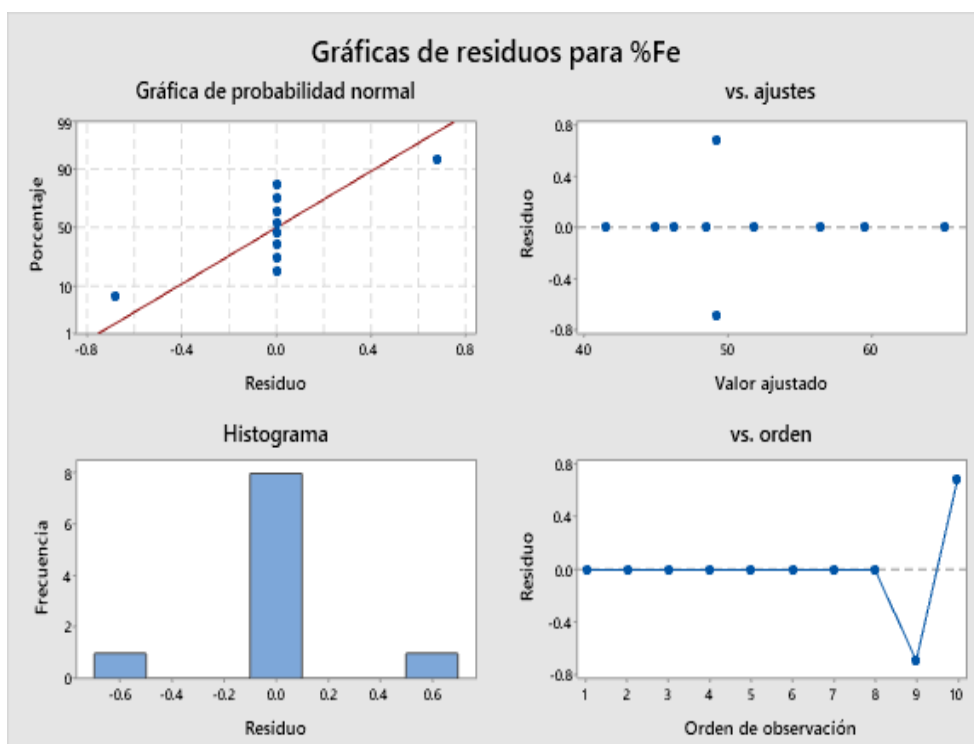
$$\%Fe = 32,3 + 4,06 \text{ Xantato} + 0,2804 \text{ CuSO4} + 5,71 \text{ Ph} - 1,762 \text{ \%S} - 0,02221 \text{ Xantato*CuSO4} - 0,652 \text{ Xantato*Ph} + 0,0935 \text{ Xantato*\%S} - 2,571 \text{ Pt Ctral}$$

Nota. Elaboración Propia

Análisis de Residuos

En la siguiente figura se puede observar la gráfica de probabilidad normal, observándose que los puntos siguen una línea recta indicándonos que los residuos se distribuyen normalmente.

Figura 9 Análisis de Gráficas de Residuos



Nota. Elaboración Propia

Aplicación de T-Student

En la tabla 15 se muestra los valores T-student de cada variable, estos valores representan la significancia sobre la respuesta en la regresión, estos valores serán comparados con los valores absolutos del t-student de tabla.

Tabla 15 Aplicación de grado de significancia de cada variable T-Student

TERMINO	Valor T
Constante	150,43
Xantato	18,87
CuSO4	-3,84
Ph	-4,14
%S	-2,61
Xantato*CuSO4	-8,07
Xantato*Ph	-3,31
Xantato*%S	3,4
Pt Ctral	-3,34

Nota. Elaboración Propia

Analizando los resultados del estadístico t-student donde se considera para 10 pruebas a un nivel de confianza del 95% un valor crítico de t-student de 1,81 para un grado de libertad de 10.

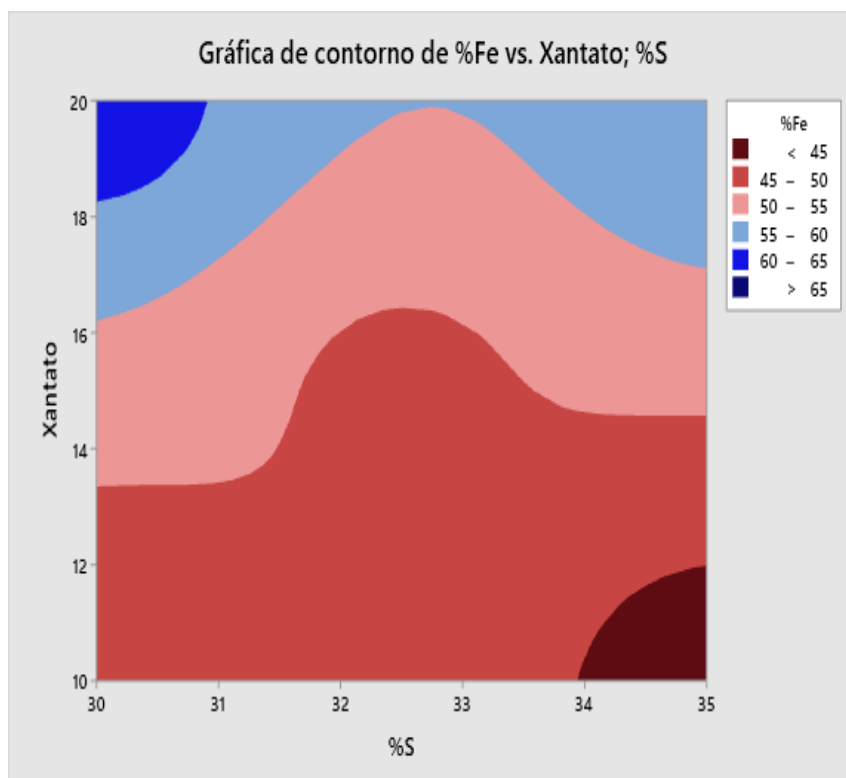
Tabla 16 Aplicación del T-Student analizando el T de Tabla

TERMINO	Valor T
Xantato	18,87

Nota. Elaboración Propia

De este análisis se concluye que la variable independiente más influyente en la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita) es el xantato. Siendo el porcentaje de solidos (%S) la variable acompañante para el diseño de optimización debido a que la interacción de xantato * porcentaje de solidos nos da un valor de T student de 3,4 siendo este resultado mayor al T de tabla.

Figura 10 Grafica de contorno % Recup Fe Vs xantato y %S



Nota. Elaboración Propia

4.2.5. Segunda etapa de optimización de resultados

Diseño Hexagonal (Optimización de Resultados)

El diseño hexagonal es ampliamente empleado y comprende seis pruebas que resultan muy útiles para la estimación de modelos de segundo orden. Este diseño se compone de seis puntos experimentales dispuestos en un hexágono regular, cuyo centro está ubicado en el origen (0,0). Para calcular la varianza, es necesario replicar los puntos en el centro según sea necesario. (Manzaneda Cabala, 2000)

Aplicación del diseño hexagonal

Uso del diseño hexagonal para la recuperación de pirita y arsenopirita.

Para el diseño hexagonal se plantea optimizar el uso de Xantato amílico de potasio (Z6) en mezcla con el xantato isopropílico de sodio(Z11) en proporción en mezcla que ira de 0 a 100% de ambos xantatos, siendo el porcentaje de solidos (%S) la segunda variable a evaluar y optimizar.

Niveles del Diseño Hexagonal

Tabla 17 Niveles del diseño hexagonal

Variables		Niveles		Centro del Diseño		Radio del Diseño		N	Z ₁	Z ₂
		Inferior	Superior							
Z ₁	Z-11/Z-6	0,0	100,0	Z ₁ °	50,0	DZ ₁	50,0	Inferior	0,00	30,00
Z ₂	%S	30,00	30,50	Z ₂ °	30,25	DZ ₂	0,25	Superior	100,00	30,50
Diseño		Hexagonal						Z ⁰	50,00	30,25
N. Pruebas		8,0						ΔZ	50,00	0,3
N. Ecuaciones		5,0						ε	1,0	121,00

Nota. Elaboración Propia

Matriz del Diseño Hexagonal

Tabla 18 *Matriz con escala codificada que incluye la recuperación de pirita y arsenopirita*

Matriz de Diseño Hexagonal					
N°	Codificada		Natural		% Rec Fe
	X1	X2	Z6 (% en mezcla Z6/Z11)	% S	
1	1,00	0,00	100,00	30,25	32,41
2	0,50	0,866	75,00	30,47	22,98
3	-0,50	0,866	25,00	30,47	20,02
4	-1,00	0,00	0,00	30,25	16,45
5	-0,50	-0,866	25,00	30,03	22,98
6	0,50	-0,866	75,00	30,03	32,64
7	0,00	0,00	50,00	30,25	26,38
8	0,00	0,00	50,00	30,25	26,93

Nota. Elaboración Propia

Análisis de Varianza

El análisis de varianza, conocido como ANOVA (por sus siglas en inglés, Analysis of Variance), es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos para determinar si al menos una de las medias de los grupos es significativamente diferente de las demás.

En la tabla 19 se analiza la varianza, con datos obtenidos de software minitab.

Tabla 19 *Análisis de Varianza*

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	222,957	44,591	44,23	0,022
Lineal	2	205,211	102,605	101,78	0,01
XANTATO Z6/Z11	1	165,389	165,389	164,05	0,006
%S	1	39,822	39,822	39,5	0,024
Cuadrado	2	6,529	3,264	3,24	0,236
XANTATO Z6/Z11*XANTATO Z6/Z11	1	4,954	4,954	4,91	0,157
%S*%S	1	3,706	3,706	3,68	0,195
Interacción de 2 factores	1	11,217	11,217	11,13	0,079
XANTATO Z6/Z11*%S	1	11,217	11,217	11,13	0,079
Error	2	2,016	1,008		
Falta de ajuste	1	1,863	1,863	12,15	0,178
Error puro	1	0,153	0,153		
Total	7	224,973			

Nota. Elaboración Propia

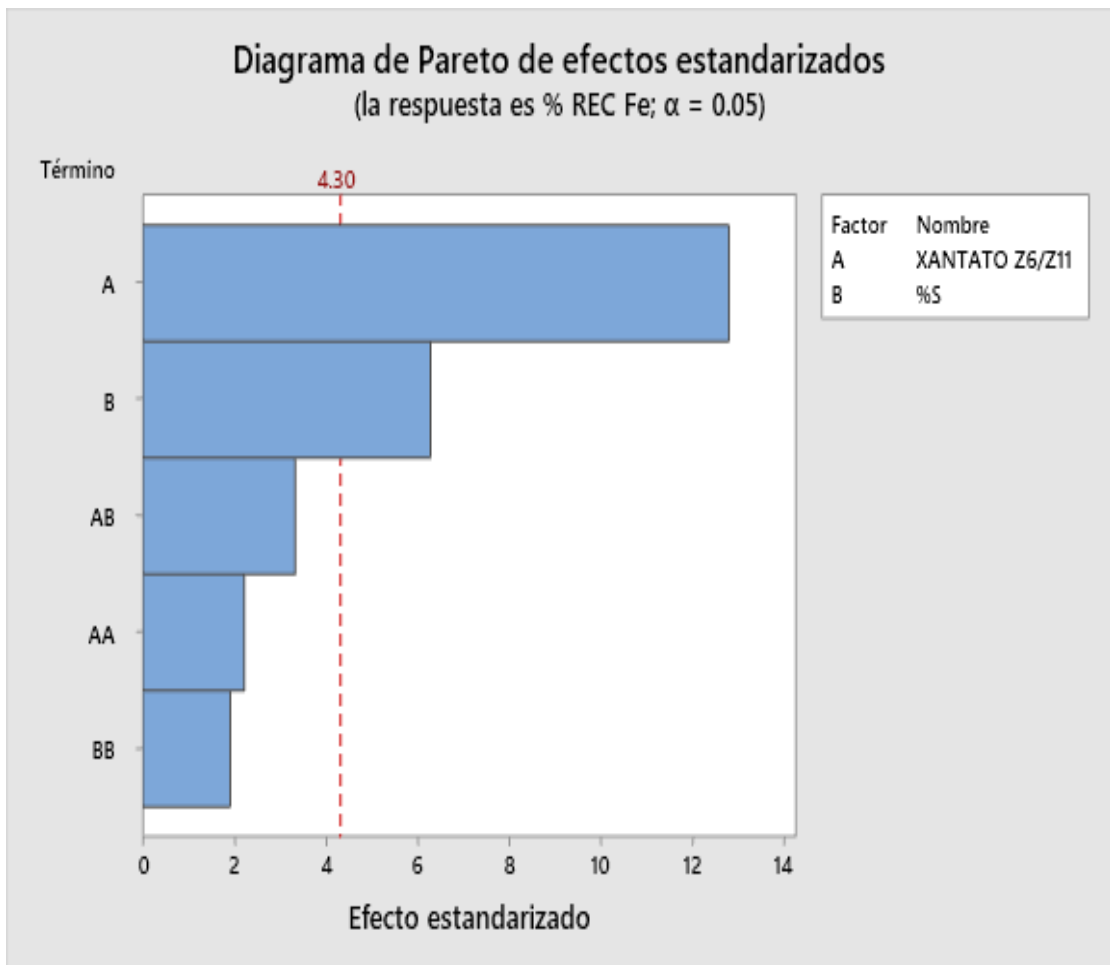
De la tabla anterior podemos indicar lo siguiente.

Para la prueba de hipótesis se utiliza el valor estadístico de “T” student considerando el nivel de significancia de 0,05.

Todas las variables independientes cuyos valores sean menores a “p” 0,05 son las más influyentes sobre las recuperaciones de %Fe (pirita y arsenopirita).

Los resultados muestran que la variable xantato Z6/Z11 tienen un valor “p” 0,006 y el porcentaje de solidos tienen un valor de “p” 0,024. lo cual nos indica que estas variables en interacción son influyentes en las recuperaciones de pirita y arsenopirita.

Figura 11 Diagrama de Pareto de los efectos en la etapa de optimización



Nota. Elaboración Propia

A continuación, en la siguiente figura se muestra el diagrama de Pareto el cual nos indica que la variable A xantato (Z6/Z11) y B porcentaje de sólidos (%S) en interacción muestran una alta influencia sobre los resultados referidos a la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita). Siendo la variable A (xantato Z6/Z11) la que muestra un mayor valor de Pareto mostrando una mayor significancia.

Cálculo Del Modelo Matemático

En la siguiente tabla se muestran los valores de la desviación estándar y el R-cuadrado.

Tabla 20 Desviación estándar y el R-cuadrado

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.00407	99.10%	96.86%	69.92%

Nota. Elaboración Propia

Coefficientes codificados del modelo matemático

Tabla 21 Coeficientes del modelo matemático, etapa de optimización

TERMINO	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	26,654	0,71	37,54	0,001	
XANTATO Z6/Z11	7,425	0,58	12,81	0,006	1
%S	-3,643	0,58	-6,28	0,024	1
XANTATO Z6/Z11*XANTATO Z6/Z11	-2,23	1	-2,22	0,157	1,12
%S*%S	-1,93	1	-1,92	0,195	1,13
XANTATO Z6/Z11*%S	-3,87	1,16	-3,34	0,079	1

Nota. Elaboración Propia

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Tabla Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\% \text{ REC Fe} = -28195 + 9,60 \text{ XANTATO Z6/Z11} + 1864 \%S - 0,000890 \text{ XANTATO Z6/Z11} \text{ XANTATO Z6/Z11} - 30,8 \%S* \%S - 0,3094 \text{ XANTATO Z6/Z11}* \%S$$

Nota. Elaboración Propia

Análisis de Residuos

En la siguiente figura se puede observar la gráfica de probabilidad normal, observándose que los puntos siguen una línea recta indicándonos que los residuos se distribuyen normalmente.

Figura 12 *Análisis de graficas de residuo*



Nota. Elaboración Propia

Aplicación de T-Student

Tabla 22 *Aplicación de grado de significancia de cada variable T-Student*

TERMINO	Valor T
Constante	37,54
XANTATO Z6/Z11	12,81
%S	-6,28
XANTATO Z6/Z11*XANTATO Z6/Z11	-2,22
%S*%S	-1,92
XANTATO Z6/Z11*%S	-3,34

Nota. Elaboración Propia

Analizando los resultados del estadístico t-student donde se considera para 8 pruebas a un nivel de confianza del 95% un valor de t-student de tabla de 1,86. Los resultados obtenidos para el xantato nos dan un valor de T- student de 12,81 lo cual nos indica que tienen un alto nivel de significancia sobre la recuperación de %Fe (pirita y arsenopirita).

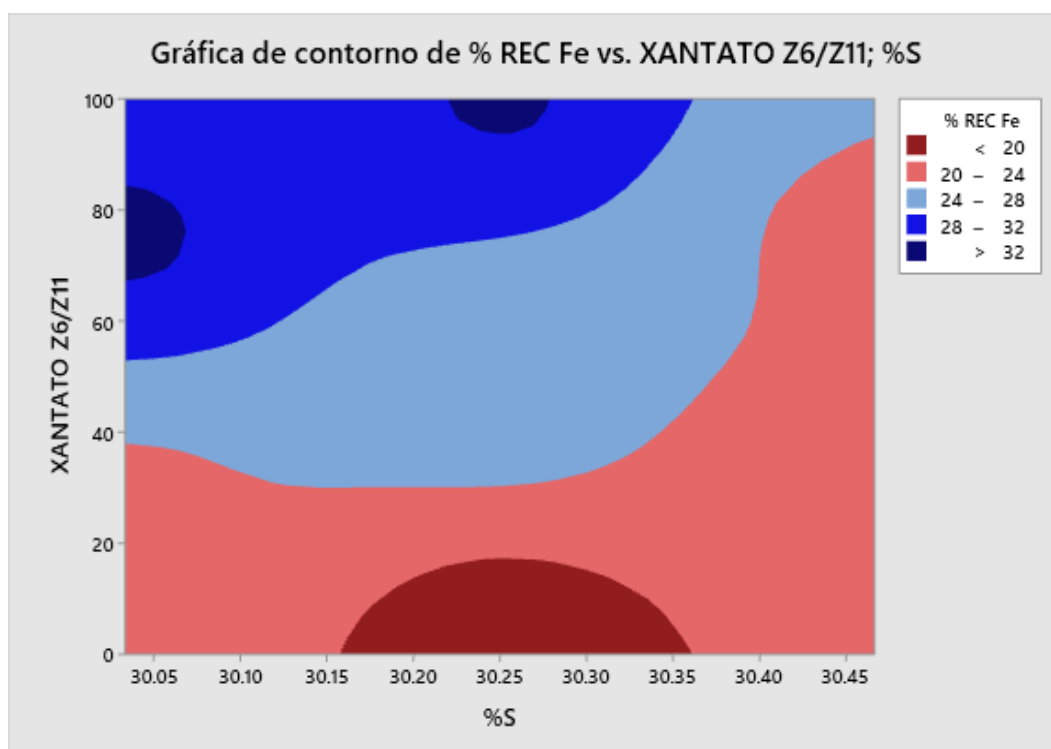
Tabla 23 Aplicación del T-Student analizando el T de tabla

TERMINO	Valor T
XANTATO Z6/Z11	12,81

Nota. Elaboración Propia

La variable xantato Z6/Z11 cumple la condición de ser mayor al t-student estadístico por lo cual se considera al xantato como influyente en la recuperación de hierro (%Fe Recup.) de pirita y arsenopirita.

Figura 13 Gráfica de Contorno %Rec Fe vs xantato Z6 y el % S



Nota. Elaboración Propia

La grafica de contorno nos muestra que las recuperaciones mayores 32% se dan cuando se tiene un 100% de Xantato Z6.

Optimización de respuesta: % Recuperación de Fe

Parámetros

Tabla 24 Recuperación del hierro - parámetros

RESPUESTA	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
% REC Fe	Máximo	16,446	32,6389		1	1

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo con los parámetros establecidos para lo optimización del diseño se tiene como respuesta al porcentaje de recuperación de hierro (%REC. Fe), donde nuestra recuperación inferior será de 16,44% nuestro objetivo es 32,6389%.

Solución

Tabla 25 Ajuste de recuperación del Fe

SOLUCIÓN	XANTATO Z6/Z11	%S	% REC Fe Ajuste	Deseabilidad Compuesta
1	100	30,0335	36,9137	1

Nota. Elaboración Propia

Predicción de respuesta múltiple

Tabla 26 Predicción de respuesta múltiple

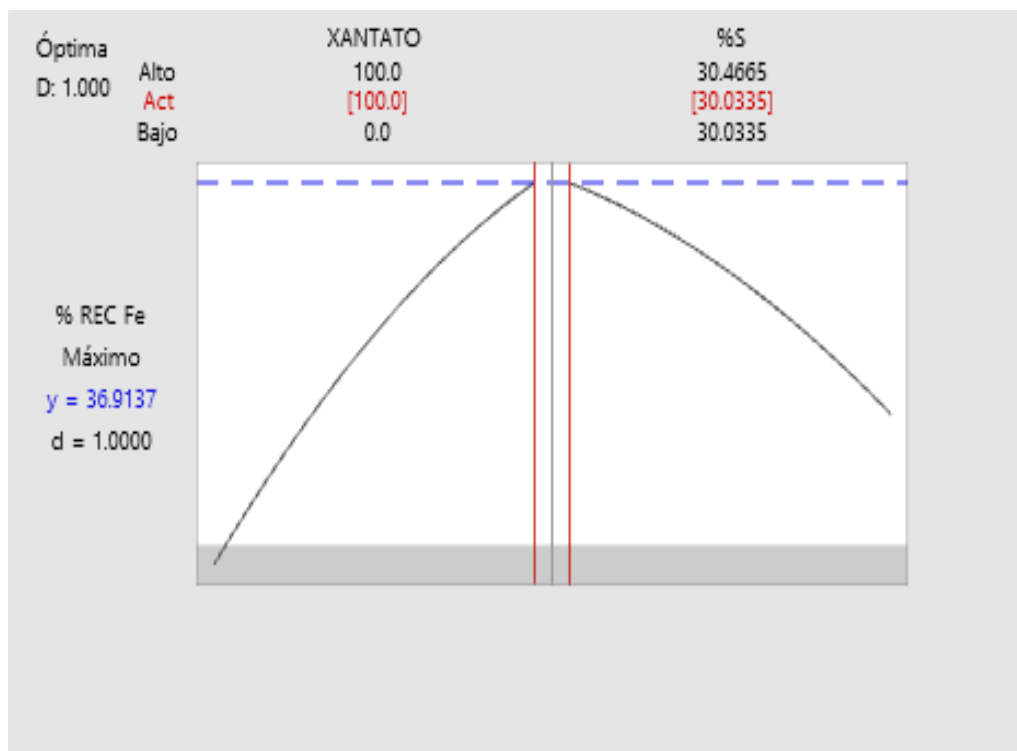
VARIABLE	Valor de Configuración			
XANTATO Z6/Z11	100			
%S	30,0335			
RESPUESTA	Ajuste	EE de Ajuste	IC de 95%	IP de 95%
% REC Fe	36,91	1,55	(30.23; 43.60)	(28.95; 44.87)

Nota. Elaboración Propia

La solución planteada en la optimización del diseño nos muestra una predicción de 36.91% recuperación de Fe. Para lo cual es necesario que las variables xantato Z6/Z11 (mezcla de xantatos) debe de tener un 100% de Z6 debido a que la interacción del xantato Z11 no es influyente en la recuperación de hierro (Fe), y el porcentaje de sólidos debe ser de 30.0335.

Grafica de factoriales

Figura 14 *Máxima recuperación del Fe*



Nota. Elaboración Propia

4.3. Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis es un procedimiento estadístico utilizado para tomar decisiones basadas en datos muestrales. Se usa para evaluar si una afirmación sobre una población es compatible con la evidencia proporcionada por una muestra. Este proceso implica formular dos hipótesis contradictorias y determinar cuál de ellas es más plausible en función de los datos obtenidos.

La prueba de hipótesis se convierte en el pilar que moldea el diseño y proporciona respuesta al verdadero interrogante de la investigación. A continuación, se expone la hipótesis de investigación.

(Ho) Hipótesis Nula

Efecto del Z6 y Z11 no favorece significativamente en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa.

(Ha) Hipótesis Alterna

Efecto del Z6 y Z11 favorece significativamente en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa.

Valor crítico de significancia

Nivel de confianza 95%

$\alpha = 0,05$

La prueba de hipótesis se lleva a cabo mediante pruebas metalúrgicas de flotación Batch evaluando las variables del proceso de flotación de piritas y arsenopiritas, con el cual se desarrolla el análisis de la varianza que sirve para comprobar la hipótesis si un factor tiene influencia sobre la respuesta.

1. Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del xantato

Análisis de la varianza (ANOVA)

Tabla 27 Análisis de Varianza para comprobar la hipótesis del xantato

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Xantato	1	337,311	337,311	356,02	0.034

Nota. Elaboración Propia

Prueba

Hipótesis nula = $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna = $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Tabla 28 Valor de "p" para comprobar la hipótesis del xantato

TERMINO	Valor T	GL	Valor p
Xantato	18,87	1	0,034

Nota. Elaboración Propia

Valor de decisión ($P > \alpha$, Se acepta la H_a)

Del análisis de varianza tenemos: $P=0,034$

$P=0,034 < \alpha=0,05$

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión

- Afirmamos que el Xantato tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de recuperación de Fe (pirita y arsenopirita), con un nivel de significancia de 0,05%.
- El valor de "p" obtenido para el xantato es 0,034 lo cual es menor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y concluimos que el xantato tiene un efecto significativo en la recuperación de Fe (pirita y arsenopirita).

2. Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del CuSO_4

Tabla 29 Análisis de Varianza para comprobar la hipótesis del CuSO_4

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CuSO_4	1	13,955	13,955	14,73	0.162

Nota. Elaboración Propia

Prueba

Hipótesis nula = $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna = $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Tabla 30 Valor de "p" para comprobar la hipótesis del CuSO₄

TERMINO	Valor T	GL	Valor p
CuSO ₄	-3,84	1	0.162

Nota. Elaboración Propia

Valor de decisión (P < α, Se rechaza la Ha)

Del análisis de varianza tenemos: P=0,162

P=0,162 > α=0,05

Decisión

Se acepta la hipótesis nula.

Conclusión

- Rechazamos que el CuSO₄ tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de recuperación de Fe (pirita y arsenopirita), con un nivel de significancia de 0,5%.
- El valor de "p" obtenido para el CuSO₄ es 0,162 lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y concluimos que el CuSO₄ no tiene un efecto significativo en la recuperación de Fe (pirita y arsenopirita).

3. Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del PH

Tabla 31 Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del PH

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
pH	1	16,21	16,21	17,11	0,151

Nota. Elaboración Propia

Prueba

Hipótesis nula = H₀: μ₁ - μ₂ = 0

Hipótesis alterna = H₁: μ₁ - μ₂ ≠ 0

Tabla 32 Valor de "p" para comprobar la hipótesis del PH

TERMINO	Valor T	GL	Valor p
pH	-4,14	1	0,151

Nota. Elaboración Propia

Valor de decisión ($P < \alpha$, Se rechaza la H_a)

Del análisis de varianza tenemos: $P=0,151$

$P=0,151 > \alpha=0,05$

Decisión

Se acepta la hipótesis nula.

Conclusión

- Rechazamos que el PH tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de recuperación de Fe (pirita y arsenopirita), con un nivel de significancia de 0,05%.
- El valor de "p" obtenido para el PH es 0,151 lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y concluimos que el PH no tiene un efecto significativo en la recuperación de Fe (pirita y arsenopirita).

4. Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del porcentaje en solidos %S

Tabla 33 Análisis de varianza para comprobar la hipótesis del %S

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%S	1	6,466	6,466	6,82	0.233

Nota. Elaboración Propia

Prueba

Hipótesis nula = $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna = $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Tabla 34 Valor de "p" para comprobar la hipótesis del %S

TERMINO	Valor T	GL	Valor p
%S	-2,61	1	0,233

Nota. Elaboración Propia

Valor de decisión ($P < \alpha$, Se rechaza la H_a)

Del análisis de varianza tenemos: $P=0,233$

$P=0,233 > \alpha=0,05$

Decisión

Se acepta la hipótesis nula.

Conclusión

- Rechazamos que el porcentaje en sólidos (%S) tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de recuperación de Fe (pirita y arsenopirita), con un nivel de significancia de 0,05%.
- El valor de "p" obtenido para el porcentaje en sólidos (%S) es 0,233 lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y concluimos que el porcentaje de sólidos (S%) no tiene un efecto significativo en la recuperación de Fe (pirita y arsenopirita).

4.4. Discusión de Resultados

En esta investigación, se evaluó el proceso de flotación para la recuperación de pirita y arsenopirita de los relaves de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de flotación realizadas sobre el relave de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa, se puede concluir que la hipótesis alternativa, que establece que el efecto del Z6 y Z11 favorece significativamente la recuperación de pirita y arsenopirita, es aceptada. Los resultados

obtenidos muestran que tanto el reactivo Z6 como el Z11 tienen un impacto positivo en la recuperación de pirita y arsenopirita en comparación con otros reactivos o condiciones experimentales evaluadas.

La evidencia de que estos reactivos mejoraron la eficiencia del proceso de flotación en relación con la recuperación de estos minerales sugiere que, al ser utilizados en las proporciones y condiciones adecuadas, los reactivos Z6 y Z11 tienen un papel determinante en la optimización del tratamiento de los relaves provenientes de la relavera. Este hallazgo es consistente con las conclusiones de investigaciones previas, como las de García & Guzmán (2019) y Salazar et al. (2022), que también destacaron la importancia de la selección de reactivos para la flotación eficaz de sulfuros auríferos, como la pirita y la arsenopirita.

Comparación con estudios previos

En comparación con los trabajos realizados por García & Guzmán (2019), quienes destacaron el papel de la combinación de reactivos en la recuperación de metales preciosos, nuestros resultados muestran que el uso de los reactivos Z6 y Z11 podría ser un avance en la optimización del proceso de flotación de pirita y arsenopirita en relaves similares. Además, Salazar et al. (2022), al trabajar con residuos similares, también sugirió que el manejo adecuado de los reactivos es clave para la recuperación eficiente de metales preciosos, lo que valida nuestras conclusiones sobre la efectividad de los reactivos Z6 y Z11 en este proceso. Los resultados obtenidos no solo apoyan la hipótesis propuesta, sino que también abren nuevas posibilidades para la mejora de la eficiencia de los procesos de flotación en relaves auríferos, como los de la relavera Santa María. La implementación de los reactivos Z6 y Z11 podría ser una alternativa viable para optimizar la recuperación de pirita y arsenopirita, lo que representa una

mejora en la recuperación de metales preciosos y una posible reducción de los impactos ambientales derivados del manejo de los relaves.

Resultados Obtenidos

- Los resultados obtenidos de las pruebas de flotación Batch del diseño factorial fraccionado donde se evaluaron las variables: Xantato, CuSO_4 , PH, Porcentaje de solidos con las muestras de relave Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A., muestran que la variable más influyente sobre la recuperación de piritas y arsenopiritas es la variable xantato. Los resultados del análisis de la varianza muestran un valor de “p” 0,034 para el xantato y un T-student de 18,87 contrastando la influencia que tiene sobre la recuperación de pirita y arsenopirita. Así mismo los resultados muestran que las otras variables tales como el CuSO_4 PH, Porcentaje de solidos no son influyentes sobre la recuperación de pirita y arsenopirita Debido a que los resultados de “P” son mayores alfa (0,05) y el T- student de estas variables son menores al T- student de tabla (1,81). Sin embargo, la interacción del xantato* porcentaje de solidos tienen un T student de 3,4 por lo cual se considera el porcentaje solidos (%s) como la variable acompañante para el diseño de optimización.

Tabla 35 Resultados de las pruebas de diseño factorial fraccionado – variables

PRUEBAS METALURGICAS	ENSAYES	RECUPERACIONES	VARIABLES			
	Fe%	%Fe	XANTATO	CuSO ₄	pH	%S
PM1	19,37	46,17	10	50	6	30
PM2	27,83	65,19	20	100	6	35
PM3	25,76	44,95	10	50	6,7	35
PM4	27,83	64,17	20	100	6,7	30
PM5	24,64	41,47	10	50	6	35
PM6	20,31	59,53	20	100	6	30
PM7	18,11	48,52	10	50	6,7	30
PM8	12,99	51,87	20	100	6,7	35
PM9	22,76	48,51	15	75	6,35	32,5
PM10	13,67	49,89	15	75	6,35	32,5

Nota. Elaboración Propia

Tabla 36 Resultados del ANOVA del diseño factorial fraccionado

RESULTADOS DEL ANOVA DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO

ANOVA	Valor "p"	"t" - student
XANTATO	0,034	18,87
CuSO4	0,162	-3,84
PH	0,151	-4,14
%S	0,233	-2,61

Nota. Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. Los resultados de las pruebas de flotación Batch en el diseño factorial nos indican que el xantato es la variable más influyente sobre las recuperaciones de piritas y arsenopiritas, considerando al porcentaje de solidos(%S) como la variable acompañante para la optimización de las mezclas de Z6/Z11 mediante un diseño hexagonal para la etapa de optimización.
2. Los resultados del diseño hexagonal con el cual se busca determinar la proporción óptima entre los xantato Z6 y Z11 en una mezcla con la cual se pueda mejorar las recuperaciones de Hierro las cuales contiene piritas y arsenopiritas estos resultados indica que la proporción óptima xantato Z6/Z11 (mezcla de xantatos) debe de tener un 100% de Z6 debido a que la interacción del xantato Z11 no es influyente en la recuperación de hierro (Fe) , y el porcentaje de solidos debe ser de 30.0335 para alcanzar una recuperación de 32% de acuerdo a la predicción del modelo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar evaluaciones donde se considere evaluar el efecto de la concentración de la mezcla de xantatos (Z6/Z11) sobre las recuperaciones hierro la cual contienen de piritas y arsenopiritas.
2. Se recomienda evaluar reactivos orgánicos alternos al sulfato de cobre para mejorar la activación de hierro.
3. Se recomienda llevar a cabo pruebas adicionales a escala piloto o industrial para validar los resultados obtenidos en el laboratorio. Esto permitirá confirmar la eficacia y viabilidad de las condiciones óptimas de flotación encontradas.
4. Además de los xantatos Z6 y Z11, se recomienda investigar el efecto de otros parámetros relevantes en el proceso de flotación, como la granulometría de la alimentación, el pH del medio, la densidad de pulpa, entre otros. Esto podría proporcionar una comprensión más completa de los factores que influyen en las recuperaciones de hierro y ayudar a optimizar aún más el proceso.
 - Al seguir estas recomendaciones, se espera que se pueda avanzar en la optimización del proceso de flotación de piritas y arsenopiritas, contribuyendo así a mejorar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ágora, M. (3 de Enero de 2012). *Ágora*. Obtenido de Tratamiento estadístico de los datos:
<https://mercedes-agora.blogspot.com/2012/01/tratamiento-estadistico-de-los-datos.html>
- Arispe Alburqueque, C. M., & Yangali Vicente, J. S. (Octubre de 2020). *Repositorio Digital UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ECUADOR*. (U. I. Ecuador, Ed.) Obtenido de Investigación Científica:
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4310/1/LA%20INVESTIGACION%20CIENTIFICA.pdf>
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: San Marcos. Obtenido de
https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1
- Cevallos Álvarez, J. F., & González Guzmán, S. P. (2022). Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de oro mediante el proceso de flotación, en la relavera de la Empresa PRODUMIN S.A., Ponce Enríquez – Azuay. *Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de oro mediante el proceso de flotación, en la relavera de la Empresa PRODUMIN S.A., Ponce Enríquez – Azuay*. Universidad del Azuay, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11620/1/17149.pdf>
- Estrada Pardo, K. H., & Torres Coca, J. J. (2020). Tratamiento de minerales metamórficas para la flotación de menas auríferos a nivel experimental en la Planta Geza Minerales ASIS - 2019. *Tratamiento de minerales metamórficas para la flotación de menas auríferos a nivel experimental en la Planta Geza Minerales ASIS - 2019*. Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión, Huacho. Obtenido de

<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4393/ESTRADA%20y%20TORRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernandez Ramos, F. E. (2020). Evaluación del proceso de flotación de oro y plata en la compañía minera Tocadulomo S.A. *Evaluación del proceso de flotación de oro y plata en la compañía minera Tocadulomo S.A.* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho. Obtenido de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/5165/FLOR%20ELIZABETH%20FERNANDEZ%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García Félix, C. S., & Guzmán Félix, C. E. (2019). Estudio de la flotación de piritas auríferas utilizando diferentes colectores y espumantes para la Unidad Minera Fresnillo PLC. *Estudio de la flotación de piritas auríferas utilizando diferentes colectores y espumantes para la Unidad Minera Fresnillo PLC.* Instituto Politécnico Nacional, Zacatecas. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30403/Estudio%20de%20la%20flotaci%C3%B3n%20de%20piritas%20aur%C3%ADferas%20utilizando%20diferentes%20colectores%20y%20espumantes%20para%20la%20Unidad%20Minera%20Fresnillo%20PLC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutiérrez Falcón, L. S., & Otiniano Cáceres, M. E. (2017). Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro. *Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6616/Gutierrez_fl.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Hernandez Coca, G. (Diciembre de 2017). *Método Analítico*. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/b_huejutla/2017/Metodo_Analitico.pdf

Huaman Nina, A. (2015). *Academia.edu*. Obtenido de FLOTACION BULK Recuperacion de todas las especies valiosas (oro, plomo, plata, zinc, cobre, etc.) en un solo producto llamado Concentrado Bulk. REACTIVOS DE FLOTACION: https://www.academia.edu/4229900/FLOTACION_BULK_Recuperacion_de_todas_las_especies_valiosas_oro_plomo_plata_zinc_cobre_etc_en_un_solo_producto_llamado_Concentrado_Bulk_REACTIVOS_DE_FLOTACION

Manzaneda Cabala, J. (2000). *CONCEPTOS SOBRE LA APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL*. Lima: Impreso en Perú.

MJ, J. (9 de Agosto de 2017). *Academia.edu*. Obtenido de Reactivos usados en la flotación: https://www.academia.edu/34174146/REACTIVOS_USADOS_EN_LA_FLOTACION_C3%93N_pdf

Monte, M., Dutra, A., Albuquerque, C., Tondo, L., & Lins, F. (Diciembre de 2002). La influencia del estado de oxidación de pirita y arsenopirita en la flotación de un mineral sulfurado aurífero. *Ingeniería de Minerales*, 1113-1120. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687502001772>

Quijua, A. (2018). *FLOTACION DE MINERALES - TECSUP*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/136880969/Flotacion-de-Minerales-Separacion-Solido-Solido>

Romero Bonilla, H. I., Romero Sagbay, D. A., & Redrovan Pesante, F. F. (2019). Efecto de la Variación de los Colectores Z6, 404 y 1208 en la Flotación a Granel de Pirita y Arsenopirita Aurífera. *Revista Boliviana de Química*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4263/426360705002/html/>

Ruiz, L. J. (2019). *INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL*. Obtenido de [https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-](https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Investigaci%C3%B3n-experimental.pdf)

[content/uploads/2019/01/Investigaci%C3%B3n-experimental.pdf](https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Investigaci%C3%B3n-experimental.pdf)

Salazar Hernández, M., Corona Arroyo, M. A., Caudillo González, M., & Elorza Rodríguez,

E. (2022). Flotación colectiva pirita-arsenopirita-oro de los residuos de Noche Buena,

Zac., y su separación en concentrados pirita-oro y arsenopirita. *XX Encuentro Sobre*

Procesamiento de Minerales. Obtenido de

<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/8039/PonenciaIM.2>

[022.Flotaci%C3%B3n.Elorza.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/8039/PonenciaIM.2)

Universidad Veracruzana. (2015). *Introduccion a la investigacion: Guia Interactiva*. Obtenido

de Descripción de los tipos de investigación:

<https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>

ANEXOS

Figura 15 Registro de asistencia

D	DEPENDENCIA				AGOSTO			
	FECHA	MAÑANA		INGRESO	SALIDA	INGRESO	SALIDA	
		INGRESO	SALIDA					
01-0	01-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
02-0	02-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
03-0	02-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
04-0	03-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
05-0	04-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
06-0	07-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
07-0	08-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
08-0	09-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
09-0	10-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
10-0	11-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
11-0	12-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	
12-0	13-08-2023	8:00	12:30	8:00	12:30	2:30	5:30	

Figura 16 *Pesado de muestra relave santa maría*



Figura 17 Preparación de reactivos xantato Z6 (xantato amílico de potasio)



Figura 18 Preparación de reactivos sulfato de cobre (CuSO_4)



Figura 19 Preparación de reactivos xantato Z11 (xantato isopropílico de sodio)



Figura 20 Dilución del sulfato de cobre (CuSO_4)



Figura 21 Dilución del xantato Z6 (xantato amílico de potasio)

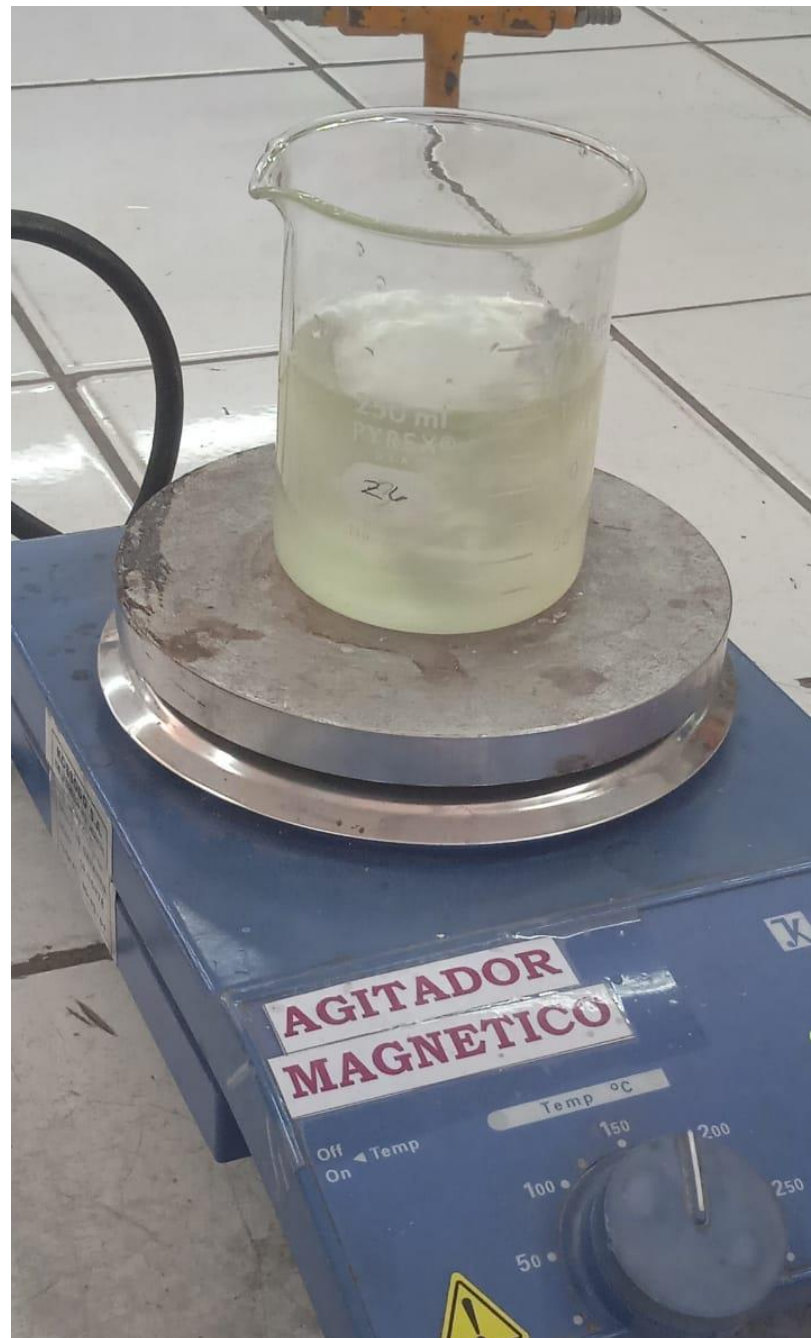


Figura 22 Dilución del xantato Z11 (xantato isopropílico de sodio)

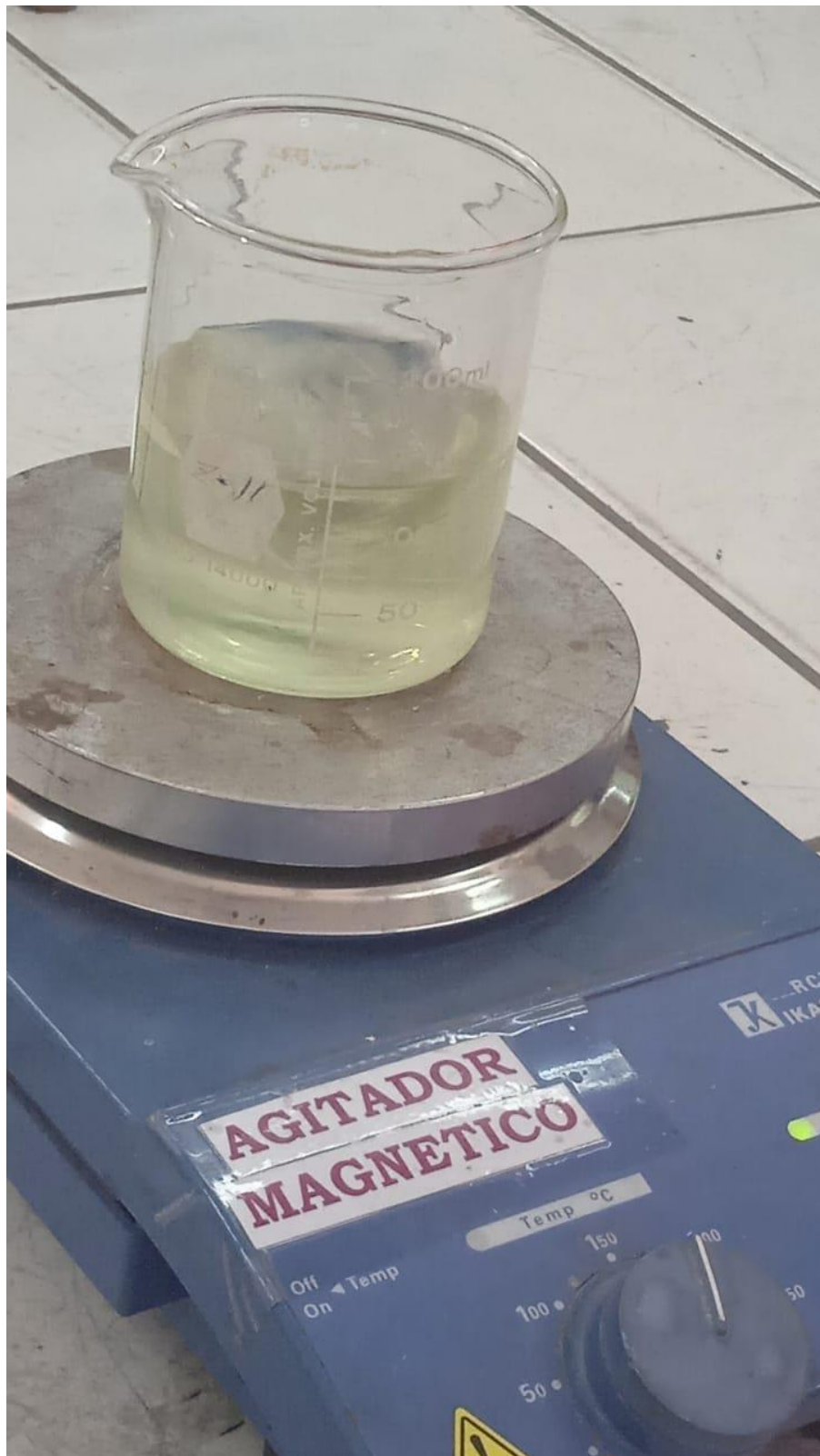


Figura 23 Adición del Z6 para coleccionar partículas



Figura 24 Adición del CuSO_4 - para la activación de los sulfuros



Figura 25 *Obtención del concentrado pirita - arsenopirita*



Figura 26 *Plateo del concentrado*



Figura 27 *Etapa de filtrado*



Figura 28 *Muestra de relave filtrada*

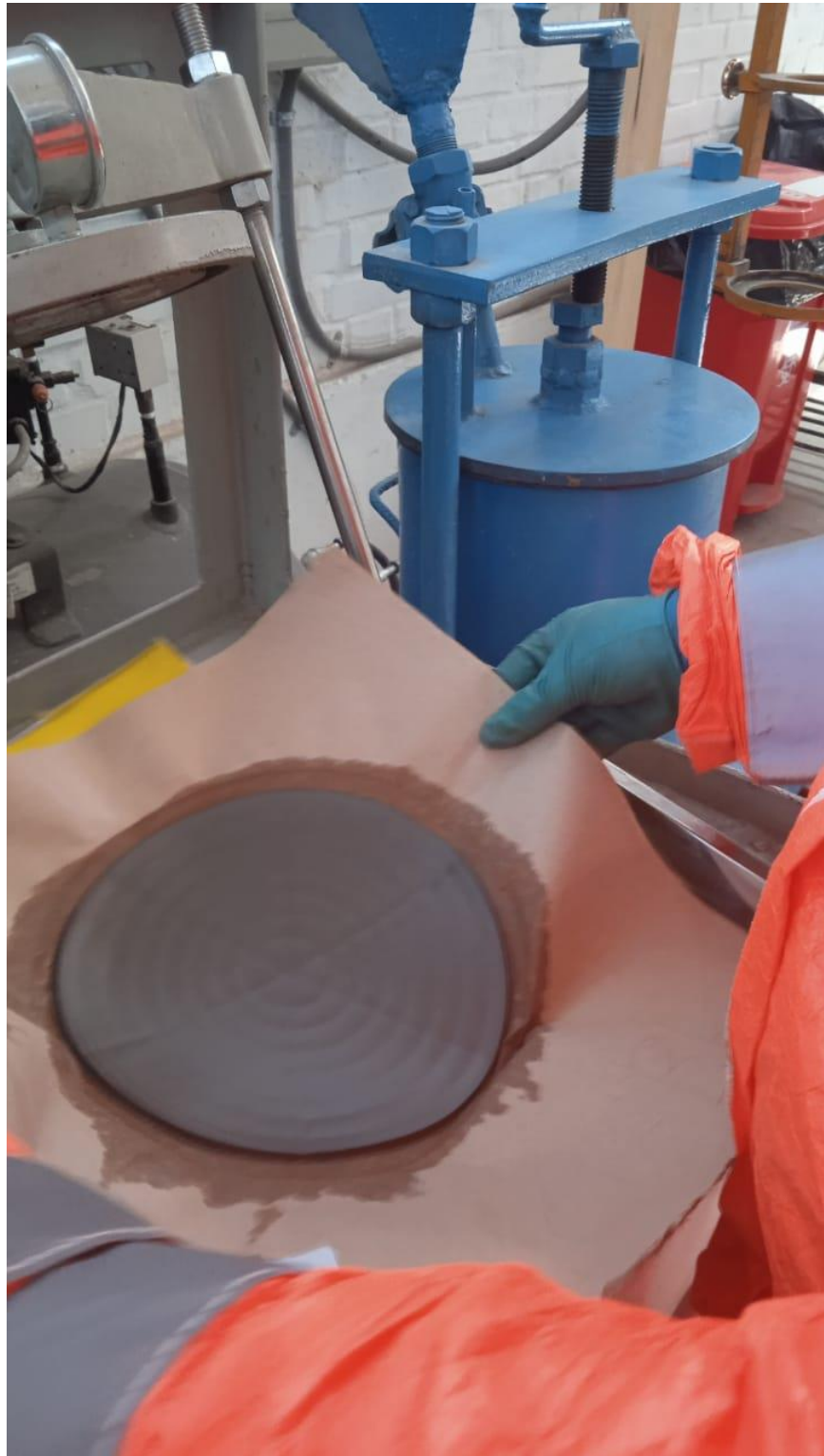


Figura 29 *Muestra de concentrado filtrada*

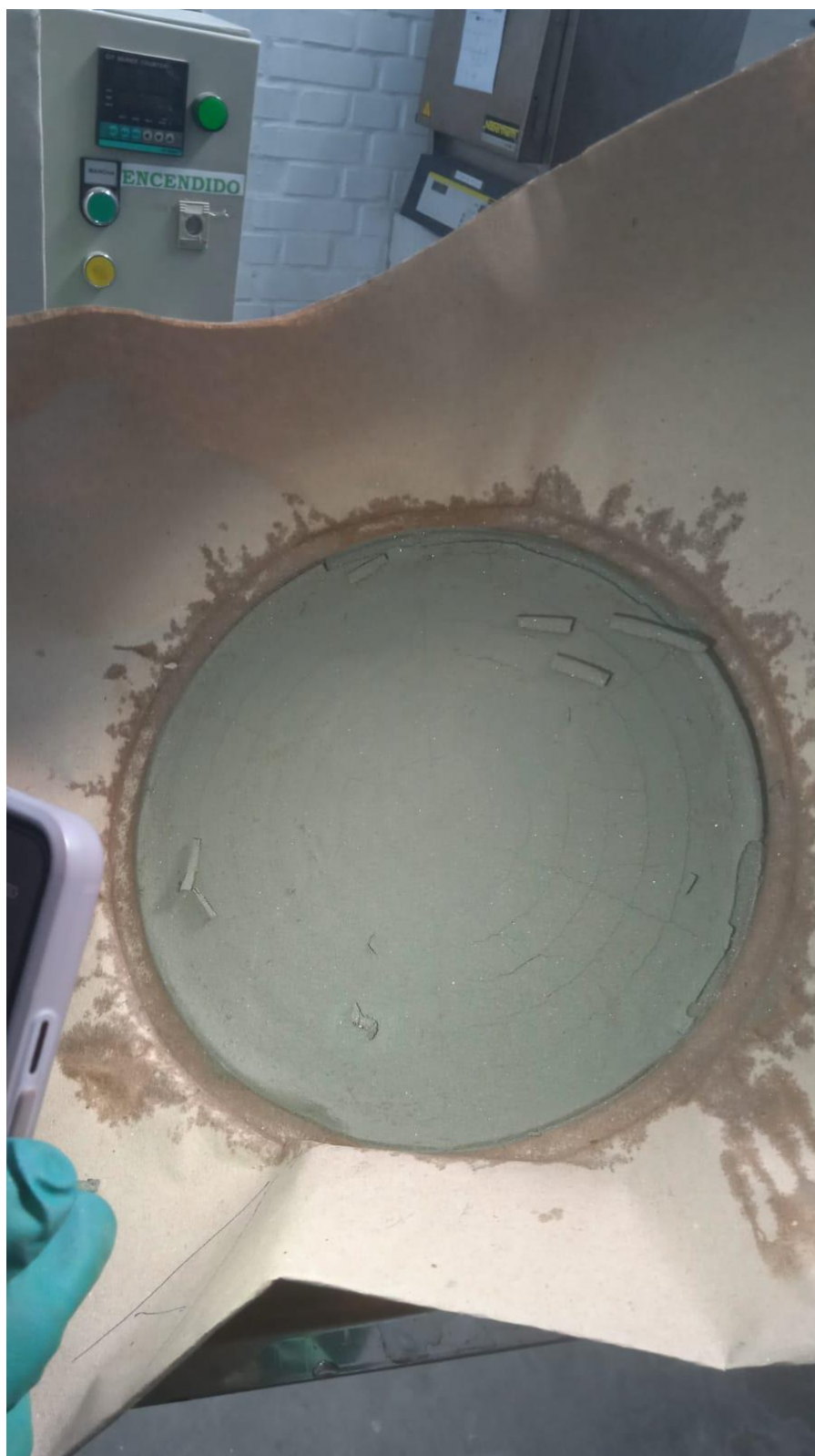


Figura 30 *Muestras secadas*



Figura 31 Obtención y preparación de muestras para análisis químico



Figura 32 Prueba Metalúrgica 1 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	4.68	19.37	12.68
Relave 3°CI-Bk	13.17	14.88	27.42
Relave 2°CI-Bk	3.80	13.18	7.01
Relave 1°CI-Bk	2.02	11.89	3.36
Relave Final	76.33	4.64	49.53
Cab Cal.	100.00	7.15	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	17.04	19.37	46.17
Relave	82.96	4.64	53.83
Cab Cal.	100	7.15	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 33 Prueba Metalúrgica 2 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	6.71	27.83	23.14
Relave 3°Cl-Bk	18.97	16.67	39.18
Relave 2°Cl-Bk	3.88	10.63	5.11
Relave 1°Cl-Bk	2.75	10.31	3.51
Relave Final	67.69	3.46	29.05
Cab Cal.	100.00	8.07	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	18.90	27.83	65.19
Relave	81.10	3.46	34.81
Cab Cal.	100	8.07	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 34 Prueba Metalúrgica 3 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	5.22	25.76	17.15
Relave 3°Ci-Bk	13.38	15.35	26.20
Relave 2°Ci-Bk	3.43	11.52	5.04
Relave 1°Ci-Bk	2.98	9.94	3.78
Relave Final	74.99	5.00	47.83
Cab Cal.	100.00	7.84	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	13.68	25.76	44.95
Relave	86.32	5.00	55.05
Cab Cal.	100	7.84	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 35 Prueba Metalúrgica 4 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	7.82	19.02	20.95
Relave 3°Cl-Bk	14.67	14.30	29.55
Relave 2°Cl-Bk	4.12	11.11	6.45
Relave 1°Cl-Bk	3.07	9.85	4.26
Relave Final	70.32	3.92	38.79
Cab Cal.	100.00	7.10	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	21.08	19.02	56.46
Relave	78.92	3.92	43.54
Cab Cal.	100.00	7.10	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 36 Prueba Metalúrgica 5 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	4.26	24.64	13.65
Relave 3°Cl-Bk	13.96	14.27	25.90
Relave 2°Cl-Bk	4.09	11.81	6.28
Relave 1°Cl-Bk	2.76	10.58	3.80
Relave Final	74.93	5.17	50.38
Cab Cal.	100.00	7.69	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	12.95	24.64	41.47
Relave	87.05	5.17	58.53
Cab Cal.	100	7.69	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 37 Prueba Metalúrgica 6 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	7.03	20.31	20.56
Relave 3°Cl-Bk	16.01	14.44	33.31
Relave 2°Cl-Bk	5.48	9.63	7.60
Relave 1°Cl-Bk	2.74	9.12	3.60
Relave Final	68.74	3.53	34.93
Cab Cal.	100.00	6.94	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	20.35	20.31	59.53
Relave	79.65	3.53	40.47
Cab Cal.	100	6.94	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 38 Prueba Metalúrgica 7 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	5.57	18.11	14.91
Relave 3°CI-Bk	10.93	15.89	25.67
Relave 2°CI-Bk	3.98	11.65	6.85
Relave 1°CI-Bk	3.03	9.98	4.47
Relave Final	76.49	4.26	48.10
Cab Cal.	100.00	6.77	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	18.13	18.11	48.52
Relave	81.87	4.26	51.48
Cab Cal.	100	6.77	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 39 Prueba Metalúrgica 8 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	5.62	12.99	10.82
Relave 3°Cl-Bk	14.33	14.80	31.45
Relave 2°Cl-Bk	3.29	11.10	5.41
Relave 1°Cl-Bk	2.16	9.90	3.17
Relave Final	74.60	4.44	49.15
Cab Cal.	100.00	6.75	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	26.94	12.99	51.87
Relave	73.06	4.44	48.13
Cab Cal.	100	6.75	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 40 Prueba Metalúrgica 9 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	4.63	22.76	14.06
Relave 3°CI-Bk	14.54	15.63	30.32
Relave 2°CI-Bk	4.03	11.75	6.32
Relave 1°CI-Bk	2.93	10.33	4.04
Relave Final	73.87	4.59	45.27
Cab Cal.	100.00	7.49	100.00

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	15.97	22.76	48.51
Relave	84.03	4.59	51.49
Cab Cal.	100	7.49	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 41 Prueba Metalúrgica 10 resultados del diseño factorial fraccionado

Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	4.77	13.67	9.49
Relave 3°Ci-Bk	13.37	13.81	26.88
Relave 2°Ci-Bk	4.26	14.01	8.69
Relave 1°Ci-Bk	2.81	12.02	4.92
Relave Final	74.79	4.59	50.02
Cab Cal.	100.00	6.87	100.00

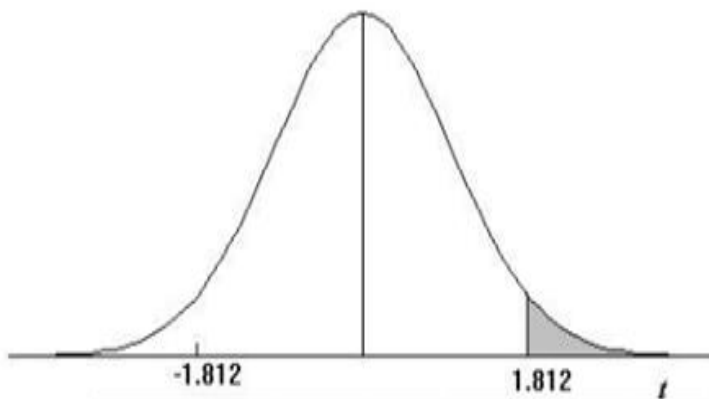
Balance Proyectado	% Peso	Ensayes	Recuperaciones
		Fe%	%Fe
Conc. BK Py/APY	25.07	13.67	49.89
Relave	74.93	4.59	50.11
Cab Cal.	100	6.87	100

Nota. Elaboración Propia

Tabla 37 Tabla de "T"- student

TABLA 2: DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

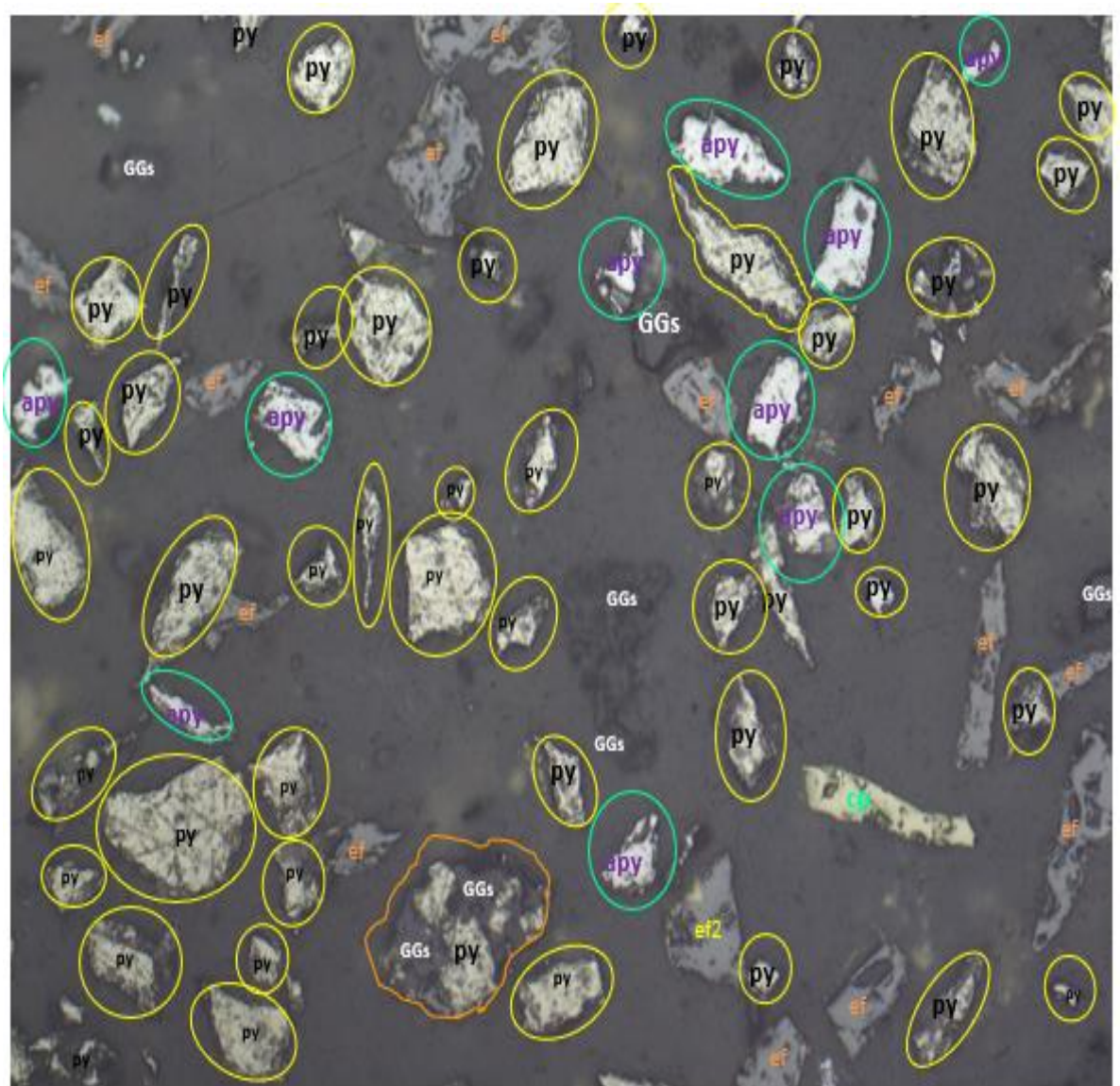
Para $\phi = 10$ grados de libertad:

$$P[t > 1.812] = 0.05$$

$$P[t < -1.812] = 0.05$$

α γ	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850

Figura 42 Caracterización mineralógica concentrado bulk de piritas y arsenopiritas



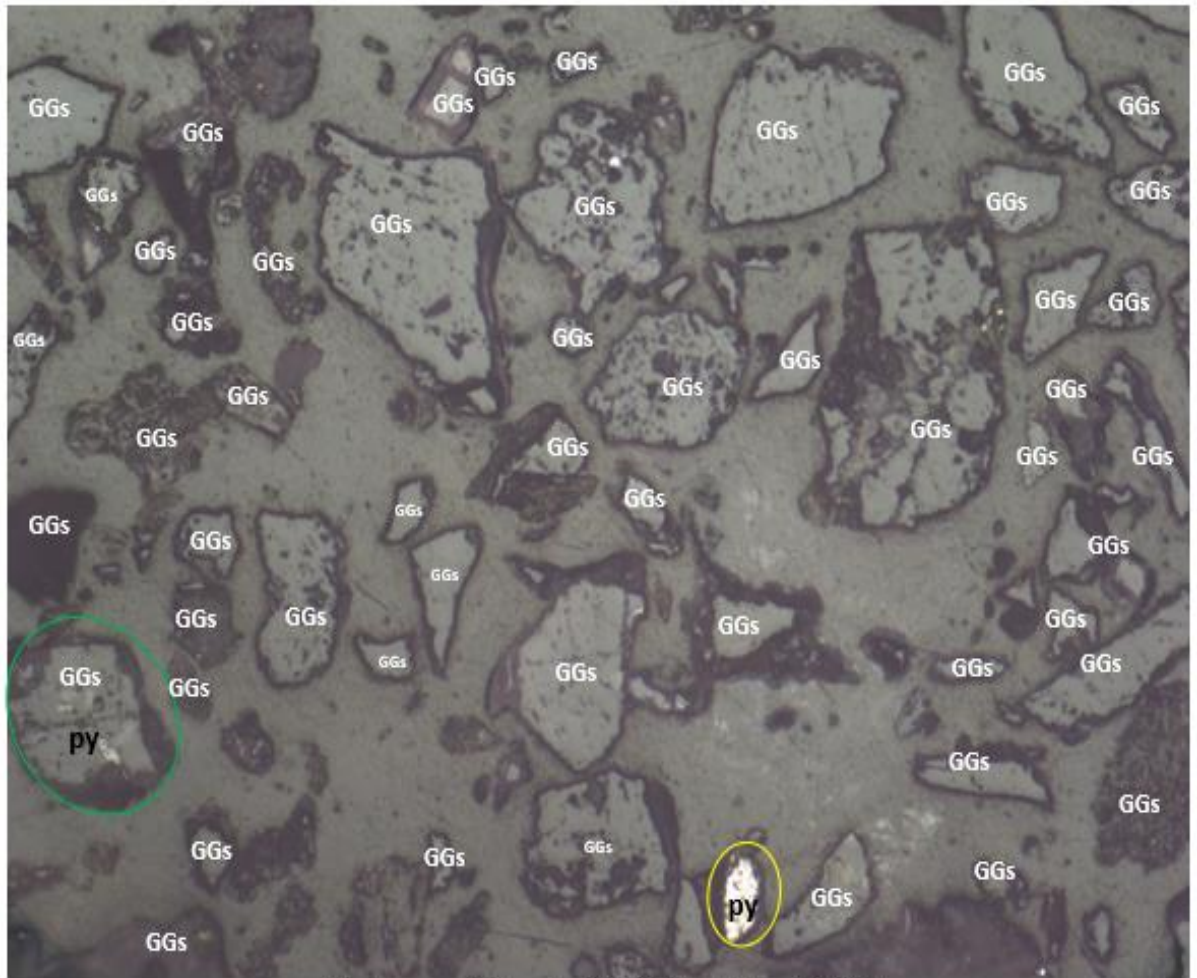
Concentrado Bulk SM Malla +400

En la imagen se observa dentro de las áreas amarillas partículas de pirita libre(py), en las áreas verdes se observan partículas libres de arsenopirita (apy). Completando la vista se observa partículas libres, esfalerita (ef), esfalerita tipo 2 (ef2;esfalerita con inclusiones de calcopirita), calcopirita(cp) y ganga (GGs).

La presencia predominante de pirita y arsenopirita contrastan la calidad del concentrado bulk, la cual es favorable para nuestros objetivos, la presencia de esfaleritas y calcopirita se deben principalmente a la respuesta que muestran estos a la flotación de sulfuros.

Nota. Elaboración Propia

Figura 43 Caracterización mineralógica Relave Final



Relave Final SM Malla +400

En la imagen se observa dentro del área amarilla partícula libre(py) y dentro del área verde una partícula de ganga con inclusiones de pirita(GGs_py) Completando la vista se observa partículas libres ganga (GGs).

La baja presencia de pirita en el relave nos indica la buena recuperación de este valor, a su vez existe una mínima presencia de partículas de gangas con inclusiones de pirita, la cual es favorable debido a que esto no dificultara las recuperaciones por un tema de falta de liberación.

Nota. Elaboración Propia

Tabla 38 Instrumentos de Investigación Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Efecto del Z11 y Z6 en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave de la relavera Santa Maria de la empresa minera Poderosa S.A. - Pasco 2023.	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	Enfoque investigación cuantitativa. Tipo de investigación aplicada - tecnológica. Nivel explicativo
	¿Cuál será el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?	Determinar el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Hay suficiente evidencia estadística para sostener que el efecto del Z6 y Z11 en la recuperación de pirita y arsenopirita del relave de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Efecto	
	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	Xantato Z6 y Z11	
	¿Cuál será el efecto del CuSO ₄ en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?	Determinar el efecto del CuSO ₄ en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener el CuSO ₄ influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023		

	¿Cuál será el efecto del xantato en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?	Determinar el efecto del xantato en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el xantato influyen en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco -2023	VARIABLE DEPENDIENTE	
	¿Cuál será el efecto del Ph en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. – Pasco 2023?	Determinar el efecto del Ph en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el Ph influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Recuperación de piritas y arsenopiritas	
	¿Cuál será el efecto del porcentaje de solidos en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa María de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023?	Determinar el efecto del porcentaje de solidos en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el porcentaje de solidos influye en la recuperación de pirita y arsenopirita de relaves de la relavera Santa Maria de la Empresa Minera Poderosa S.A. - Pasco-2023		