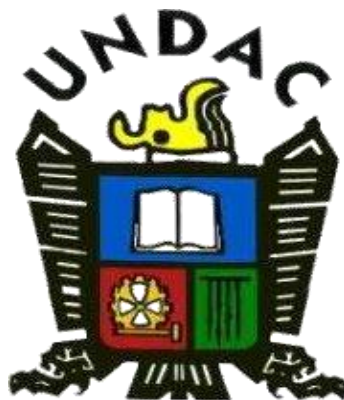


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**METALÚRGICA**



**TESIS**

**Procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo  
y zinc del depósito pampa seca - Paragsha a nivel laboratorio,  
Pasco - 2019**

**Para optar el título profesional de:**

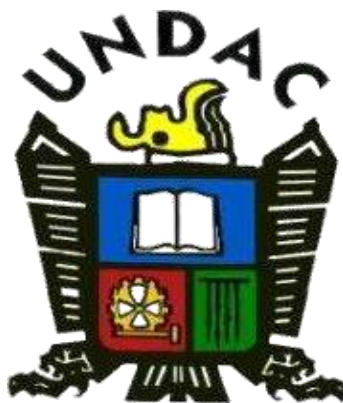
**Ingeniero Metalurgista**

**Autor: Bach. Jordy Antony GALLO BARRETO**

**Asesor: Mg. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2020**

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



**TESIS**

**Procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo  
y zinc del depósito pampa seca - Paragsha a nivel laboratorio,  
Pasco - 2019**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**  
**MIEMBRO**

---

**M.Sc. Ramiro SIUCE BONIFACIO**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

La presente, dedico con mucho orgullo a mis padres que hicieron tal vez lo imposible en mi formación profesional en las aulas universitarias y fue el foco que me dio la luz para culminar exitosamente mi trabajo de tesis, también va mi dedicación a todos mis colegas, amigos y amigas por perseverancia cotidiana.

**GBJA**

## **RECONOCIMIENTO**

Mis agradecimientos a todos los catedráticos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por sabias enseñanzas que hicieron posible para mi formación profesional, ¡GRACIAS!  
¡GRACIAS!

**GBJA**

## RESUMEN

El objetivo fundamental de la presente tesis fue el procesamiento de los minerales marginales; para lo cual se usó definiciones de carácter experimental de flotación por espumas, haciendo uso de reactivos convencionales y reactivo sintetizado por el tesista y el uso de diseños experimentales que sirvieron para la elección de los factores experimentales más significativos, en seguida se usó el método experimental, que consistió en la manipulación directa del proceso de investigación, todo el proceso se hizo diseño factorial fraccionado finalizando con el diseño de compósito central con los factores más significativos del diseño fraccionado, ensayos cumplidos en un pH determinado, obteniendo buenos resultados, de concentración de Pb-Ag 61,57% con Ag del orden de 30,88 onz/ton y una recuperación de 68% y de plata 37,15 onz/ton, la concentración y la recuperación del ZnS fueron 50,74% y 49%; en la mayoría de los casos el valor de P son menores al 5% de nivel de significancia; además los valores tabulados de F son mayor a los valores críticos: por lo tanto, no se corre ningún riesgo de rechazar a la hipótesis nula estadísticamente.

**Palabras clave:** Factores experimentales, diseño factorial, minerales marginales y ANOVA.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis was the processing of marginal minerals; for which experimental definitions of flotation by foams were used, making use of conventional reagents and reagent synthesized by the thesis student and the use of experimental designs that were used to choose the most significant experimental factors, then the experimental method was used , which consisted of the direct manipulation of the research process, the whole process was made fractional factorial design ending with the design of central composite with the most significant factors of the fractional design, tests carried out at a certain pH, obtaining good results, of concentration of Pb-Ag 61.57% with Ag of the order of 30.88 oz / ton and a recovery of 68% and silver 37.15 oz / ton, the concentration and recovery of ZnS were 50.74% and 49%; In most cases the value of P is less than 5% level of significance; In addition, the tabulated values of F are greater than the critical values: therefore, there is no risk of rejecting the null hypothesis statistically.

**Keywords:** Experimental factors, factorial design, marginal minerals and ANOVA.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la minería producen miles de toneladas minerales marginales polimetálicos de baja ley, obteniendo esta producción de los tajos a cielo abierto de explotación, éstos minerales se acumulan a medida que pasan los días, meses y años que no son considerados para su ulterior procesamiento para recuperar minerales comercializables, estas reservas minerales algún día serán procesados y serán rentables económicamente, para ello los responsables directos son los ingenieros metalurgistas, mediante el uso de reactivos alternativos o evaluando a los reactivos existente mediante la correcta combinación o mezcla.

Habiendo realizado las corridas experimentales preliminares, los factores experimentales más importantes seleccionados fueron: Tiempo de molienda; pH; Z-11; cianuro de sodio y MIBC; después de muchos ensayos a estos factores controlables se acompañó con el reactivo asistente llamado PG2000. Por lo tanto, los reactivos de flotación son los componentes y los factores experimentales más importantes en todo proceso de flotación por espumas, la flotación y la investigación no se puede realizar sin la concurrencia de ellos; para la búsqueda continua de soluciones técnicas para la recuperación de plomo, plata y zinc, maximizando la productividad de la operación.

La presente tesis es del tipo aplicativo y experimental basado en los métodos y técnicas científicas, fundamentalmente se usó la técnica de la observación científica y diseños factoriales, finalmente los datos obtenidos mediante los ensayos experimentales se hizo el tratamiento estadístico.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>RECONOCIMIENTO</b>	
<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>ÍNDICE</b>	
<b>LISTA DE TABLAS</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	3
1.2.1. Delimitación teórica. ....	4
1.2.2. Delimitación espacial:.....	4
1.2.3. delimitación temporal.....	5
1.3. Formulación del problema .....	5
1.3.1. Problema principal.....	5
1.3.2. Problemas específicos .....	6
1.4. Formulación de objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. Justificación de la investigación.....	9
1.6. Limitaciones de la investigación .....	11

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO



2.1. Antecedentes de estudio .....	12
2.1.1. Antecedentes de la investigación a nivel internacional.....	12
2.1.2. Antecedentes de la investigación a nivel nacional.....	14
2.2. Bases teóricas – científicas .....	17
2.2.1. Flotación.....	17
2.2.2. Ventajas y desventajas del proceso de minerales.....	19
2.3. Definición de términos básicos .....	19
2.4. Formulación de hipótesis .....	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específicas .....	22
2.5. Identificación de variables.....	22
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	24

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación .....	26
3.2. Métodos de investigación .....	27
3.3. Diseño de investigación .....	28
3.4. Población y muestra .....	29
3.5. Técnica e instrumentos de recolección de datos .....	31
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	32
3.7. Tratamiento estadístico.....	32
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación ..	33
3.8.1. Selección de los instrumentos de investigación. ....	33
3.8.2. Requisitos de los instrumentos de medición .....	33
3.9. Orientación ética.....	34

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	35
4.1.1. Preparación de la muestra.....	35
4.1.2. Caracterización de la muestra.....	35
4.1.3. Selección experimental de factores experimentales.....	36
4.1.4. Flotación bulk de Pb-Ag.....	37
4.1.5. Consideraciones generales para la flotación de ZnS.....	46
4.1.6. Uso del diseño compuesto central (DCC) para optimización de la concentración y recuperación de Pb-Ag.....	55
4.1.7. Plantilla del DCC para optimizar la concentración y recuperación del ZnS.....	68
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	77
4.2.1. Optimización de concentración y recuperación del Pb-Ag.....	77
4.2.2. Optimización de la concentración y recuperación ZnS.....	79
4.2.3. Determinación de las condiciones óptimas del proceso.....	81
4.3. Prueba de hipótesis.....	83
4.3.1. Tipos de hipótesis.....	83
4.3.2. Criterio de rechazo o aceptación a la $H_0$ .....	84
4.3.3. Rechazo a la $H_0$ estadísticamente.....	85
4.4. Discusión de resultados.....	86

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Peso de muestra.....	35
Tabla 2: Análisis de la muestra de cabeza .....	36
Tabla 3: Factores activas y sus niveles para la flotación de Pb-Ag .....	37
Tabla 4: Factores activas y sus niveles para la flotación de ZnS.....	37
Tabla 5: Plantilla de las corridas experimentales .....	39
Tabla 6: Resultados de las corridas experimentales .....	39
Tabla 7: Efectos principales para concentrado de plomo-resumen de análisis	41
Tabla 8: Análisis de varianza para concentrado de plomo.....	41
Tabla 9: Optimizar el concentrado de plomo .....	42
Tabla 10: Efectos principales para recuperación de plomo-resumen de análisis .....	43
Tabla 11: Análisis de varianza para recuperación de plomo.....	44
Tabla 12: Optimizar la recuperación de plomo .....	45
Tabla 13: Plantilla de las corridas experimentales.....	47
Tabla 14: Resultados de las corridas experimentales procesamiento del ZnS.	47
Tabla 15: Efectos principales para la concentración del ZnS-resumen de análisis.....	50
Tabla 16: Análisis de varianza para la concentración de ZnS .....	51
Tabla 17: Optimizar el concentrado de plomo .....	51
Tabla 18: Efectos principales para la recuperación del ZnS-resumen de análisis .....	53
Tabla 19: Análisis de varianza para la recuperación del ZnS .....	54
Tabla 20: Optimizar la recuperación del ZnS.....	55

Tabla 21: Factores de optimización y sus niveles.....	56
Tabla 22: Plantilla de corridas experimentales del DCC .....	56
Tabla 23: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	58
Tabla 24: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	58
Tabla 25: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	58
Tabla 26: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	58
Tabla 27: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	59
Tabla 28: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	59
Tabla 29: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	60
Tabla 30: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	60
Tabla 31: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	60
Tabla 32: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	61
Tabla 33: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente .....	61
Tabla 34: Resultados de las corridas experimentales .....	62

Tabla 35: Análisis de Varianza para Concentrado de Pb - Optimización.....	64
Tabla 36: Análisis de Varianza para Recuperación de Pb – Optimización .....	67
Tabla 37: Factores de optimización y sus niveles.....	69
Tabla 38: Plantilla de corridas experimentales del DCC para la optimización de procesamiento del ZnS .....	70
Tabla 39: Resultados de las corridas experimentales para la optimización del procesamiento del ZnS .....	70
Tabla 40: Análisis de Varianza para Concentrado de ZnS- Optimización .....	73
Tabla 41: Análisis de Varianza para recuperación de ZnS- Optimización .....	76
Tabla 42: Optimizar concentración Pb-Ag .....	82
Tabla 43: Optimizar recuperación Pb-Ag .....	82
Tabla 44: Optimizar Concentración ZnS .....	82
Tabla 45: Optimizar recuperación ZnS .....	82
Tabla 46: Datos estadísticos para concentración de Pb y Ag.....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variables del proceso de flotación .....	37
Figura 2: Diagrama de Pareto para concentrado de plomo .....	40
Figura 3: Efectos principales para concentrado de plomo .....	40
Figura 4: Superficie de respuesta estimada.....	41
Figura 5: Diagrama de Pareto para la recuperación de plomo .....	43
Figura 6: Efectos principales de la recuperación de plomo.....	43
Figura 7: Superficie de respuesta estimada.....	44
Figura 8: Diagrama de Pareto para la concentración de ZnS.....	48
Figura 9: Efectos principales de la concentración de ZnS .....	49
Figura 10: Superficie de respuesta estimada.....	49
Figura 11: Diagrama de Pareto para la recuperación de ZnS.....	52
Figura 12: Efectos principales de la recuperación del ZnS .....	53
Figura 13: Superficie de respuesta estimada.....	53
Figura 14: Diagrama de Pareto de optimización para la concentración de Pb- Ag .....	63
Figura 15: Superficie respuesta estimada de optimización de la Concentración del Pb-Ag .....	65
Figura 16: Diagrama de Pareto de optimización para la recuperación de Pb-Ag .....	66
Figura 17: Superficie respuesta estimada de optimización de la recuperación de Pb-Ag.....	68
Figura 18: Diagrama de Pareto de optimización para la concentración de ZnS. .....	71

Figura 19: Superficie respuesta estimada de optimización de la concentración de ZnS .....	72
Figura 20: Diagrama de Pareto de optimización para la recuperación de ZnS. ....	75
Figura 21: Superficie respuesta estimada de optimización de la recuperación de ZnS .....	75
Figura 22: Límites de tolerancia normal.....	86

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1. Identificación y Determinación del Problema**

Actualmente, la producción de minerales polimetálicos de baja ley por las diferentes compañías mineras es muy alto, obteniendo esta producción de los tajos a cielo abierto de explotación, éstos minerales se acumulan a medida que pasan los días, meses y años que no son considerados para su ulterior procesamiento para recuperar minerales comercializables.

Estas reservas marginales en algún momento de la historia minera serán procesadas para la recuperación de los minerales polimetálicos, mediante el procesamiento de minerales, presentándose una oportunidad de negocio rentable en el futuro. Si se analiza el comportamiento del precio Pb-Zn y otros metales tienen la tendencia al alza de precios, tal vez con algunas caídas y su posterior recuperación.



Por los considerandos líneas arriba; la existencia de grandes cantidades de minerales marginales evacuados por las diferentes empresas mineras que actualmente no son procesadas para las recuperaciones de los minerales polimetálicos de valor comercial.

Los ingenieros metalurgistas estamos obligados a realizar la investigación científica mediante pruebas de flotación para determinar las condiciones operativas de los factores del tratamiento conveniente para la recuperación del mineral polimetálico de plomo y zinc incluido a los minerales preciosos si lo hubiera, para iniciar la solución de esta problemática, se realizaron las pruebas metalúrgicas o experimentales en el laboratorio para la combinación más apropiada de los reactivos de flotación, los cuales permitirán la recuperación de los metales, de esa manera resolver el problema tecnológico, para ello se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La alta activación de pirita y otros contaminantes son perjudiciales en el tratamiento de los minerales por el método de flotación por espumas, y es más crítica cuando se realiza el procesamiento en las primeras etapas (rougher), ya que todos los sistemas subsiguientes se concentran con este material perjudicial.
- La gran cantidad de pirita y otros contaminantes presentes en la mena, en las etapas de limpieza origina que parte de este material flote juntamente con el plomo o zinc, ya que la depresión total de los contaminantes es casi imposible debido a su alta concentración; originando concentrados sucios no comercializables.

- Al utilizar grandes cantidades de depresor (generalmente cianuro de sodio) de pirita para limpiar el concentrado, también se deprime al ZnS originando pérdidas de valores de este metal por la cola scavenger.
- Para controlar la activación de pirita se trabaja a altos valores de pH (8,38). Esto eleva los costos de procesamiento sustancialmente.

Por lo tanto, tomando en cuenta el presente aporte científico mediante el proyecto de investigación de carácter tecnológico contribuirá a mejorar la explotación y concentración de los polimetálicos con leyes bajas de mina, obteniendo mejores rendimientos técnicos y económicos de nuestros recursos mineros.

La primera tarea es identificar y listar todos los factores experimentales (las variables activas o factores experimentales) que se cree que pueden tener influencia en el proceso y en la respuesta, muchas veces se cree que pueden tener poca importancia. Después de las evaluaciones mediante corridas experimentales en el gabinete; se debe considerar si cada factor especificado se mantendrá constante, se variará controladamente, si es incontrolable, pero se pueden conocer sus valores o si es incontrolable e imposible de medir (Rivera, 2013, p. 31).

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

La delimitación del tema de investigación es muy importante, mediante el cual el investigador se circunscribe o se limita a un ámbito: **espacial, temporal y teórico** de estudio o de investigación.

El título del trabajo de Tesis es: Procesamiento de minerales marginales para recuperar Plomo y Zinc del depósito pampa seca - Paragsha a nivel laboratorio, Pasco - 2019

### **1.2.1. Delimitación teórica.**

Es la organización secuencial y lógica, orgánica y deductiva, de los temas que forman parte del marco teórico en la que se circunscriben las variables del problema de investigación, vale afirmar, consiste en establecer un dominio teórico concordante con el problema de investigación.

El problema general del presente trabajo de tesis: ¿De qué manera se puede realizar el procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc?

Por lo tanto, la delimitación teórica, consiste en establecer el dominio teórico concordante con el problema de investigación.

El dominio teórico o delimitación teórica donde se circunscribe al problema de investigación son:

- Aspectos generales de minerales marginales.
- Métodos y técnicas de tratamiento de minerales marginales.
- Variables generales del proceso
- Selección de variables.
- Identificación de los factores más importantes de procesamiento de plomo y zinc.
- Procesamiento de plomo y zinc
- Diseños experimentales.
- Modelos matemáticos.
- Tratamiento estadístico de los datos
- Otros

### **1.2.2. Delimitación espacial:**

Se refiere a la ubicación de la empresa o lugar de desarrollo del trabajo de investigación:

- Depósito : Pampa Seca
- Distrito : Paragsha
- Provincia : Pasco
- Departamento : Pasco
- Región : Pasco

### **1.2.3. Delimitación temporal.**

En este caso se refiere al periodo de tiempo que se toma en cuenta, con relación a los hechos, fenómenos y sujetos de la realidad, deben ser de 1, 2 o más años. La delimitación temporal en el presente trabajo no existe, solamente se nomina el año de ejecución del trabajo de tesis: 2019

## **1.3. Formulación del Problema**

Las formulaciones de los problemas de investigación son consideradas como la etapa de la estructuración formal de la tesis; una buena formulación del problema implica necesariamente la delimitación del problema de investigación, estableciendo claramente los límites dentro de los cuales se ha logrado desarrollar el proyecto de tesis. Generalmente las formulaciones de los problemas se realizan a través de interrogantes.

### **1.3.1. Problema principal**

La formulación del problema general es fundamental, porque guía al investigador en las formulaciones del objetivo general y de la hipótesis general, además esta etapa permitió determinar el título definitivo del trabajo de tesis, el problema general es:

¿De qué manera se puede realizar el Procesamiento de minerales marginales para recuperar Plomo y Zinc del depósito pampa seca - Paragasha a nivel laboratorio, Pasco - 2019?

### 1.3.2. Problemas específicos

Las formulaciones de los problemas específicos son los elementos muy importantes para el tratamiento detallado del problema general, además es una guía importante para las formulaciones de los objetivos e hipótesis específicos del tema de investigación.

Estas formulaciones se realizaron previo conocimiento de los factores o variables experimentales del proceso del plomo y zinc, después de una serie de pruebas experimentales preliminares en el laboratorio se determinó los valores de los factores más significativos del proceso, estos factores son:

- Molienda = 20 min
- Acondicionamiento = 6 min
- Z-11 = 4 gotas
- Cianuro de sodio = 3 gotas
- MIBC = 3 gotas

Conocido los factores del proyecto de investigación, se formulan a los problemas específicos, son:

- a) ¿Cómo el tiempo de molienda influye en la recuperación de plomo y zinc a nivel laboratorio en el depósito Pampa Seca – Paragasha-Pasco- 2019?

- b) ¿De qué manera el Acondicionamiento influye en la recuperación de plomo y zinc a nivel laboratorio en el depósito Pampa Seca – Paragasha-Pasco- 2019?
- c) ¿Cómo se puede controlar el Z-11 para la mejor recuperación de plomo y zinc a nivel laboratorio en el depósito Pampa Seca – Paragasha-Pasco- 2019?
- d) ¿Cuál es la función que cumple el NaCN en la recuperación de plomo y zinc a nivel laboratorio en el depósito Pampa Seca – Paragasha-Pasco- 2019?
- e) ¿De qué manera influye el MIBC en la recuperación de plomo y zinc a nivel laboratorio en el depósito Pampa Seca – Paragasha-Pasco- 2019?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

Los objetivos son las guías de las actividades que debe cumplir el investigador para resolver los problemas plantados; también los objetivos son el punto de partida como en el punto de llegada, para el investigador, ya que sin ellos previamente formulados no es posible empezar ni terminar el desarrollo del trabajo de tesis. En resumen, los objetivos indican la meta o finalidad que persigue el investigador, son redactados con verbos en infinitivo.

##### **1.4.1. Objetivo general**

Es la meta final que todo investigador quiere o pretende alcanzar. Debe contener las dos variables en estudio, la unidad de análisis, el lugar y el año de ejecución de la investigación, para las

formulaciones siempre se usa el verbo en tiempo verbal infinitivo (Universidad Privada de Tacna, 2014)

Expresa deseo o la aspiración general del trabajo de tesis; finalmente traduciéndose en solución al problema de investigación, el objetivo general es:

“Analizar y describir el Procesamiento de minerales marginales para recuperar Plomo y Zinc del depósito pampa seca Paragsha a nivel laboratorio, Pasco - 2019”.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos, son llamados también objetivos secundarios, subsidiarios o derivados, por que derivan de los objetivos generales con fines metodológicos y operativos, es decir para guiar las actividades prácticas, como la elaboración de instrumentos de investigación, recogida de datos, análisis, procedimiento y elaboración de conclusiones. La reunión de estos objetivos constituye el objetivo general.

Las formulaciones se realizan previa operacionalización de la variable independiente del proceso, es como sigue:

- Tiempo de molienda
- Acondicionamiento
- Z-11
- Cianuro de sodio
- MIBC

a. Evaluar y determinar el tiempo de molienda del mineral para recuperar plomo y zinc.

- b. Determinar el tiempo de acondicionamiento de la pulpa para la recuperar plomo y zinc.
- c. Evaluar y determinar la dosificación de Z-11 para recuperar plomo y zinc.
- d. Determinar la dosificación de NaCN para deprimir a los contaminantes para recuperar plomo y zinc.
- e. Determinar la dosificación conveniente del MIBC para recuperar plomo y zinc.

### **1.5. Justificación de la Investigación**

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación económica de alternativas de explotación y tratamiento de los minerales marginales y desmonte, mediante la generación de nuevo conocimiento de procesamiento, puesto que en la actualidad hay propuestas de tratamiento mediante ore sorting (pre concentración mediante sensores) y lixiviación en pilas, en tal sentido, propongo una tercera alternativa mediante flotación directa o inversa por espumas mediante evaluación de reactivos de flotación

El estudio comprende temas de importancia en el procesamiento de minerales marginales, orientado a la búsqueda continua de soluciones técnicas para la recuperación de plomo y zinc, maximizando la productividad de la operación.

A continuación, se detalla las razones para la realización del trabajo de investigación, se enumeran las siguientes justificaciones:

- a. La existencia de depósitos de minerales marginales polimetálicos en Pampa Seca es incalculable, con una ley de cabeza de plomo y zinc



bajas, que son caracterizados por su complejidad mineralógica de contaminantes de formación geológica, hace que los ingenieros metalurgistas desarrollen estudios de los diferentes reactivos de flotación; en la actualidad los procesamientos de estos minerales se realizan mediante

- b. Las características y avances tecnológicos en el beneficio de minerales marginales con fines económicos son importantes, para ello se debe mejorar los performances de los reactivos de flotación y los controles adecuados de los factores experimentales u operativos.
- c. Para poder lograr las recuperaciones y los concentrados en el proceso de flotación, se hace indispensable aplicar técnicas modernas en la investigación teórica y experimental de extracción de minerales mediante la investigación científica.

El desarrollo de este trabajo de investigación es de gran importancia por el aporte aplicativo o tecnológico, para obtener mejores rendimientos técnicos y económicos el procesamiento de los recursos mineros, basados en el planteamiento de soluciones.

El aporte principal del presente trabajo es la generación de nuevos conocimientos. Esta investigación tendrá como objetivo principal determinar el método y la técnica de procesamiento de los minerales marginales que se encuentran en el lugar denominado Pampa Seca.

Esto puede ser útil para los mineros artesanales, para la minería en general o para la población más necesitada, el procesamiento puede resolver algunos de los problemas de origen socioeconómico que se

presenta en las poblaciones que más lo requieran, mediante la regalía minera.

El alcance de esta investigación radica, entonces, en el impacto social que pudiera tener en un futuro ya que la información obtenida se va a canalizar a las autoridades competentes.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

- a. Muy poca información bibliográfica sobre temas de flotación de minerales marginales, para dar solución a este problema, he usado muy limitadamente los métodos de procesamiento de minerales polimetálicos existentes.
- b. Carencia de métodos y técnicas, para solucionar este vacío usé la imaginación, creatividad y la experiencia propia en temas de flotación por espumas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes de la investigación a nivel internacional**

Schwarze (2012), la principal función de la planificación de corto plazo es definir el programa de producción que sustente el presupuesto de operación de una mina a nivel trimestral o anual. Este programa debe ser factible de ejecutar bajo las condiciones actuales de operación, de modo que el costo de operación del periodo planificado se cumpla con la menor desviación posible. En la minería de Panel Caving este plan de producción se basa en la secuencia de hundimiento, capacidades de acarreo y estados operacionales definidos por el plan de mediano plazo. Es así como la planificación de corto plazo debe hacerse cargo de una serie de desviaciones constitutivas del plan que sustenta la vida de la mina tales como retrasos en preparaciones mineras, disponibilidad física

de infraestructura de producción, reparación de áreas productivas, entre otros. El objetivo de esta memoria de título es diseñar una metodología que permita incorporar minerales marginales y remanentes al evaluar el cierre de los puntos de extracción, de manera de alcanzar las metas productivas establecidas en los planes de largo plazo. Esta memoria se basa en la metodología de estimación de recursos remanentes diseñada e implementada en la División El Teniente de Codelco Chile.

La metodología consiste en estimar los recursos remanentes en una columna de extracción a partir de las muestras extraídas en el punto de extracción y el modelo de reservas, de manera de realizar una interpolación lineal entre ambas leyes, el segundo paso consiste en incorporar los recursos marginales o de “sobre extracción” en los planes de corto plazo sensibilizando la ley de cierre de puntos a diferentes criterios de corte marginal. Esta metodología se aplica a la mina Esmeralda de la División El Teniente obteniéndose una estimación de recursos disponibles adicionales al programa de producción del año. A partir de estos recursos el plan de producción se construye integrando los recursos estimados, haciendo frente a los siguientes problemas operacionales: Menor área disponible por atrasos en la incorporación, colapsos en nivel de producción, fallas en infraestructura de manejo de materiales, etc. De no incorporar estos recursos remanentes la oferta de cobre fino para el año se habría visto disminuida, afectando el cumplimiento del programa de producción.

Se concluye que esta metodología es factible desde el punto de vista técnico económico de ser utilizada para estimar recursos marginales a incorporar en los programas de corto plazo con el objetivo de hacer frente a eventos operacionales no considerados en los planes de producción de largo plazo. Se recomienda incorporar una tasa menor a 15% del plan de producción como recursos marginales remanentes, para evitar fuertes desviaciones en la ley.

Cañupan (2013), al término de este trabajo se logra efectivamente evaluar la alternativa de bio-lixiviación, para sulfuros de baja ley en Radomiro Tomic, logrando obtener un aumento en el VAN del proyecto con respecto a un caso base de 366 millones de dólares.

#### **2.1.2. Antecedentes de la investigación a nivel nacional**

Conceptualmente, minerales marginales o pobres son depósitos de minerales grandes sin tratamiento que se encuentran en grandes áreas de terreno.

Como antecedentes escritos para el tratamiento de minerales marginales no existen o existen muy pocos, por esa razón opté realizar el tratamiento mediante la flotación por espumas directa o indirecta.

Mediante el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio, es lo que permitirá encontrar un proceso metalúrgico adecuado para asegurar, no solo una buena recuperación del Pb-Ag-Zn, si no también, asegurar la calidad de su concentrado con bajas leyes de Fe y también obtener parámetros de operación que ayude a obtener procesos económicamente rentables.

En la década del 70, algunas empresas mineras principalmente americanas y canadienses empiezan la aplicación de la tecnología de la lixiviación en situ con la finalidad de recuperar los minerales de baja ley remanentes de la explotación a tajo abierto y subsuelo, como también en minerales no disturbados (Benavides, 2001).

Vilavila Hanco (2017), el objetivo primordial de todo negocio minero es generar las mayores utilidades posibles para los accionistas, bajo esta premisa en la presente tesis se desarrolló ambientes de flexibilidad, cambiando la ley de corte o **Becoff** al mineral de baja ley roturado y la incertidumbre del precio de los **commodities** basándose en la teoría de opciones. El objetivo de esta investigación consiste en generar mayores márgenes de ganancia bruta anual para la empresa Minera Bateas, mediante el empleo de la teoría de opciones reales. En la investigación se considera como plan base los datos del plan anual 2017 de Minera Bateas. El plan de tratamiento anual 2017 se formuló con 535,500 TM, Ag: 71 (g/TM), Au 0,17 (g/TM), Pb 2.73(%), Zn 3.86 (%) y en NSR de 124 US\$/TM. Se simularon 2 casos; el caso 01 se sub divide en 3, caso 01 a, caso 01 b y el caso 01 c; el caso 01 a representa el plan anual base, el caso 01 b, considera la inclusión del 8.7% de mineral de baja ley al plan de tratamiento anual, el cual da como resultado un margen de ganancia de 141,318 US\$ y el caso 01 c, considera la inclusión del 8.7% de mineral de baja ley al plan de tratamiento **forecast**, con tonelajes y leyes ejecutadas de enero – abril y proyecciones a diciembre, el cual da como resultado un margen de

ganancia de 1, 202,347 US\$, donde las leyes ejecutadas en plomo y zinc en los primeros meses son superiores a las programadas, ambos márgenes de ganancia se calcularon respecto al plan. En el caso 02, se realizó un esquema de variación del precio de los **commodities**, en base a los valores considerados del plan. Los precios del plan son Ag: 19 US\$/oz, Au: 1140 US\$/oz, Pb: 2150 US\$/TM y Zn: 2300 US\$/TM; a una volatilidad anual máxima alcista en Ag, Au, Pb y Zn de 12%, 24%, 12% y 25% respectivamente dando como resultado 7,567,926 US\$ ya una volatilidad máxima bajista en Ag, Au, Pb y Zn de -24%, -8%, -18% y -8% respectivamente y como resultado -9,274,710 US\$, respecto al plan anual.

Gutiérrez (2017) en su proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar económicamente alternativas de explotación y tratamiento de minerales marginales y desmonte mediante **ore sorting y lixiviación en pilas** en Minera Yanaquihua. La tecnología de **pre-concentración basada en sensores**, en inglés ore sorting, identifica diferencias en características físicas de las rocas mediante un mecanismo basado en sensores que cambia las trayectorias de las partículas seleccionadas, rechazando en etapas tempranas el material no deseado. De esta manera la fracción predeterminada del metal objetivo es el único material en el que se va a incurrir en costos adicionales en transporte, energía y reactivos de los subsiguientes procesos de beneficio. La segunda alternativa es la lixiviación en pilas, que es una lixiviación por percolación del mineral acopiado

sobre una superficie impermeable, preparada para coleccionar soluciones.

Gallegos Gutiérrez (2017), el proyecto de explotación y tratamiento de mineral marginal de la U.P. Alpacay demostró ser rentable tanto con pre-concentración como con lixiviación en pilas. De estas alternativas resultó ser más rentable utilizar sólo la pre-concentración.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Flotación.**

La flotación por espumas es el método más importante de concentración de minerales. Que fue patentado en 1906, este método permite el procesamiento de minerales complejos y de bajo contenido metálico, que en la actualidad son dejados como minerales inservibles o como marginales. Se sabe que, en la mayoría de procesamientos modernos de flotación se emplean aceites u otros agentes tensos activos para ayudar a flotar al metal o a la ganga mediante los métodos de flotación directa o inversa respectivamente.

Durante la última década, la minería extractiva de metales está sufriendo una aguda crisis, debido a los crecientes costes de procesamiento, los precios de los metales cada vez más bajos, los problemas de contaminación, los minerales cada vez más pobres, los problemas energéticos y el agotamiento de reservas de buena ley, nos obliga a buscar nuevas alternativas de solución de la metalurgia extractiva.



Conceptualmente, minerales marginales o pobres son depósitos de minerales grandes sin tratamiento que se encuentran en grandes áreas de terreno.

Como antecedentes escritos para el tratamiento de minerales marginales no existen o existen muy pocos, por esa razón opté realizar el tratamiento mediante la flotación por espumas en forma directa.

Los reactivos de flotación son los componentes y los factores experimentales más importantes en todo proceso de flotación por espumas, la flotación no se puede realizar sin la concurrencia de ellos. El tipo de reactivo que se agrega, su combinación, la dosis y el método de adición, son factores determinantes para los resultados de la operación de concentración de los minerales y sus recuperaciones respectivas (Empresa Minera los Quenuales, 2004)

Las teorías existentes no explican a plenitud el problema investigado, para ello se requiere acudir a elementos teóricos generales y a desarrollar una nueva teoría para la solución a dicho problema, mediante la imaginación, experiencia y la creatividad. Para ello, los procesos de flotación por espumas serán evaluados todas las operaciones y otros en el laboratorio.

Se realizarán diversas pruebas en el laboratorio, acto seguido se optará por la implementación de un circuito alternativo en el laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC).

## 2.2.2. Ventajas y desventajas del proceso de minerales.

### **Ventajas:**

- Posibilidad de tratar minerales pobres e incluso marginales o relaves.
- Alta selectividad y alto grado de separación en las reacciones químicas.
- Fácil control y optimización
- Ausencia de polución de gases.

### **Desventajas**

- Velocidades de reacción lenta
- Poca producción por reactor
- Sensible a variaciones en la composición de la alimentación.
- Baja ley de cabeza de los metales de beneficio.
- Problemas en la eliminación y almacenamiento de los residuos sólidos generados.
- Problemas de aguas residuales.

## 2.3. Definición de términos básicos

**Ley de cabeza:** Contenido de finos en el mineral que entra al proceso de concentración.

**Concentrado:** Producto originado en la planta procesadora de los metales y se expresa en un tanto por ciento de los elementos útiles luego del proceso.

**Recuperación:** Se define como el porcentaje de materia útil del mineral que es transferido, por las operaciones de concentración desde la alimentación del proceso al concentrado.

**Corrida Experimental:** Son los ensayos o experimentos que se realiza en el laboratorio, en el orden aleatorizado del diseño factorial.

**Delimitar:** Determinar o fijar con precisión los límites de algo

**Diseño:** Es la estructura constituida por los factores y los niveles asignados en la experimentación. El diseño es la parte que controla el experimentador.

**Diseño de experimentos:** Es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso

**Factor:** Elementos que potencialmente causan variación de la variable dependiente (VD), son controlados o manipulados por el experimentador o investigador.

**Factores Intervinientes:** Denominados generalmente en el diseño y análisis de experimentos como “ruido” o error experimental; son factores que alteran o influyen en la relación de los factores de la variable independiente (Vi) con los factores de la variable dependiente (Vd), no pueden ser manipulados o controlados intencionalmente por el investigador.

**Factorial:** Es una combinación de factores para formar los diseños factoriales, que indica el orden de las corridas experimentales en el laboratorio

**Herramienta:** Es cualquier recurso particular a disposición de una técnica, de un método o de un procedimiento experimental para realizar las operaciones de investigación en ciencias naturales.

**Mena:** Está constituida por especies mineralógicas valiosas y no valiosas, materia de procesamiento metalúrgico.

**Mineralurgia:** Tratamiento mecánico y concentración de minerales.

**Niveles de un factor:** Son los valores que toma un factor. Generalmente en ingeniería toman valores que se miden en escala cuantitativa.

**Técnica:** Implica manejo de habilidades (destrezas o saber hacer las cosas), aplicación de un conjunto de herramientas o instrumentos y la capacidad inventiva comportamiento humano.

#### **2.4. Formulación de hipótesis**

Son enunciados afirmativos con la finalidad de dar las respuestas al problema general y a los problemas específicos respectivamente, es decir ayuda proponer posibles soluciones al problema de investigación de la presente tesis.

Posteriormente, las hipótesis son sometidas a pruebas mediante procedimientos experimentales y estadísticos para ser confirmada o negada una vez finalizada la investigación. Cuando la hipótesis no ha sido planteada correctamente resulta muy difícil desarrollar el tema de investigación.

La hipótesis es una proposición que se aplica como respuesta tentativa a un problema; señala lo que estamos buscando, además de que puede estar sujeta a validez (Bastar, 2012)

##### **2.4.1. Hipótesis general**

Es la relación existente entre la variable independiente y la variable dependiente del problema de investigación.

Esta hipótesis se formuló dando respuesta afirmativamente al problema general o al objetivo general del presente trabajo de investigación, en el presente caso la hipótesis general es:

¿De qué manera se puede realizar el Procesamiento de minerales marginales para recuperar Plomo y Zinc del depósito pampa seca - Paragsha a nivel laboratorio, Pasco - 2019?

“El procesamiento de minerales marginales se realiza mediante flotación directa por espumas para recuperar plomo y zinc del depósito Pampa Seca-Paragsha a nivel laboratorio, Pasco-2019”

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

Es la relación existente entre los factores o indicadores experimentales del proceso, para las formulaciones se relaciona a estos factores experimentales con la variable dependiente o causa.

- a. El tiempo de molienda influye directamente en la recuperación de plomo y zinc.
- b. El acondicionamiento de la pulpa influye directamente en la recuperación de plomo y zinc.
- c. El control sistemático del colector Z-11 es importante para la recuperación de plomo y zinc.
- d. La función que cumple el NaCN es deprimir a los contaminantes de los minerales para la recuperación de plomo y zinc.
- e. El control adecuado del MIBC influye directamente en la recuperación de plomo y zinc.

#### **2.5. Identificación de variables**

En todo trabajo de investigación serio, intervienen distintos tipos variables o factores experimentales, se conocen tres tipos, de cuyo conocimiento depende el control y éxito del proceso de investigación, son: variable independiente; variable dependiente y variables intervinientes.

### **2.5.1. Variable independiente (VI) o regresora**

Es la llamada variable causa, afecta o condiciona en forma determinada a la variable dependiente: “Procesamiento de minerales marginales”

### **2.5.2. Variable dependiente (VD) o respuesta:**

Es la llamada variable efecto o condicionada, esta variable es afectada por la presencia o acción de los factores experimentales de la variable independiente en los resultados.

Variable dependiente siempre está contenida en el título, el problema, el objetivo y la hipótesis del trabajo de investigación. Por lo tanto, según el título del trabajo de investigación, la variable dependiente es:

“Recuperar plomo y zinc del depósito Pampa Seca – Paragasha a nivel laboratorio en, Pasco - 2019”

### **2.5.3. Variables intervinientes.**

Las variables intervinientes son conocidos como factores perturbadores, es toda aquella característica del mineral o del proceso que influye significativamente en la relación de la variable independiente con la variable dependiente, estos factores intervinientes no pueden ser modificados ni controlados; en cuyo caso ni siquiera se sabe cuándo o como varían. Estos factores dañinos fueron controlados parcialmente mediante los diseños experimentales.

Los perturbadores más comunes en el campo de la metalurgia extractiva son:

- Ley de alimentación
- Flujo de alimentación
- Granulometría de la alimentación
- Mineralogía de la alimentación
- Composición del agua
- Modificación de superficies

Además, son los factores que no son considerados como causa, tampoco efecto, son los encargados de modificar las condiciones de solución del problema de investigación, fueron controlados parcialmente durante el desarrollo del proceso de flotación mediante diseños experimentales, aparte de lo mencionado líneas arriba, también pueden ser: la luz natural o artificial, aire, ruidos, etc.

## **2.6. Definición operacional de variables e Indicadores**

### **2.6.1. Operacionalización de la variable independiente**

Para las formulaciones de los problemas específicos; objetivos específicos e hipótesis específicos, se operacionaliza a la variable independiente, para obtener a los factores experimentales o variables activas o llamados también indicadores activas, que afectan al procesamiento de flotación de los minerales marginales, después de la investigación preliminar o diagnóstico, se halló los siguientes factores experimentales o, de entrada:

- Tiempo de molienda
- Acondicionamiento
- Z-11
- Cianuro de sodio

➤ MIBC

Estos factores experimentales deben ser controlados durante la operación normal del proceso, se distinguen porque se pueden manipular su nivel de operación, de esa manera experimentar con ellos, y obtener el efecto deseado.

Por lo tanto, ningún investigador o tesista serio, se lanza a buscar conocimientos sin operacionalizar las variables de investigación

**2.6.2. Operacionalización de la variable dependiente**

Variable dependiente, es el efecto producido debido a la manipulación intencional del investigador de los factores o variables activos de la variable independiente; en el presente caso son:

- Concentración y recuperación del Pb-Ag
- Concentración y recuperación del ZnS



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicativo y experimental, basado en la metodología de la investigación científica de procesamiento de minerales, para la explotación futura, el presente proceso de investigación se relaciona con la investigación aplicada.

**Investigación Aplicada:** Mediante esta investigación científica se resolverá problemas prácticos, o sea satisfacer las necesidades de la sociedad en la solución de problemas inmediatos a casos concretos, aplicando el nivel experimental para producir cambios cualitativos y cuantitativos de los minerales marginales polimetálicos, de esa manera crear nuevos conocimientos. Por lo tanto, la presente investigación aplicada es correlacional.

En esta investigación es indispensable la concurrencia de la teoría científica, así como las leyes y principios que explican los hechos y fenómenos de la realidad, sin ellos no es posible su ejecución.

“En ese sentido, se concibe como *investigación aplicada* tanto la innovación técnica, artesanal e industrial como la propiamente científica” (Cordero, 2009).

### **3.2. Métodos de investigación**

Hoy, no se realizan investigaciones muy complejas que demandan mucho tiempo y dinero durante el desarrollo, el conocimiento de la ciencia es el producto de la sumatoria de las investigaciones sencillas o bien delimitadas, porque los investigadores trabajan con rapidez y minuciosidad, se usará los siguientes métodos durante la investigación en el laboratorio:

- Método teórico
- Método fáctico
- Observación científica
- Estadístico

Durante el desarrollo del presente trabajo de tesis, se usará método científico; que consiste en realizar las corridas experimentales en el laboratorio o gabinete haciendo usos de los diseños factoriales. Al final se hará el tratamiento y análisis de los datos obtenidos y la inferencia estadística mediante paquetes estadísticos, para llegar a conclusiones contundentes y confiables del presente trabajo de tesis.

Mediante el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio, es lo que nos permite encontrar un proceso metalúrgico adecuado para

asegurar, no solo una buena recuperación del Pb-Ag-Zn, si no también, asegurar la calidad de su concentrado con bajas leyes de Fe y también obtener parámetros de operación que ayude a obtener procesos económicamente rentables (Mamani, 2017, p. 3)

### **3.3. Diseño de investigación**

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo, explicativo y experimental; basados diseños experimentales mediante diseños experimentales, que consiste en el control y manipulación intencional de los factores activos o experimentales.

Mediante el diseño de investigación se buscará obtener las respuestas a las interrogantes formuladas para demostrar o comprobar a las hipótesis de investigación, con la finalidad de poder alcanzar los objetivos trazados durante la investigación.

Los diseños experimentales usados en ciencias naturales o ingeniería, se clasifican en:

- Diseños pre-experimentales, el control y la manipulación de los factores es bajo, los datos determinados tienen baja validez interna y externa
- Diseños experimentales “verdaderos”, durante las corridas experimentales se realizan controles estrictos a los factores experimentales, por lo tanto, los resultados tienen validez interna y externa confiable.
- Diseños Cuasi-experimentales, los factores son controlados uno en uno, los resultados no son garantizados. Además, los diseños no garantizan el nivel de validez interna y externa de los resultados.

Los diseños pre experimentales y experimentales “verdaderos”, serán usados en las investigaciones preliminares y finales respectivamente, con la finalidad de no cometer errores en los resultados metalúrgicos, para ello se usarán los diseños factoriales fraccionadas o completas según el caso, porque son usados ampliamente en métodos experimentales que influyen varios factores experimentales sobre una respuesta o respuestas del proceso de flotación por espumas. Para la construcción del diseño factorial fraccionado se tomará en cuenta el ítem 2.5.1.1, de esa manera determinar el orden de las corridas experimentales en el laboratorio, al final se obtendrá una buena respuesta o producto de concentrados de plomo y zinc.

#### **3.4. Población y muestra**

“El método descrito por el Dr. Pierre Gy y Francis Pitard es aplicable a muestras en forma de pulpas y sólidos” (Cerna, 2012, p. 57)

Numerosos artículos y algunos libros han sido escritos sobre muestreo, ¿por qué elegimos la teoría de Pierre Gy?, pues él hace más que simplemente solo presentar un método correcto de la estimación de la precisión del muestreo de un material particulado. Su teoría organiza todos los aspectos del muestreo, indica cómo se generan los errores, como estos pueden ser eliminados y reducidos (Cerna, 2012, p. 1)

La población o universo es el conjunto de unidades o elementos como personas, instituciones, municipios, empresas o materias primas (yacimientos mineros) y otros, claramente definidos para calcular las estimaciones en la búsqueda de la información.

La toma de muestras sólidas, en general, la heterogeneidad de las muestras sólidas obliga a diseñar la toma de muestra de forma que la muestra final tenga la máxima representatividad con el mínimo coste económico.

El muestreo en la ingeniería es un instrumento de gran importancia o validez en las investigaciones de ciencias naturales, para seleccionar las unidades representativas para obtener los datos mediante el procesamiento en el laboratorio. Los tipos de muestreos más comunes son:

- Muestreo aleatorio simple (o al azar).
- Muestreo estratificado.
- Muestreo por cuotas.
- Muestreo intencionado.
- Muestreo mixto.

En el presente estudio de tesis la población está representada por el desmonte o decajado que se encuentra en el lugar denominado Pampa Seca, la exploración y los cálculos de reserva definitivos deben ser realizados por los especialistas.

Ante la imposibilidad de estudiar todo el universo, las muestras representativas de la población, se tomarán de los minerales roturados o marginales de baja ley, mediante el muestreo no probabilístico, es un tipo de muestreo donde existe una marcada influencia del investigador, consiste en seleccionar la muestra de manera directa, o bien intencionalmente; de este modo, no todos los elementos que son parte de

la población pueden ser parte de la muestra, por lo que es un tipo de muestreo no muy riguroso ni científico

En investigación, una muestra es un conjunto finito de la población, cuyas propiedades son estudiadas con el objetivo de obtener información del grupo al que pertenecen

En la práctica, la opción de un método estadístico de muestreo depende fundamentalmente de la naturaleza de las observaciones que vayamos a realizar, en el presente caso se usará la observación científica.

Finalmente, el tipo de muestreo presenta dos fases:

- En la primera fase, se seleccionan áreas a estudiar.
- En la segunda fase, se seleccionan elementos dentro de esas áreas.

### **3.5. Técnica e instrumentos de recolección de datos**

La técnica a utilizar será teórica y práctica. La recolección de información teórica será a través de la bibliografía existente; con el objetivo de conseguir informaciones históricas con respecto al tratamiento mediante flotación de minerales marginales polimetálicos.

Con respecto la recolección de datos experimentales, se usarán las plantillas de los diseños factoriales, según el caso; en seguida las corridas experimentales se realizarán con los instrumentos necesarios de procesamiento de minerales por flotación por espumas (Palacios., 2004)

Por lo tanto, las técnicas más comunes que se emplearán son:

- a. Técnicas de recolección de información.
- b. Técnicas para la recolección de datos.
- c. Técnicas de laboratorio.

Por lo tanto, las técnicas y los instrumentos serán, usados con la finalidad de recuperar plomo y zinc mediante el procesamiento por flotación por espumas de los minerales marginales, tecnología futura.

Para los cuales se necesitaron instrumentos como:

- Chancadora
- Molinos
- Cuarteadores
- Balanza
- Celda de flotación
- Vasos de precipitación
- Probetas
- Reactivos de Floculación
- Otros

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

En ingeniería, para el procesamiento y análisis de datos determinados en el laboratorio se realizaron mediante programas estadísticos (Pulido & Salazar, 2012)

Para el procesamiento de los datos obtenidos a lo largo de la investigación se usaron los siguientes:

- Gráficos ilustrativos
- Diagramas de flujo
- Análisis Estadístico
- Análisis inferencial
- Cuadros comparativos de resultados

### **3.7. Tratamiento estadístico**

Se usó específicamente el programa estadístico, al stagraphics.

### **3.8. Selección, validación y confiabilidad de los Instrumentos de investigación.**

#### **3.8.1. Selección de los instrumentos de investigación.**

La selección de los instrumentos de investigación, se hicieron en función a los factores experimentales de procesamiento de los minerales marginales, tema en estudio.

#### **3.8.2. Requisitos de los instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición usados en el laboratorio para la recolección de datos experimentales; cumplieron con tres requisitos fundamentales, demostrados en el laboratorio: confiabilidad, validez y objetividad.

a. La confiabilidad, es la precisión de los resultados en las mediciones de la muestra o muestras; en el presente caso los instrumentos si cumplieron, obteniendo resultados o datos consistentes o confiables.

b. La validez, el instrumento midió a los factores experimentales de la materia que se investiga con seguridad y exactitud, vale afirmar que también los instrumentos usados durante la investigación cumplieron con este objetivo, es decir son válidos.

c. La objetividad, el instrumento fue permeable a la influencia de ciertos factores no controlables (intervinientes); los instrumentos usados cumplieron con este objetivo.

Por lo tanto, la confiabilidad, validez y la objetividad, se asumen teóricamente, en la presente investigación, en seguida los



instrumentos fueron probados en el laboratorio; si el instrumento de medición no hubiera cumplido por lo menos con una de las condiciones, los resultados obtenidos no son considerados legítimos o confiables, en consecuencia, la investigación debe ser rechazada. La mediciones o resultados cuantitativas continuas obtenidos son consistentes, legítimos, confiables o precisas; en consecuencia, vale afirmar que el error cometido en la investigación experimental es considerado mínimo.

### **3.9. Orientación ética**

Esta investigación está orientado al grupo de interés de la Paragsha mejorando los beneficios económicos y la calidad ambiental, previniendo los graves impactos negativos que afectan al medio ambiente y deterioro de los recursos naturales, fundamentalmente a los efluentes líquidos de la localidad

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1. Preparación de la muestra

- a. Se realizó por etapas: chancado; molienda, primaria y molienda secundaria, según el requerimiento de las pruebas metalúrgicas hasta obtener una granulometría apropiada de procesamiento.
- b. En cada una de las etapas se realizó los cuarteos respectivos mediante el método de Riffly o Jones; con la finalidad de asegurar la representatividad de la población, en seguida realizar con la molienda óptima para las pruebas metalúrgicas de flotación. Ver tabla N° 01

Tabla 1: Peso de muestra

N° muestras	Peso cada muestra	Peso bruto: Kg	Peso neto: Kg	Muestra representativa
10	5	50	49,2	9,5

Nota. FUENTE: Autoría propia

##### 4.1.2. Caracterización de la muestra

En esta etapa para el análisis químico de la muestra de cabeza, se cuarteó la muestra representativa, luego se pulverizó hasta malla - 200 Tyler. Ver Tabla 2

Tabla 2: Análisis de la muestra de cabeza

%Cu	%Pb	%Zn	g/Ag	%Bi	%Fe	%As	%Sb	%PbO	%ZnO	%Ins
0,01	0,69	2,25	22	0	21,3	0,07	0,1	0,45	0,59	22,25

Nota. FUENTE: Autoría propia

De los resultados se concluye que la ley de cabeza de plomo es considerado marginal, por su bajo contenido de PbS, 0,69%; el contenido de hierro es muy alto, 21,3%; siendo el principal problema para el procesamiento del mineral mediante flotación directa por espumas de plomo y zinc

#### 4.1.3. Selección experimental de factores experimentales.

El Statgraphics Plus para Windows es un software que se usó con la finalidad de automatizar completamente el proceso del diseño experimental, dicho programa nos ayuda a seleccionar el diseño más adecuado (lineal, cuadrático), desarrollando el proceso analítico para poder interpretar los resultados obtenidos.

En general, en un proceso intervienen distintos tipos variables o factores experimentales o activos, haciendo uso de la figura N° 1, se realizó la primera etapa de flotación preliminar para seleccionar a los factores activos más significativos del proceso mediante el diseño factorial fraccionado o Plankett-Burman, separadamente para la flotación bulk de Pb-Ag y Zn; finalmente se obtiene la tabla N° 3 y 4

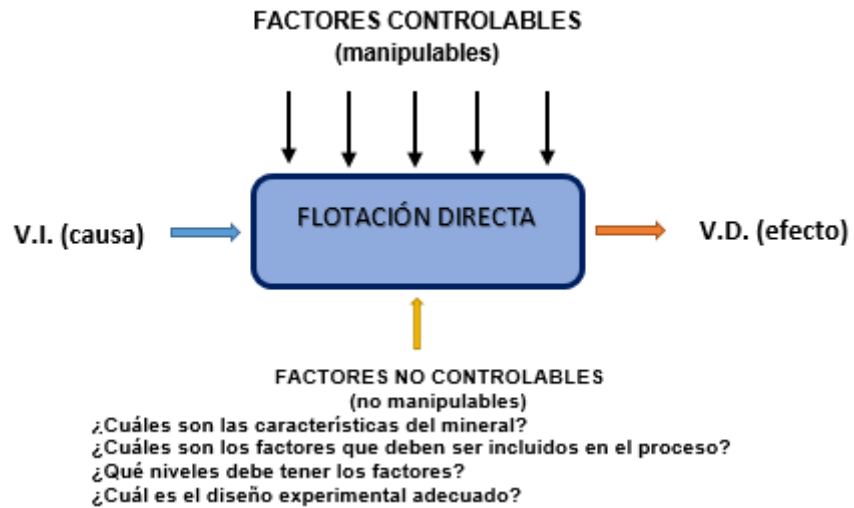


Figura 1: Variables del proceso de flotación  
 Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 3: Factores activas y sus niveles para la flotación de Pb-Ag

FACTORES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A= Molienda (min)	12	18
B= NaCN (gotas)	2	4
C= ZnSO <sub>4</sub> (gotas)	2	4
D= Z-11 (gotas)	2	4
F= Acond. (min)	4	6

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 4: Factores activas y sus niveles para la flotación de ZnS

FACTORES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A= Sulfato de cobre	2	4
B= NaCN (gotas)	1	3
C= Z-11 (gotas)	2	4
D= Acond. (min)	3	5

Nota. FUENTE: Elaboración propia

#### 4.1.4. Flotación bulk de Pb-Ag

##### 4.1.4.1. Consideraciones generales para la flotación Bulk de Pb-

##### Ag

Los datos provienen de los ensayos preliminares que se realizaron para la selección de los factores activos más significativos del proceso de flotación:

- a. Muestra medio kilogramo
- b. Tiempo de molienda 20 minutos, -200 malla.

- c. Cianuro de sodio, 2 gotas; agregar en la molienda
- d. Sulfato de zinc, 3 gotas; agregar en la molienda
- e. Densidad de la pulpa 35%
- f. Z - 11, 3 gotas
- g. Acondicionamiento, 3 minutos
- h. Cal hasta pH= 8 permanece constante
- i. MIBC, 2 gotas, el control es manual, según el caso
- j. Acondicionamiento con densidad alta de la pulpa, luego de diluye a una densidad aproximado del 30 al 35%.
- k. Tiempo de flotación, según el caso

#### **4.1.4.2. Formulación diseño factorial fraccionado $2^{k-p}$ para el procesamiento del Pb-Ag**

Cuando el número de factores activos crece, también aumenta rápido el número de tratamientos en los diseños factoriales completos, por esa razón se formuló el diseño factorial fraccionado, denominado específicamente un cuarto de fracción.

La plantilla para las pruebas experimentales en el laboratorio se formuló tomando en cuenta la tabla N° 3, en función a los valores reales de los factores activos. Esta plantilla debe ser grabado en el programa, para realizar las corridas experimentales y la digitalización de los resultados metalúrgicos en el mismo orden respectivamente, ver tabla N° 5.

Tabla 5: Plantilla de las corridas experimentales

BLOQU E	Moliend a Min	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Acondic Min	Concen t Pb %	Recupe r Pb %
1	14	4	4	2	4		
1	18	4	2	4	4		
1	18	2	2	2	4		
1	18	4	4	4	6		
1	14	2	4	4	4		
1	14	2	2	4	6		
1	18	2	4	2	6		
1	14	4	2	2	6		

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Habiendo cumplido con los ensayos experimentales en el laboratorio y los análisis químicos, se obtiene la Tabla N<sup>0</sup> 6:

Tabla 6: Resultados de las corridas experimentales

BLOQUE	Molienda Min	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Acondic Min	Concent Pb %	Reperac Pb %
1	14	4	4	2	4	34	54
1	18	4	2	4	4	32	51
1	18	2	2	2	4	22	48
1	18	4	4	4	6	20	40
1	14	2	4	4	4	30	45
1	14	2	2	4	6	24	44
1	18	2	4	2	6	23	43
1	14	4	2	2	6	29	45

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### 4.1.4.3. Análisis e interpretación estadístico de los datos en función a la concentración del Pb-Ag.

Se realizó el análisis de los datos obtenidos en el laboratorio con la finalidad de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo.

Analizando las imágenes 2 y 3 respectivamente, se aprecia:

- a. Los signos de los factores A; D y E son negativos, significa que están en su nivel máximo, vale afirmar que están en su valor óptimo de trabajo, entonces son

considerados como constantes durante proceso, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 7.

b. Los signos de los factores B y C son positivos, significa que están en su nivel mínimo, deben ser maximizados mediante la optimización para establecer sus rangos de influencia óptima; esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 7.

c. Las interacciones CD y DE son negativos, indica que no existe interacción, deben ser eliminados, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 7.

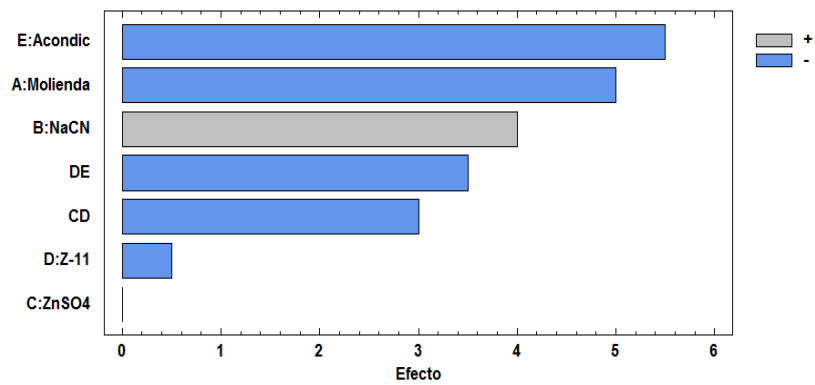


Figura 2: Diagrama de Pareto para concentrado de plomo  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

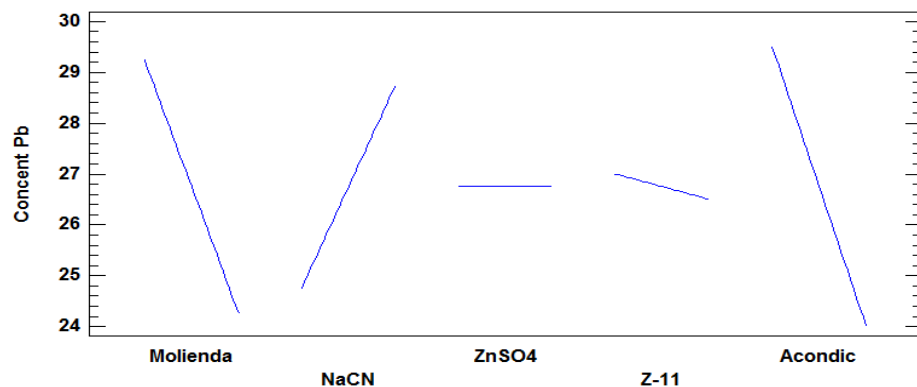


Figura 3: Efectos principales para concentrado de plomo  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Tabla 7: Efectos principales para concentrado de plomo-resumen de análisis

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	26,75		
A:Molienda	-5		
B:NaCN	4		
C:ZnSO4	0		
D:Z-11	-0,5		
E:Acondic	-5,5		
CD	-3		
DE	-3,5		

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

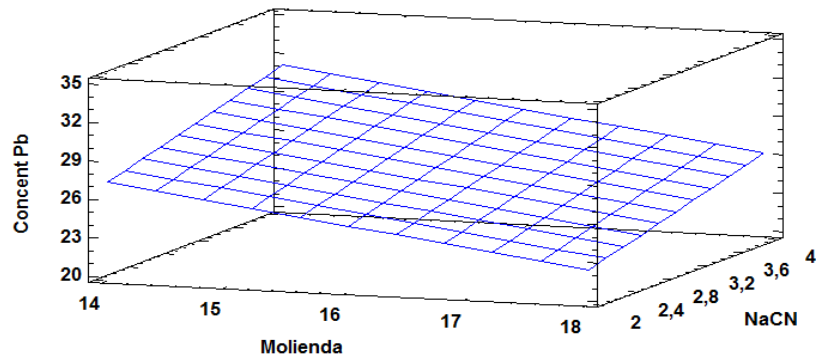


Figura 4: Superficie de respuesta estimada

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

La figura 4, representa un modelo de primer orden, se observa que la superficie es un hiperplano, por lo tanto, el modelo es de primer orden para pasar a un modelo de segundo orden.

Tabla 8: **Análisis de varianza para concentrado de plomo**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Molienda	50	1	50		
B:NaCN	32	1	32		
C:ZnSO4	0	1	0		
D:Z-11	0,5	1	0,5		
E:Acondic	60,5	1	60,5		
CD	18	1	18		
DE	24,5	1	24,5		
Error total	0	0			
Total (corr.)	185,5	7			

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia



La tabla 8, para interpretar se realiza la observación de los valores Razón-F y Valor-P de Pareto no existen, indican que debemos realizar para un proceso de optimización.

Tabla 9: **Optimizar el concentrado de plomo**

Valor óptimo = 34,4795

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Molienda	14	18	14,0442
NaCN	2	4	3,9705
ZnSO <sub>4</sub>	2	4	3.619959
Z-11	2	4	4
Acondic	4	6	4

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

La tabla 9, indica los valores óptimos de los factores activos más significativos del proceso, según las imágenes 2 y 3 son el NaCN y ZnSO<sub>4</sub>, cuyos valores son 3,9705 (4) gotas y 3,61959 (4) gotas respectivamente, para pasar a un proceso de maximización u optimización de la concentración óptima de Pb-Ag.

#### **4.1.4.4. Análisis e interpretación estadístico de los datos en función a la recuperación de Pb-Ag**

Analizando las imágenes 5 y 6 respectivamente, se aprecia:

- a. Los signos de los factores A; C; D y E son negativos, significa que están en su nivel máximo, vale afirmar que están en su valor óptimo de trabajo, entonces son considerados como constantes durante proceso, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 10.
- b. El signo del factor B es positivo, significa que está en su nivel mínimo, deben ser maximizado mediante la optimización para establecer su rango de influencia

óptima; esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 10

c. La interacción BE es negativo, indica que no existe interacción, debe ser eliminado, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 10.

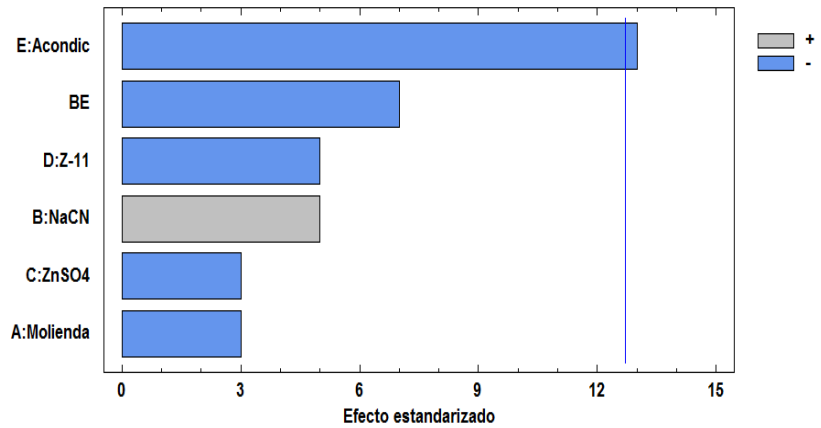


Figura 5: Diagrama de Pareto para la recuperación de plomo  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

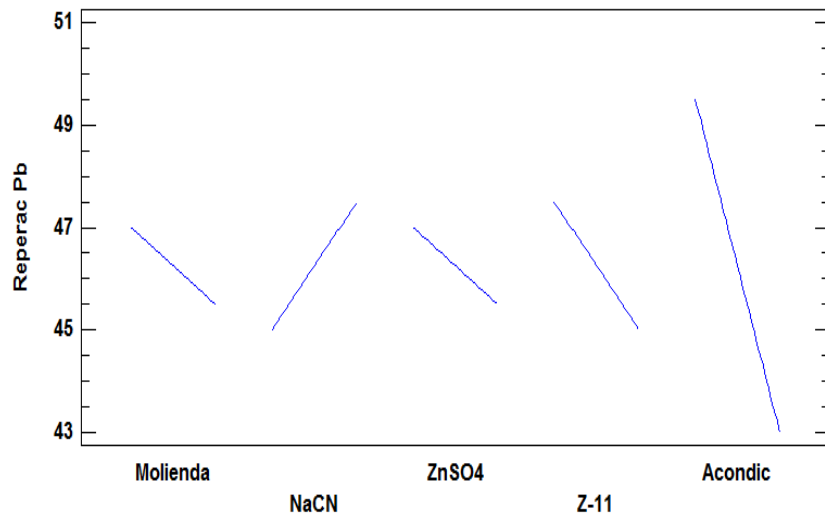


Figura 6: Efectos principales de la recuperación de plomo  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Tabla 10: **Efectos principales para recuperación de plomo-resumen de análisis**

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	46,25	+/-3,17655	
A:Molienda	-1,5	+/- 6,3531	1
B:NaCN	2,5	+/- 6,3531	1

C:ZnSO4	-1,5	+/- 6,3531	1
D:Z-11	-2,5	+/- 6,3531	1
E:Acondic	-6,5	+/- 6,3531	1
BE	-3,5	+/- 6,3531	1

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

La figura 7, representa un modelo de primer orden, se observa que la superficie es un hiperplano, por lo tanto, el modelo es de primer orden es adecuado para pasar a un modelo de segundo orden, optimización.

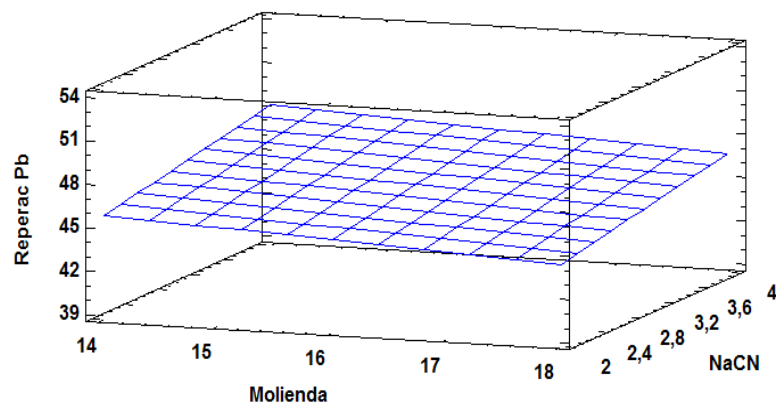


Figura 7: Superficie de respuesta estimada

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Tabla 11: **Análisis de varianza para recuperación de plomo**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Molienda	4,5	1	4,5	9	0,2048
B:NaCN	12,5	1	12,5	25	0,1257
C:ZnSO4	4,5	1	4,5	9	0,2048
D:Z-11	12,5	1	12,5	25	0,1257
E:Acondic	84,5	1	84,5	169	0,0489
BE	24,5	1	24,5	49	0,0903
Error total	0,5	1	0,5		
Total (corr.)	143,5	7			

R-cuadrada = 99,6516 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,561 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Interpretación de la tabla N° 11, ANOVA:

- Se observa que el Valor-P del factor E es menor al 5% de nivel de significancia, indica que es el factor que tiene

mayor significancia en el proceso; los valores de los demás factores y de la interacción BE, no se alejan demasiado del 5% del nivel de significancia, indican que se pueden maximizar las causas del presente proceso.

- b. El coeficiente de correlación<sup>1</sup> de 99.6516 % es bastante aceptable, el cual reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.
- c. En el caso de la **suma de cuadrados** (Sum of Squares) del error experimental es grande, 0,5 representa a la varianza del error, dicho valor es menor a uno (1), por lo cual, la variabilidad de los datos es adecuado para el proceso.
- d. Así mismo el **Cuadrado Medio** (Mean Square) o varianza del error es 0,5; es menor a la unidad (1), significa que el error cometido durante el proceso es insignificante y gráficamente el proceso está dentro de la campana de Gauss, por consiguiente, se reafirma que el modelo matemático primer orden es adecuado para pasar a un modelo cuadrático.
- e. Además, los valores de Valor-P es mucho menor a los valores de Razón-F, el proceso es adecuado; los cuales indican para pasar a un modelo cuadrático del proceso.

**Tabla 12: Optimizar la recuperación de plomo  
Maximizar la recuperación de plomo**

Valor óptimo = 55,2417

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
--------	------	------	--------

<sup>1</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más variables independientes y variable(s) dependiente(s).

Molienda	14	18	14,01
NaCN	2	4	4
ZnSO <sub>4</sub>	2	4	2
Z-11	2	4	2,00164
Acondic	4	6	4,00051

Nota. FUENTE: Elaboración propia

La tabla 12, indica los valores óptimos de los factores activos más significativos del proceso, según las imágenes 5 y 6 son el NaCN y ZnSO<sub>4</sub>, cuyos valores son 4 gotas y 2 gotas respectivamente, para pasar a un proceso de maximización u optimización de la recuperación óptima de Pb-Ag.

#### **4.1.5. Consideraciones generales para la flotación de ZnS.**

Después de los ensayos preliminares y de las corridas experimentales formales que se realizaron en la etapa de flotación Pb-Ag deprimiendo al ZnS con sulfato de zinc y cianuro de sodio, a la pulpa resultante como “relave” con contenido de ZnS durante la flotación de Pb-Ag, se realizó el tratamiento respectivo con la finalidad de seleccionar a los factores activos más importantes o significativos para la flotación final del zinc, se sigue los siguientes considerandos:

- a. Muestra, proviene de la flotación del Pb-Ag
- b. Sulfato de cobre, 3 gotas.
- c. Cianuro de sodio, 1
- b. Z - 11, 2 gotas
- c. MIBC, 2 gotas, control manual
- d. Cal hasta pH= 11, constante

- e. Acondicionar, 4 min
- f. Tiempo de flotación, según el caso

#### 4.1.5.1. Formulación diseño factorial fraccionado 2<sup>k-p</sup> para el procesamiento del ZnS

Se formula mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI, para ello se formuló tomando en cuenta la tabla 4, resultando la tabla 13.

Tabla 13: Plantilla de las corridas experimentales

BLOQUE	CuSO4 Gotas	NaCN Gotas	Z-11 Gotas	Acondicionamiento Min	Concentrado	Recuperación
					Zn %	Zn %
1	2	3	2	5		
1	4	3	4	5		
1	2	1	4	5		
1	4	3	2	3		
1	4	1	2	5		
1	2	3	4	3		
1	4	1	4	3		
1	2	1	2	3		

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Después de haber realizado los ensayos experimentales en el orden establecido en la tabla 13 y cumplido con los análisis químicos respectivos, se digita los resultados en la tabla respectiva grabada en el paquete, ver tabla N 14.

Tabla 14: Resultados de las corridas experimentales procesamiento del ZnS.

BLOQUE	CuSO4 Gotas	NaCN Gotas	Z-11 Gotas	Acondicionamiento Min	Concentrado	Recuperación
					Zn %	Zn %
1	2	3	2	5	18	21
1	4	3	4	5	20	22
1	2	1	4	5	22	25
1	4	3	2	3	21	22
1	4	1	2	5	28	31
1	2	3	4	3	24	26
1	4	1	4	3	23	30
1	2	1	2	3	22	23

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### 4.1.5.2. Análisis e interpretación estadístico de los datos en función a la concentración del ZnS.

##### Análisis de las figuras 8 y 9

Habiendo analizando las figuras 8 y 9 respectivamente, se aprecia:

- Los signos de los factores B y D son negativos, significa que están en su nivel máximo, vale afirmar que están en su valor óptimo de trabajo, entonces son considerados como constantes durante proceso, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 15.
- El signo de los factores A y C son positivos, significa que está en su nivel mínimo, deben ser maximizado mediante la optimización para establecer su rango de influencia óptima; esta afirmación también es confirmada mediante la Tabla 15
- La interacción AC es negativo, indica que no existe interacción, debe ser eliminado, esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 15.

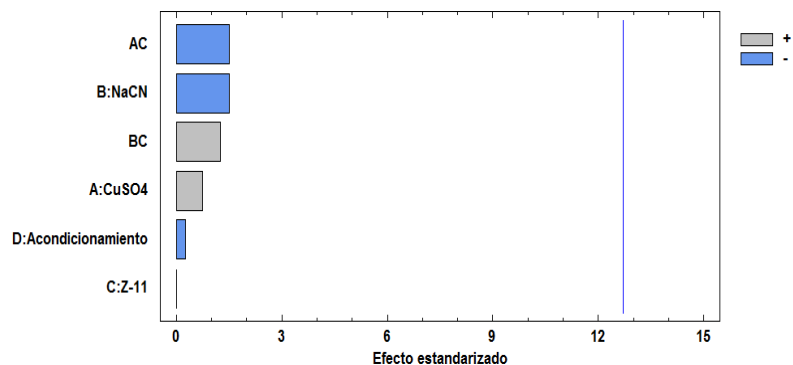


Figura 8: Diagrama de Pareto para la concentración de ZnS  
Nota. FUENTE: Elaboración propia

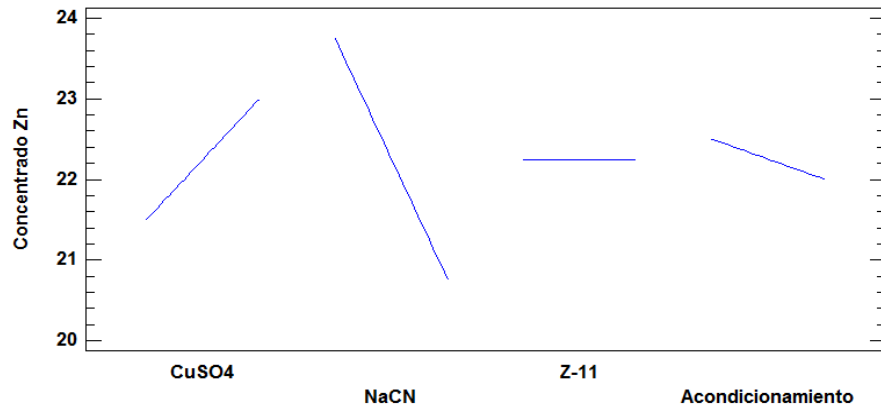


Figura 9: Efectos principales de la concentración de ZnS

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

En el presente caso, la superficie ajustada es un hiperplano (modelo de primer orden), entonces indica que se debe pasar al modelamiento de ecuación de segundo orden, por la carencia de curvatura.

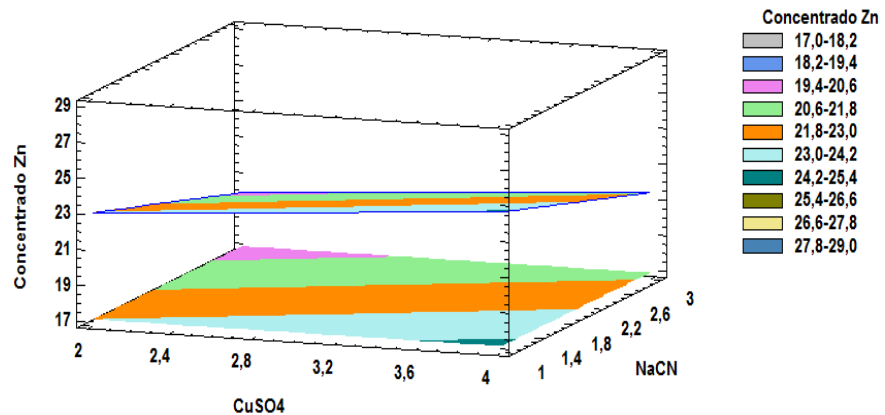


Figura 10: Superficie de respuesta estimada

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Analizando la Tabla N° 15

- Los efectos de los factores **B** y **D** son negativos, por lo tanto, están en su valor máximo, es decir están en su punto óptimo, dichos factores son considerados como constantes con el valor máximo de su nivel.
- Los efectos de los factores **A** y **C** son positivos, por lo tanto, están en valor mínimo, razón por la cual se deben



ser maximizados para mejorar la calidad de los productos, significa pasar a un modelo matemático de segundo orden, optimización.

- El signo de la interacción AC es negativo, significa que no existe ninguna interacción; en el caso de la interacción BC es positivo, se debe maximizar.

Tabla 15: **Efectos principales para la concentración del ZnS-resumen de análisis**

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	22,25	+/- 12,7062	
A:CuSO4	1,5	+/- 25,4124	1
B:NaCN	-3	+/- 25,4124	1
C:Z-11	0	+/- 25,4124	1
D:Acondicionamiento	-0,5	+/- 25,4124	1
AC	-3	+/- 25,4124	1
BC	2,5	+/- 25,4124	1

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### **Interpretación de la tabla N° 16, ANOVA:**

- a. Los valores de la mayoría de los factores y de las interacciones no se alejan demasiado del 5% del nivel de significancia, indican que se pueden maximizar las causas del presente proceso.
- b. El coeficiente de correlación<sup>2</sup> es 86,9919, lo que indica que es bastante aceptable, el cual reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.
- c. Los valores de Valor-P en algunos casos mayor en otros casos es menor a los valores de Razón-F, el proceso es

<sup>2</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más variables independientes y variable(s) dependiente(s).

adecuado; los cuales indican para pasar a un modelo cuadrático del proceso.

Tabla 16: Análisis de varianza para la concentración de ZnS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	4,5	1	4,5	0,56	0,5903
B:NaCN	18	1	18	2,25	0,3743
C:Z-11	0	1	0	0	1
D:Acondicionamiento	0,5	1	0,5	0,06	0,844
AC	18	1	18	2,25	0,3743
BC	12,5	1	12,5	1,56	0,4296
Error total	8	1	8		
Total (corr.)	61,5	7			

R-cuadrada = 86,9919 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 8,94309 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Modelo matemático de primer orden

$$\text{Concentrado Zn} = 18,0 + 5,25 \cdot \text{CuSO}_4 - 5,25 \cdot \text{NaCN} + 2,0 \cdot \text{Z-11} - 0,25 \cdot \text{Acondicionamiento} - 1,5 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} + 1,25 \cdot \text{NaCN} \cdot \text{Z-11}$$

Según el modelo matemático, se aprecia que el valor 18 es positivo, el cual indica que los resultados no son adecuados o aceptables, por lo tanto, se debe pasar a un modelo matemático de segundo orden.

Tabla 17: Optimizar el concentrado de ZnS  
Maximizar la concentración de ZnS

Valor óptimo = 27,4981

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
CuSO4	2	4	3,99967
NaCN	1	3	1,0002
Z-11	2	4	2
Acondicionamiento	3	5	3,0023

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Según la tabla N<sup>o</sup> 17, para la optimización o pasar a un modelo matemático segundo orden, solamente se debe tomar en cuenta a los valores de los factores más significativos del proceso: CuSO<sub>4</sub> y Z-11, confirmadas en la tabla N<sup>o</sup> 15.

### 4.1.5.3. Análisis e interpretación estadístico de los datos en función a la recuperación del ZnS

#### Interpretación de las figuras 11 y 12

- Los signos de los factores B y D son negativos, significa que están en su nivel máximo o afirmar que están en su valor óptimo de trabajo, entonces son considerados como constantes durante proceso, esta afirmación es confirmada en la Tabla 18.
- El signo de los factores A y C son positivos, significa que están en su nivel mínimo, deben ser maximizado mediante la optimización para establecer su rango de influencia óptima; esta afirmación es confirmada mediante la Tabla 18
- Las interacciones AC y CD es negativo, indica que no existe interacción, debe ser eliminado, esta afirmación es confirmada en la tabla N<sup>o</sup> 18.

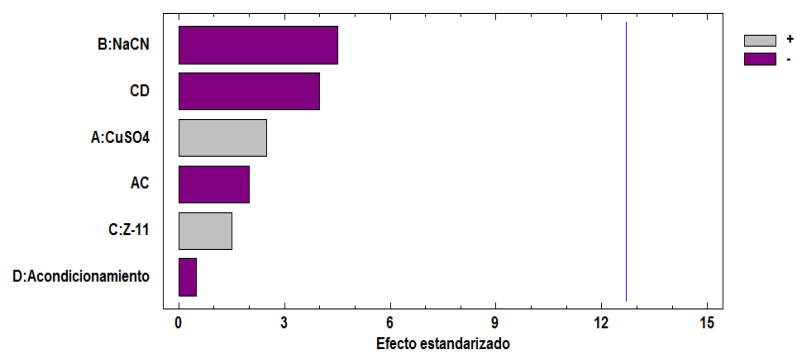


Figura 11: Diagrama de Pareto para la recuperación de ZnS  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

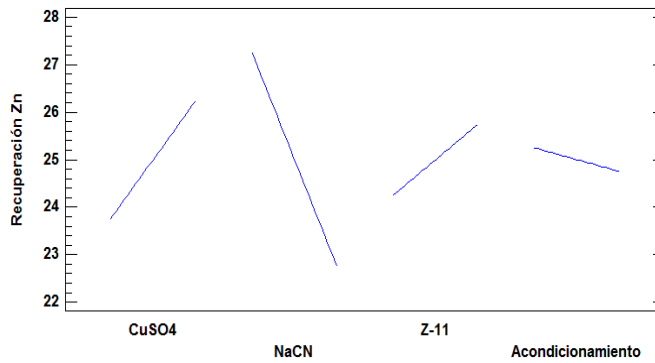


Figura 12: Efectos principales de la recuperación del ZnS  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Interpretación de la figura 13:

Como en los casos anteriores la superficie ajustada es un hiperplano (modelo de primer orden), entonces indica que se debe pasar al modelamiento de segundo orden, optimización; por la carencia de curvatura.

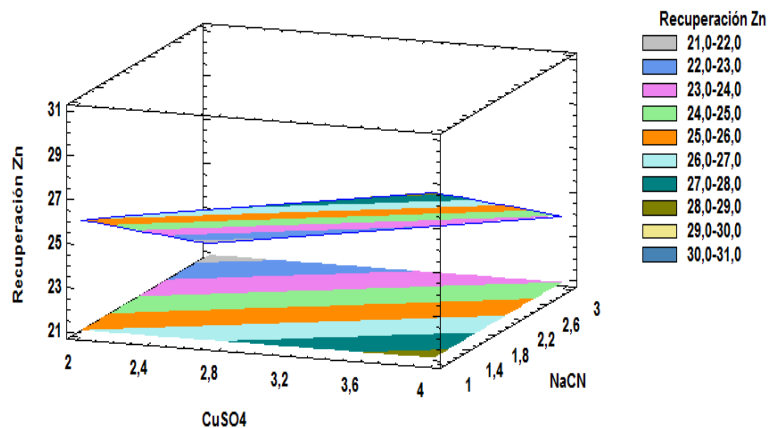


Figura 13: Superficie de respuesta estimada  
**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Tabla 18: Efectos principales para la recuperación del ZnS-resumen de análisis

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	25	+/- 6,3531	
A:CuSO4	2,5	+/- 12,7062	1
B:NaCN	-4,5	+/- 12,7062	1
C:Z-11	1,5	+/- 12,7062	1
D:Acondicionamiento	-0,5	+/- 12,7062	1
AC	-2	+/- 12,7062	1
CD	-4	+/- 12,7062	1

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la tabla N° 19, ANOVA

- a. Los valores de la mayoría de los factores y de las interacciones no se alejan demasiado del 5% del nivel de significancia, indican que se pueden maximizar los efectos del presente proceso.
- b. El coeficiente de correlación<sup>3</sup> es 98,00, lo que indica que es bastante aceptable, el cual reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.
- c. Los valores de Valor-P en la mayoría de los casos son menores a los valores de Razón-F, significa que el proceso es adecuado; los cuales indican para pasar a un modelo cuadrático del proceso.
- d. La varianza del error es 2, es demasiado alto, significa que las variabilidades de los datos no están dentro de la curva de Gauss, estas anomalías y otras se corrigió mediante la optimización del proceso.

Tabla 19: Análisis de varianza para la recuperación del ZnS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	12,5	1	12,5	6,25	0,2422
B:NaCN	40,5	1	40,5	20,25	0,1392
C:Z-11	4,5	1	4,5	2,25	0,3743
D:Acondicionamiento	0,5	1	0,5	0,25	0,7048
AC	8	1	8	4	0,2952
CD	32	1	32	16	0,156
Error total	2	1	2		
Total (corr.)	100	7			

R-cuadrada = 98,0 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,0 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

<sup>3</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más variables independientes y variable(s) dependiente(s).

### **Análisis de la tabla 20:**

Según la tabla N<sup>o</sup> 20, para la optimización o pasar a un modelo matemático segundo orden, solamente se debe tomar en cuenta a los valores de factores más significativos del proceso: CuSO<sub>4</sub> y Z-11, confirmadas en la tabla N<sup>o</sup> 18.

*Tabla 20: Optimizar la recuperación del ZnS  
Maximizar la recuperación de ZnS  
Valor óptimo = 30,50*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
CuSO <sub>4</sub>	2	4	4
NaCN	1	3	1
Z-11	2	4	2
Acondicionamiento	3	5	5

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### **Modelo matemático de primer orden para la recuperación del ZnS**

$$\text{Recuperación Zn} = -8,5 + 4,25 \cdot \text{CuSO}_4 - 2,25 \cdot \text{NaCN} + 11,75 \cdot \text{Z-11} + 5,75 \cdot \text{Acondicionamiento} - 1,0 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} - 2,0 \cdot$$

Según el modelo matemático, se aprecia que el valor -8,5 es negativo, el cual indica que el resultado es adecuado o aceptable, por lo tanto, se debe pasar a un modelo matemático de segundo orden, optimización.

#### **4.1.6. Uso del diseño compuesto central (DCC) para optimización de la concentración y recuperación de Pb-Ag**

Se eligió el DCC, llamado también Diseño Estadístico Experimental, por su gran flexibilidad, porque permite optimizar el gasto del recurso experimental, se construye a partir del diseño factorial fraccionado agregando puntos sobre los ejes o al centro, con la finalidad de buscar el modelo matemático de segundo orden.

Después de la primera etapa de selección de factores activos, según la tabla 7; resultan solamente dos factores con signos positivos, que deben ser maximizados u optimizados para que los efectos sean mayores la concentración y recuperación del plomo;

**Tabla 7: Efectos principales para concentrado de plomo-resumen de análisis**

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	26,75		
A:Molienda	-5		
B:NaCN	4		
C:ZnSO4	0		
D:Z-11	-0,5		
E:Acondic	-5,5		
CD	-3		
DE	-3,5		

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Según la tabla 7; los niveles de trabajo son fijados en la tabla 21.

*Tabla 21: Factores de optimización y sus niveles*

Factores	Nivel (-)	Nivel (+)
NaCN	3	5
ZnSO4	3	5

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.1.6.1. Formulación de la plantilla del DCC para optimizar la concentración y recuperación del Pb-Ag.

Las corridas experimentales se formularon tomando en cuenta la Tabla N<sup>o</sup> 21; ver Tabla N<sup>o</sup> 22

*Tabla 22: Plantilla de corridas experimentales del DCC*

BLOQUE	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Concent Pb %	Recup Pb %
1	4	2,58579		
1	4	4		
1	4	4		
1	3	3		
1	3	5		
1	5,41421	4		
1	5	3		
1	5	5		

1	4	5,41421
1	4	4
1	2,58579	4

---

Nota: **FUENTE:** Elaboración propia.

Habiendo realizado las corridas experimentales según tabla 22, utilizando como agente asistente del promotor PG2000, el resultado se visualiza en las tabla del 23 al 33 (balance metalúrgico)



Tabla 23: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 1		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag
Cabeza	1000.00	0.02	0.69	2.32	23.00	0.74	100.00	100.00	100.00	100.79
Plomo	8.70	0.49	<b>48.62</b>	6.81	1090.00	35.04	11.61	<b>60.00</b>	2.55	<b>55.51</b>
Zinc	33.63	0.11	1.11	<b>25.08</b>	112.00	3.60	10.08	5.41	<b>31.66</b>	22.06
Relave	957.67	0.02	0.24	1.48	4.00	0.13	78.30	33.31	61.09	22.43
Cabeza C.	1000.00	0.04	0.69	2.32	17.08	0.55	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 24: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 2		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton
Cabeza	3700.00	0.02	0.61	2.01	18.88	0.61	100.00	100.00	100.00	100.79
Plomo	25.30	1.30	<b>61.57</b>	5.52	<b>715.00</b>	<b>22.99</b>	22.43	<b>69.00</b>	1.88	<b>30.88</b>
Zinc	69.15	0.08	0.21	<b>46.61</b>	64.00	2.06	3.77	0.64	<b>46.69</b>	7.56
Relave	3605.55	0.03	0.19	1.13	10.00	0.32	73.79	30.35	54.78	61.56
Cabeza C.	3700.00	0.04	0.61	2.01	15.83	0.51	100.00	100.00	103.35	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 25: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 3		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton
Cabeza	3700.00	0.01	0.43	2.06	8.00	0.26	100.00	100.00	100.00	100.79
Plomo	16.27	0.22	<b>61.57</b>	2.57	<b>570.00</b>	<b>570.00</b>	4.35	<b>62.96</b>	0.55	<b>31.33</b>
Zinc	102.06	0.07	0.51	<b>28.30</b>	78.00	78.00	8.67	3.27	<b>37.89</b>	28.45
Relave	3581.67	0.02	0.15	1.31	3.00	3.00	86.98	33.77	61.56	38.40
Cabeza C.	3700.00	0.02	0.43	2.06	7.56	7.56	100.00	100.00	98.64	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 26: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 4		Ensayes					RECUPERACION				
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	
Cabeza	3700.00	0.01	0.57	2.11	18.00	0.58	100.00	100.00	100.00	100.79	
Plomo	26.21	0.27	<b>51.66</b>	5.76	<b>626.00</b>	20.13	8.58	<b>64.20</b>	1.93	<b>17.13</b>	
Zinc	59.67	0.05	0.54	<b>41.69</b>	97.00	3.12	3.62	1.53	<b>45.28</b>	6.04	
Relave	3614.12	0.02	0.20	1.43	20.36	0.65	87.78	34.27	66.20	76.82	
Cabeza C.	3700.00	0.02	0.57	2.11	25.89	0.83	100.00	100.00	113.41	100.00	

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 27: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 5		Ensayes					RECUPERACION				
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	
Cabeza	3700.00	0.01	0.43	2.06	8.00	0.26	100.00	100.00	100.00	100.79	
Plomo	20.39	0.27	<b>47.97</b>	3.35	<b>680.00</b>	21.86	6.60	<b>61.15</b>	0.90	<b>15.32</b>	
Zinc	54.56	0.10	0.60	<b>50.74</b>	89.00	2.86	6.54	2.06	<b>49.28</b>	5.37	
Relave	3625.04	0.02	0.16	1.32	19.80	0.64	86.87	36.46	62.78	79.31	
Cabeza C.	3700.00	0.02	0.43	2.06	24.46	0.79	100.00	100.00	112.96	100.00	

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 28: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 6		Ensayes					RECUPERACION				
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	
Cabeza	3700.00	0.02	0.61	2.01	20.00	0.64	100.00	100.00	100.00	100.79	
Plomo	38.49	1.49	<b>36.72</b>	5.85	<b>844.00</b>	27.14	32.88	<b>62.63</b>	3.03	<b>38.34</b>	
Zinc	72.49	0.13	0.25	<b>46.51</b>	77.00	2.48	32.88	0.80	<b>37.18</b>	6.59	
Relave	3589.02	0.03	0.23	1.07	13.00	0.42	5.40	36.57	51.64	55.07	
Cabeza C.	3700.00	0.05	0.61	2.01	22.90	0.74	100.00	100.00	100.00	100.00	

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 29: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 7		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton
Cabeza	3700.00	0.02	0.56	2.02	26.00	0.84	100.00	100.00	100.00	100.00
Plomo	33.89	1.31	<b>42.10</b>	4.56	<b>910.00</b>	29.26	28.01	<b>68.94</b>	2.07	<b>30.82</b>
Zinc	68.39	0.09	0.49	<b>50.74</b>	71.00	2.28	3.88	1.62	<b>48.90</b>	4.85
Relave	3597.72	0.03	0.17	1.07	17.89	0.58	68.10	29.52	51.51	64.32
Cabeza C.	3700.00	0.04	0.56	2.02	27.04	0.87	100.00	100.08	102.47	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 30: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 8		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton
Cabeza	3700.00	0.02	0.61	2.01	20.00	0.64	100.00	100.00	100.00	100.79
Plomo	33.91	1.42	<b>40.46</b>	5.70	<b>869.00</b>	27.94	38.59	<b>65.28</b>	2.60	<b>37.17</b>
Zinc	83.11	0.06	0.30	<b>40.60</b>	82.00	2.64	4.00	1.10	<b>36.53</b>	8.60
Relave	3582.98	0.02	0.24	1.08	12.00	0.39	57.42	38.10	52.03	54.23
Cabeza C.	3700.00	0.03	0.61	2.01	21.43	0.69	100.00	104.46	91.16	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 31: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 9		Ensayes					RECUPERACION			
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton
Cabeza	3700.00	0.02	0.56	2.02	26.00	0.84	100.00	100.00	100.00	100.79
Plomo	27.60	1.31	<b>51.66</b>	4.56	<b>910.00</b>	29.26	24.03	<b>64.38</b>	1.68	<b>26.58</b>
Zinc	68.83	0.09	0.49	<b>50.74</b>	71.00	2.28	4.12	1.63	<b>49.40</b>	5.17
Relave	3603.57	0.03	0.17	1.07	17.89	0.58	71.85	29.57	51.59	68.24
Cabeza C.	3700.00	0.04	0.56	2.02	25.53	0.83	100.00	95.57	102.67	100.00

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 32: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 10		Ensayes					RECUPERACION				
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	
Cabeza	3700.00	0.01	0.43	2.06	8.00	0.26	100.00	100.00	100.00	100.00	
Plomo	16.49	0.22	<b>61.57</b>	2.57	<b>570.00</b>	570.00	4.50	<b>68.96</b>	0.56	<b>37.15</b>	
Zinc	64.68	0.07	0.51	<b>43.89</b>	78.00	78.00	5.62	2.07	<b>36.53</b>	19.94	
Relave	3618.83	0.02	0.15	1.31	3.00	3.00	89.87	34.12	62.20	42.91	
Cabeza C.	3700.00	0.02	0.43	2.06	6.84	0.22	100.00	100.00	99.28	100.00	

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Tabla 33: Balance metalúrgico del proceso de concentración y recuperación del Pb-Ag y Zn respectivamente

Ensayo 11		Ensayes					RECUPERACION				
Producto	TMS	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	Ag OZ/ton	%Cu	%Pb	%Zn	Ag Gr/ton	
Cabeza	3700.00	0.02	0.56	2.02	26.00	0.84	100.00	100.00	100.00	100.79	
Plomo	29.61	1.12	<b>48.42</b>	4.88	<b>790.00</b>	25.40	28.56	<b>68.84</b>	1.93	<b>24.93</b>	
Zinc	119.21	0.10	0.59	<b>30.80</b>	94.00	3.02	10.27	3.39	<b>36.53</b>	11.94	
Relave	3551.18	0.02	0.16	1.03	16.68	0.54	61.17	27.42	48.94	63.13	
Cabeza C.	3700.00	0.03	0.56	2.02	25.36	0.82	100.00	99.66	87.40	100.00	

Nota. FUENTE: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos experimentales, se digitó en el orden establecido de la tabla 22, se obtiene la tabla 34:

Tabla 34: Resultados de las corridas experimentales

BLOQUE	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Concent Pb %	Recup Pb %
1	4	2,58579	48,62	68
1	4	4	61,57	68,96
1	4	4	61,57	68,96
1	3	3	51,66	64,38
1	3	5	47,97	61,15
1	5,41421	4	36,72	62,63
1	5	3	42,1	68,94
1	5	5	46,06	65,28
1	4	5,41421	51,66	64,38
1	4	4	61,57	68,96
1	2,58579	4	48,42	60,84

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### 4.1.6.2. Análisis e interpretación estadístico de los resultados de optimización en función a la concentración del Pb-Ag.

Habiendo realizado el procesamiento y análisis de los datos del diseño de compuesto central (DCC) en función a la concentración de Pb-Ag, se obtienen las figuras 14 y 15; la tabla 35 y el modelo matemático de segundo orden.

##### Análisis de la figura 14:

Según el diagrama de Pareto, el factor A es negativo, significa que, está en su máximo o punto óptimo, por lo tanto, dicho factor es una constante con el valor máximo de su nivel.

El factor B es positivo, significa que está en su nivel mínimo, debe ser maximizado su valor para obtener el efecto más significativo; siendo el factor de mayor influencia en el

proceso de concentración del Pb-Ag y su respectiva recuperación del mismo.

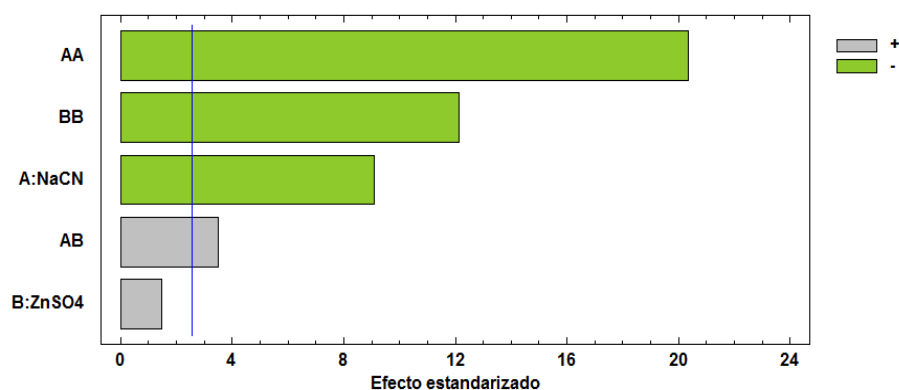


Figura 14: Diagrama de Pareto de optimización para la concentración de Pb-Ag

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la Tabla 35 – ANOVA

La evaluación se realizó a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso 4 efectos con excepción al factor ZnSO<sub>4</sub>, tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado estadísticamente, en este caso se rechazan a la Ho; además las conclusiones son contundentes y no se corre ningún riesgo de rechazar en falso.

Además, el coeficiente de correlación<sup>4</sup> es 99,1038%, es bastante aceptable, con el cual se reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.

La varianza del error es 1,19055, este valor es demasiado alto, significa que las variabilidades de los datos no están dentro de la curva de Gauss, estas anomalías y otras se

<sup>4</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más factores activos y factor o factores respuesta

debe realizar la corrección con más ensayos de optimización del proceso.

El coeficiente de correlación<sup>5</sup> de 99.1038 % es bastante aceptable, el cual reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.

Tabla 35: Análisis de Varianza para Concentrado de Pb – Optimización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:NaCN	98,1141	1	98,1141	82,41	0,0003
B:ZnSO4	2,6097	1	2,6097	2,19	0,1988
AA	493,878	1	493,878	414,83	0
AB	14,6306	1	14,6306	12,29	0,0172
BB	175,002	1	175,002	146,99	0,0001
Error total	5,95276	5	1,19055		
Total (corr.)	664,217	10			

R-cuadrada = 99,1038 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,2076 por ciento

Nota. FUENTE: Elaboración propia

### Análisis de la figura 15:

Los factores cuadráticos, AA y BB del modelo matemático de segundo orden y figura 14, tienen signos negativos con diferentes constantes, en consecuencia, se establece que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio, significa que el proceso está ante una posibilidad de un efecto máximo del producto, ver figura 15.

<sup>5</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más variables independientes y variable(s) dependiente(s).

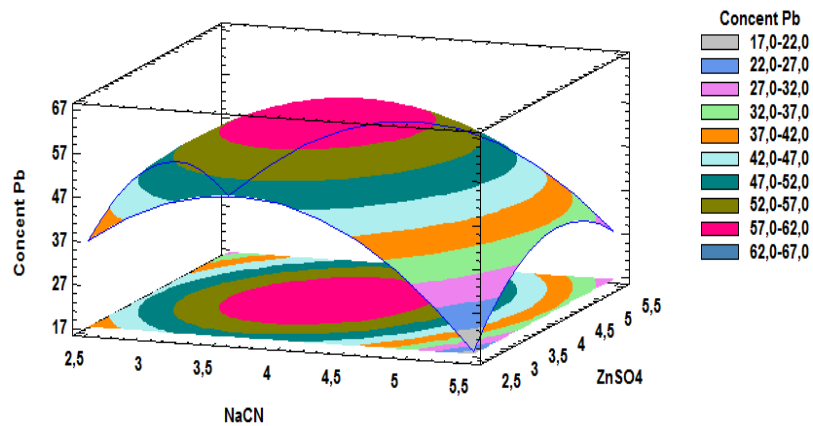


Figura 15: Superficie respuesta estimada de optimización de la Concentración del Pb-Ag

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### **Análisis del modelo matemático de segundo orden:**

$$\begin{aligned} \text{Concent Pb} = & -134,807 + 63,6632 \cdot \text{NaCN} + 37,4562 \cdot \text{ZnSO}_4 - \\ & 9,3519 \cdot \text{NaCN}^2 + 1,9125 \cdot \text{NaCN} \cdot \text{ZnSO}_4 - \\ & 5,56688 \cdot \text{ZnSO}_4^2 \end{aligned}$$

Si los factores NaCN y ZnSO<sub>4</sub> fueran ceros, entonces se establece que la ley del concentrado del plomo-plata está en su valor máximo.

Como los factores A y B tienen signos positivos, significa que, aún se puede maximizar el efecto del proceso de concentración.

#### **4.1.6.3. Análisis e interpretación estadístico de los resultados de optimización en función a la recuperación de Pb-Ag.**

Habiendo realizado el procesamiento y análisis de los datos del diseño de compuesto central (DCC) en función a la recuperación de Pb-Ag, se obtienen las figuras 16 y 17; la tabla 36 y el modelo matemático de segundo orden.

#### **Análisis de la figura 16:**



Según el diagrama de Pareto, el factor B es negativo, significa que, está en su valor máximo o punto óptimo, por lo tanto, dicho factor es una constante con el valor máximo de su nivel; el factor A es positivo, significa que está en su mínimo, debe ser maximizado su valor para obtener el efecto más significativo; siendo el factor de mayor influencia en el proceso de recuperación del Pb-Ag.

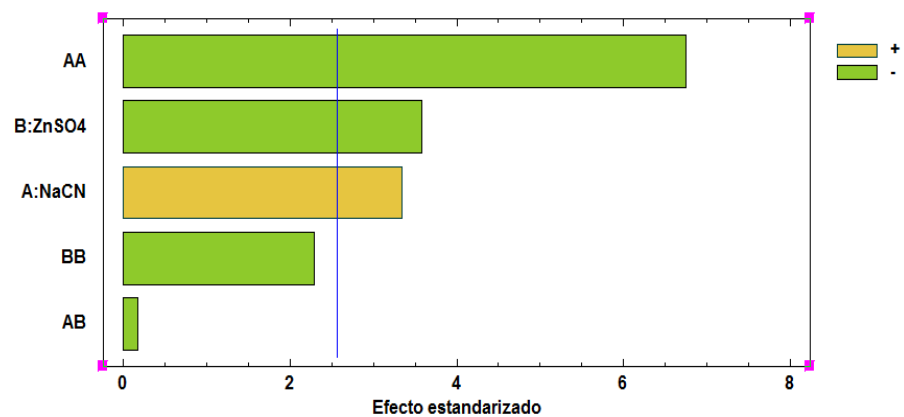


Figura 16: Diagrama de Pareto de optimización para la recuperación de Pb-Ag

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la Tabla 36 – ANOVA

La evaluación se realizó a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso los factores A y B y la curvatura AA con excepción a la interacción AB y la curvatura BB tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado estadísticamente, en este caso se rechazan a la  $H_0$ ; además las conclusiones son contundentes y no se corre ningún riesgo de rechazar en falso.

Además, el coeficiente de correlación<sup>6</sup> es 93,3055%, es bastante aceptable, con el cual se reafirma que el proceso es cuadrático y el modelo se ajusta al trabajo de investigación.

**Tabla 36: Análisis de Varianza para Recuperación de Pb – Optimización**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:NaCN	15,7401	1	15,7401	11,19	0,0204
B:ZnSO4	18,0284	1	18,0284	12,81	0,0159
AA	64,0854	1	64,0854	45,55	0,0011
AB	0,046225	1	0,046225	0,03	0,8633
BB	7,35494	1	7,35494	5,23	0,071
Error total	7,03414	5	1,40683		
Total (corr.)	105,074	10			

R-cuadrada = 93,3055 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,6111 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la figura 17:

Los factores cuadráticos, AA y BB del modelo matemático de segundo orden, tienen signos negativos con diferentes constantes, en consecuencia, se establece que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio, significa que el proceso está ante una posibilidad de un efecto máximo del producto, este criterio es confirmado en la figura 17.

<sup>6</sup> Es la relación lineal entre sí, de dos o más variables independientes y variable(s) dependiente(s).

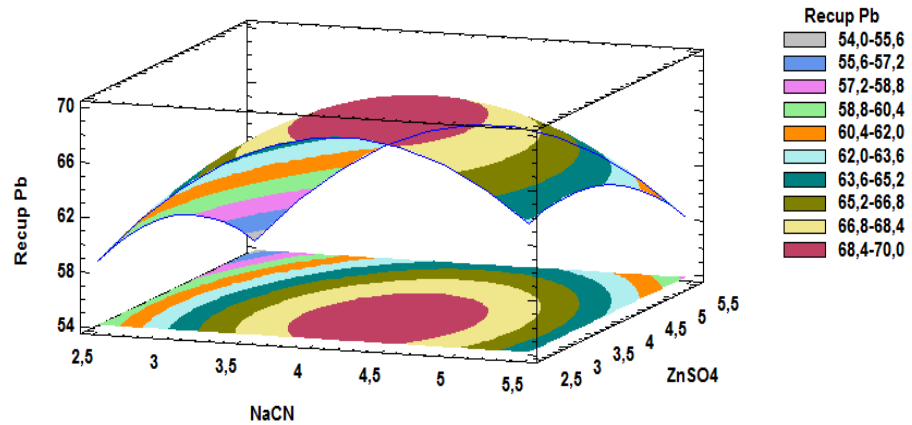


Figura 17: Superficie respuesta estimada de optimización de la recuperación de Pb-Ag

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### **Análisis del modelo matemático de segundo orden:**

$$\text{Recup Pb} = -4,52611 + 28,7828 \cdot \text{NaCN} + 8,0588 \cdot \text{ZnSO}_4 - 3,36876 \cdot \text{NaCN}^2 - 0,1075 \cdot \text{NaCN} \cdot \text{ZnSO}_4 - 1,14125 \cdot \text{ZnSO}_4^2$$

- Si los factores NaCN y ZnSO<sub>4</sub> fueran ceros, entonces se establece que la recuperación del plomo-plata está en su valor máximo.
- Como los factores A y B tienen signos positivos, aún se puede maximizar el efecto del proceso de concentración.

#### **4.1.7. Plantilla del DCC para optimizar la concentración y recuperación del ZnS.**

Según la tabla N<sup>o</sup> 15; después de la primera etapa de selección de factores activos, resulta solamente dos factores con signos positivos, deben ser maximizados u optimizados para que los efectos sean mayores, ellos son el CuSO<sub>4</sub> (A) y el Z-11 (B); para maximizar la concentración y recuperación final del zinc, para fijar los niveles de los factores mencionados se usó la tabla N<sup>o</sup> 17, ver tabla N<sup>o</sup> 37.

Tabla N 15: Efectos principales para la concentración del ZnS-  
resumen de análisis

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	22,25	+/- 12,7062	
A:CuSO4	1,5	+/- 25,4124	1
B:NaCN	-3	+/- 25,4124	1
C:Z-11	0	+/- 25,4124	1
D:Acondicionamiento	-0,5	+/- 25,4124	1
AC	-3	+/- 25,4124	1
BC	2,5	+/- 25,4124	1

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

**Tabla N 17: Optimizar el concentrado de ZnS**

Valor óptimo = 27,4981

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
CuSO4	2	4	3,99967
NaCN	1	3	1,0002
Z-11	2	4	2
Acondicionamiento	3	5	3,0023

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

**Tabla 37: Factores de optimización y sus niveles**

Factores	Nivel (-)	Nivel (+)
CuSO <sub>4</sub>	3	5
Z-11	1	3

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia.

#### 4.1.7.1. Formulación de la plantilla del DCC para optimizar la concentración y recuperación ZnS.

Se formuló la plantilla de las corridas experimentales tomando en cuenta la Tabla N<sup>o</sup> 37; ver Tabla N<sup>o</sup> 38.

Tabla 38: Plantilla de corridas experimentales del DCC para la optimización de procesamiento del ZnS

BLOQUE	CuSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Concent Zn %	Recup Zn %
1	5	1		
1	4	3,41421		
1	5	3		
1	3	3		
1	4	2		
1	3	1		
1	4	2		
1	2,58579	2		
1	4	2		
1	4	0,585786		
1	5,41421	2		

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Habiendo cumplido con los ensayos experimentales en el laboratorio en el orden establecido en la tabla N<sup>o</sup> 38 y los análisis químicos respectivamente, los resultados son digitados en la tabla 38, se obtiene la Tabla N<sup>o</sup> 39;

Tabla 39: Resultados de las corridas experimentales para la optimización del procesamiento del ZnS

BLOQUE	CuSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Concent Zn %	Recup Zn %
1	5	1	25,08	31,66
1	4	3,41421	46,61	46,69
1	5	3	28,3	36,53
1	3	3	41,69	45,28
1	4	2	50,74	49,28
1	3	1	46,51	37,18
1	4	2	50,74	48,9
1	2,58579	2	40,6	36,53
1	4	2	50,74	49,4
1	4	0,585786	43,89	36,53
1	5,41421	2	30,8	36,53

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### 4.1.7.2. Análisis e interpretación estadístico de los resultados de optimización en función a la concentración del ZnS

Habiendo realizado el análisis estadístico del diseño experimental, se llegó a obtener las figuras 18 y 19, además la tabla 40.

### **Análisis del diagrama de Pareto de optimización (figura 18).**

Según el diagrama de Pareto, el factor A es negativo, significa que, está en su valor máximo o punto óptimo, por lo tanto, dicho factor es una constante con el valor máximo de su nivel.

El factor B es positivo, significa que está en su mínimo, debe ser maximizado su valor para obtener el efecto más significativo; siendo el factor de mayor influencia en el proceso de concentración del ZnS.

El signo de la interacción **AB** es positivo, esto significa que hay interacción entre los factores **A** y **B**, además indica que dicha interacción está en su mínimo, en consecuencia, se debe ser maximizado para obtener la mejor respuesta.

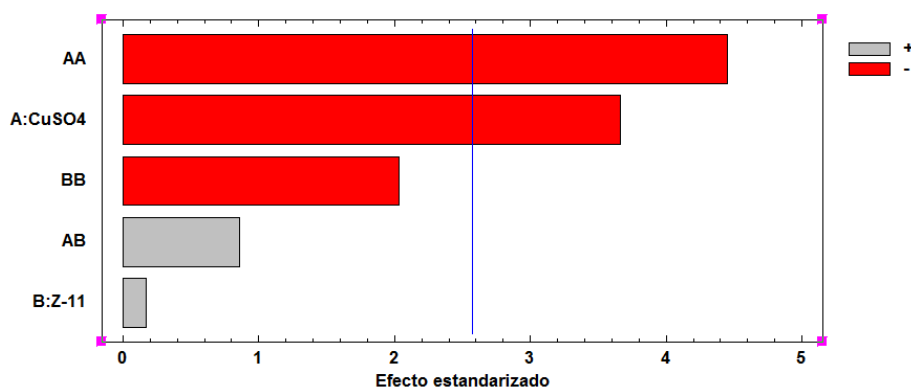


Figura 18: Diagrama de Pareto de optimización para la concentración de ZnS.

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### **Análisis de la figura 19, análisis de las cuadraturas**

Según la figura 18, el signo de las cuadraturas **AA** y **BB** son negativos, los cuales indican claramente que ambas cuadraturas están en su valor máximo, esto significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso; además establecen que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio, significa que el proceso está ante una posibilidad de un efecto máximo del producto, confirmada en la figura 19.

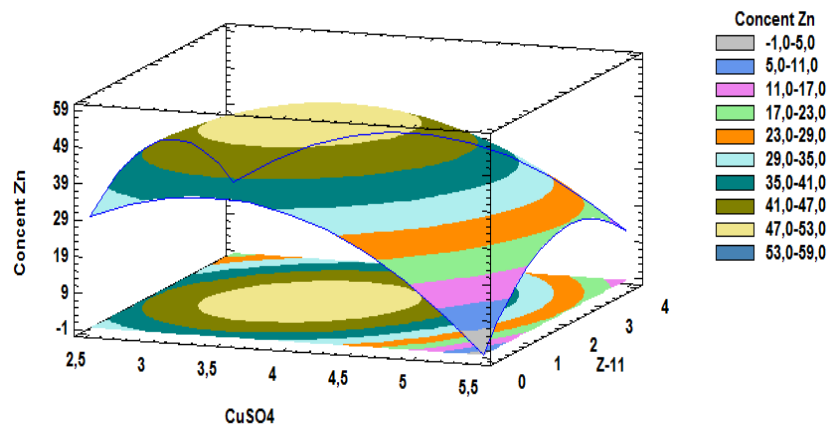


Figura 19: Superficie respuesta estimada de optimización de la concentración de ZnS

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### **Análisis de la Tabla 40 – ANOVA**

La evaluación se realizó a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso el efecto A y la curvatura AA con excepción al efecto B, la interacción AB y la curvatura BB tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado estadísticamente, en este caso se rechaza a la  $H_0$ .; además las conclusiones son contundentes y se corre el riesgo de rechazar en falso.

Además, el coeficiente de correlación (R- cuadrado = 87,3607%), establece que el modelo matemático se ajusta

al proceso, pero, la varianza del error (cuadrado medio = mean square = 22,0477) es mayor a 1, el cual indica que la variabilidad de los datos no es adecuado para el trabajo de investigación, esto significa no que está dentro de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que el trabajo debe ser desarrollado con otras corridas experimentales, para optimizar el proceso hasta obtener el valor del cuadrado medio menor a la unidad, continuar con la investigación.

Tabla 40: Análisis de Varianza para Concentrado de ZnS- Optimización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	296,21	1	296,21	13,43	0,0145
B:Z-11	0,630892	1	0,630892	0,03	0,8723
AA	436,316	1	436,316	19,79	0,0067
AB	16,1604	1	16,1604	0,73	0,431
BB	91,0318	1	91,0318	4,13	0,0979
Error total	110,238	5	22,0477		
Total (corr.)	872,191	10			

R-cuadrada = 87,3607 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 74,7215 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden:

$$\text{Concent Zn} = -66,1026 + 60,2154 \cdot \text{CuSO}_4 + 8,30084 \cdot \text{Z-11} - 8,79004 \cdot \text{CuSO}_4^2 + 2,01 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} - 4,015 \cdot \text{Z-11}^2$$

- Si los valores de los factores CuSO<sub>4</sub> y Z-11, son ceros, se establece que la ley del concentrado del ZnS se encuentra en su valor máximo (-66,1026)
- El signo de los factores CuSO<sub>4</sub> y Z-11son positivos, significa que estos factores deben ser maximizados para obtener una buena respuesta, buen concentrado de ZnS,



#### 4.1.7.3. Análisis e interpretación estadístico de los resultados de optimización en función a la recuperación del ZnS

Habiendo realizado el análisis estadístico del diseño experimental de recuperación del ZnS, se llegó a obtener las figuras 20 y 21, además la tabla 41.

##### Análisis del diagrama de Pareto de optimización (figura 20).

Según el diagrama de Pareto, el factor **A** es negativo, significa que, está en su valor máximo o punto óptimo, por lo tanto, dicho factor es una constante con el valor máximo de su nivel.

El factor **B** es positivo, significa que está en su mínimo, debe ser maximizado su valor para obtener el efecto más significativo; siendo el factor de mayor influencia en el proceso de recuperación del ZnS.

El signo de la interacción **AB** es negativo, esto significa que no hay interacción entre los factores **A** y **B**.

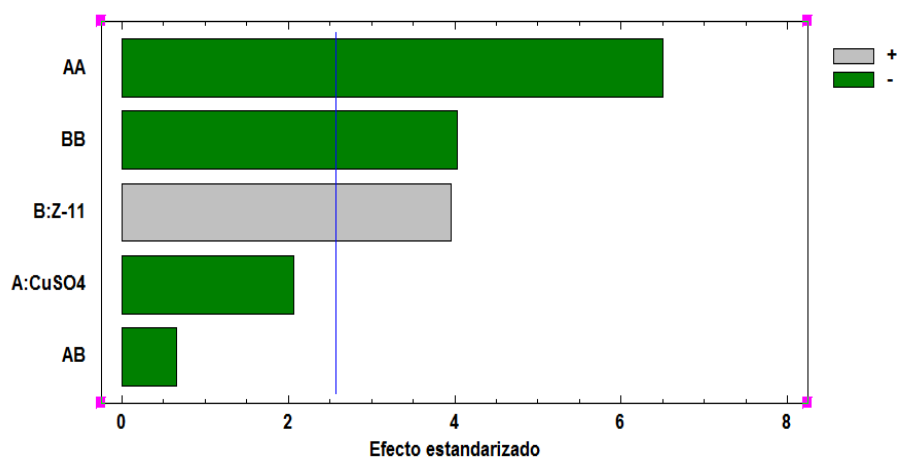


Figura 20: Diagrama de Pareto de optimización para la recuperación de ZnS.

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la figura 21, análisis de las cuadraturas

Según la figura 21, el signo de las cuadraturas **AA** y **BB** son negativos, los cuales indican claramente que ambas cuadraturas están en su valor máximo, esto significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso; además establecen que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio, significa que el proceso está ante una posibilidad de un efecto máximo del producto, confirmada mediante la figura 20.

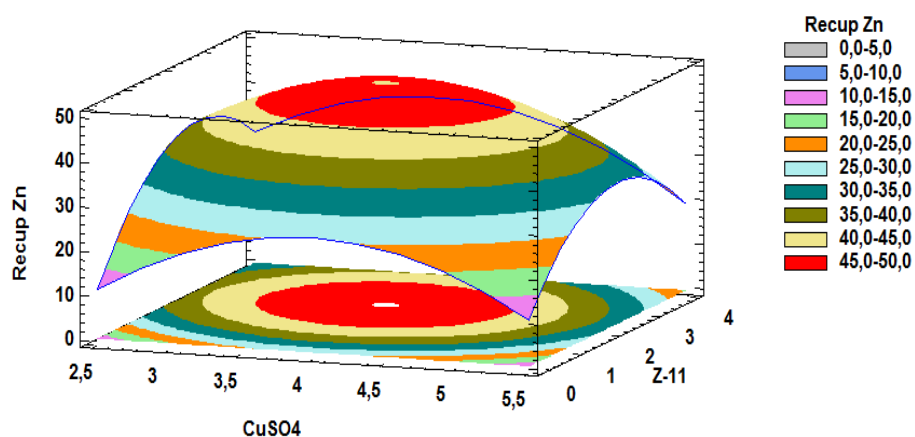


Figura 21: Superficie respuesta estimada de optimización de la recuperación de ZnS

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis de la Tabla 41 – ANOVA

La evaluación se realizó a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso el efecto B y las curvaturas AA y BB con excepción al efecto A y a la interacción AB, tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado

estadísticamente, en este caso se rechazan a la  $H_0$ ; además las conclusiones son contundentes y no se corre ningún riesgo de rechazar en falso.

Además, el coeficiente de correlación (R- cuadrado = 93,1162 %), establece que el modelo matemático se ajusta al proceso, pero, la varianza del error (cuadrado medio = mean square = 5,95933) es mayor a 1, el cual indica que la variabilidad de los datos no es adecuado para el trabajo de investigación, esto significa no que está dentro de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que el trabajo debe ser desarrollado con otras corridas experimentales, para optimizar el proceso hasta obtener el valor del cuadrado medio menor a la unidad, continuar con la investigación.

Tabla 41: Análisis de Varianza para recuperación de ZnS- Optimización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	25,4542	1	25,4542	4,27	0,0936
B:Z-11	93,4231	1	93,4231	15,68	0,0107
AA	252,253	1	252,253	42,33	0,0013
AB	2,60822	1	2,60822	0,44	0,5375
BB	96,9537	1	96,9537	16,27	0,01
Error total	29,7966	5	5,95933		
Total (corr.)	432,854	10			

R-cuadrada = 93,1162 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,2325 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden:

$$\text{Recup Zn} = -80,4775 + 53,2998 \cdot \text{CuSO}_4 + 23,2215 \cdot \text{Z-11} - 6,68357 \cdot \text{CuSO}_4^2 - 0,8075 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} - 4,14354 \cdot \text{Z-11}^2$$

- Si los valores de los factores  $\text{CuSO}_4$  y Z-11, son ceros, se establece que la recuperación del ZnS se encuentra en su valor máximo (-80,4775)
- El signo de los factores  $\text{CuSO}_4$  y Z-11 son positivos, significa que estos factores deben ser maximizados para obtener una buena respuesta, buena recuperación de ZnS,

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Optimización de concentración y recuperación del Pb-Ag.

Analizando la tabla 34, los mejores resultados se obtienen en los ensayos 2; 3 y 10, con ley de concentrado del 61,57% y recuperación de promedio de 68% de sulfuro de plomo con plata del: 30,88; 33,14 y 37,15 Oz/T respectivamente; estos resultados satisfactorios son confirmadas por la tablas 35 y 36; figuras 14 y 16, además modelos matemáticos de segundo orden respectivamente, y ver ítems (a) y (b) respectivamente.

Tabla 34: Resultados de las corridas experimentales

BLOQUE	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Concent Pb %	Recup Pb %
1	4	2,58579	48,62	68
1	4	4	61,57	68,96
1	4	4	61,57	68,96
1	3	3	51,66	64,38
1	3	5	47,97	61,15
1	5,41421	4	36,72	62,63
1	5	3	42,1	68,94
1	5	5	46,06	65,28
1	4	5,41421	51,66	64,38
1	4	4	61,57	68,96
1	2,58579	4	48,42	60,84

Nota. Fuente: Elaboración propia

#### a. Concentración de Pb-Ag

**Tabla 35: Análisis de Varianza para Concentrado de Pb – Optimización**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:NaCN	98,1141	1	98,1141	82,41	0,0003
B:ZnSO4	2,6097	1	2,6097	2,19	0,1988
AA	493,878	1	493,878	414,83	0
AB	14,6306	1	14,6306	12,29	0,0172
BB	175,002	1	175,002	146,99	0,0001
Error total	5,95276	5	1,19055		
Total (corr.)	664,217	10			

R-cuadrada = 99,1038 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,2076 por ciento

Nota. FUENTE: Elaboración propia

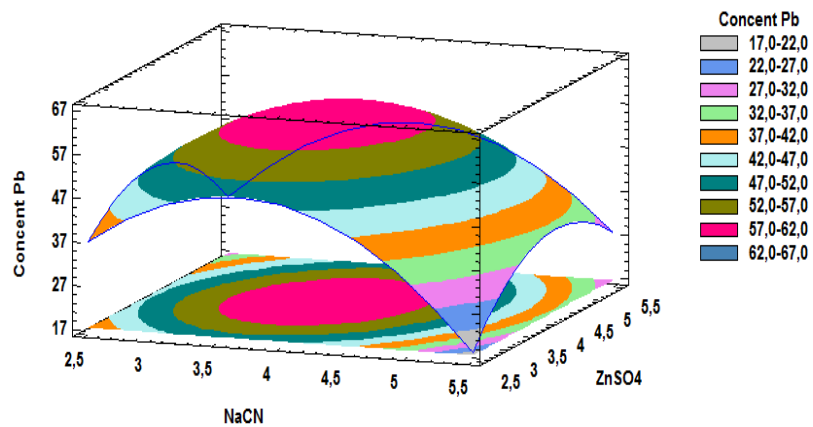


Figura N 14: Superficie respuesta estimada de optimización de la Concentración del Pb-Ag

Nota. FUENTE: Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden:

$$\text{Concent Pb} = -134,807 + 63,6632 \cdot \text{NaCN} + 37,4562 \cdot \text{ZnSO}_4 - 9,3519 \cdot \text{NaCN}^2 + 1,9125 \cdot \text{NaCN} \cdot \text{ZnSO}_4 - 5,56688 \cdot \text{ZnSO}_4^2$$

### b. Recuperación Pb-Ag

**Tabla 36: Análisis de Varianza para Recuperación de Pb –Ag Optimización**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:NaCN	15,7401	1	15,7401	11,19	0,0204
B:ZnSO4	18,0284	1	18,0284	12,81	0,0159
AA	64,0854	1	64,0854	45,55	0,0011
AB	0,046225	1	0,046225	0,03	0,8633

BB	7,35494	1	7,35494	5,23	0,071
Error total	7,03414	5	1,40683		
Total (corr.)	105,074	10			

R-cuadrada = 93,3055 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,6111 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

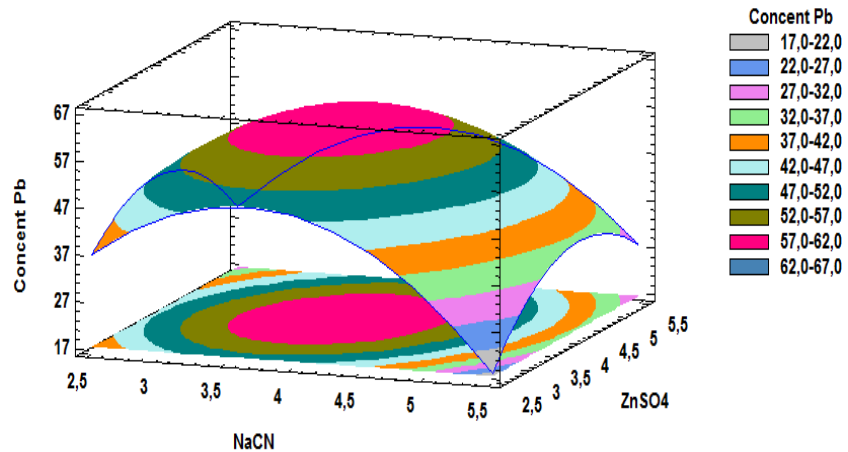


Figura 16: Superficie respuesta estimada de optimización de la Concentración del Pb-Ag

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

#### **Análisis del modelo matemático de segundo orden:**

$$\begin{aligned} \text{Recup Pb} = & -4,52611 + 28,7828*\text{NaCN} + 8,0588*\text{ZnSO4} - \\ & 3,36876*\text{NaCN}^2 - 0,1075*\text{NaCN}*\text{ZnSO4} - \\ & 1,14125*\text{ZnSO4}^2 \end{aligned}$$

#### **4.2.2. Optimización de la concentración y recuperación ZnS.**

Analizando la tabla 39, los mejores resultados se obtienen en los ensayos 5; 7 y 9, con ley de concentrado de sulfuro de zinc 50,74% con una recuperación de promedio de 49% de sulfuro de zinc respectivamente; estos resultados satisfactorios son confirmadas por las tablas 40 y 41; figuras 18 y 20 y los modelos matemáticos de segundo orden, todos ellos se encuentran en los ítems (a) y (b) respectivamente.

Tabla N 39: Resultados de las corridas experimentales para la optimización del procesamiento del ZnS

BLOQUE	CuSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Concent Zn %	Recup Zn %
1	5	1	25,08	31,66
1	4	3,41421	46,61	46,69
1	5	3	28,3	36,53
1	3	3	41,69	45,28
1	4	2	50,74	49,28
1	3	1	46,51	37,18
1	4	2	50,74	48,9
1	2,58579	2	40,6	36,53
1	4	2	50,74	49,4
1	4	0,585786	43,89	36,53
1	5,41421	2	30,8	36,53

Nota. FUENTE: Elaboración propia

### a. Concentración de ZnS

Tabla 40: Análisis de Varianza para Concentrado de ZnS-Optimización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	296,21	1	296,21	13,43	0,0145
B:Z-11	0,630892	1	0,630892	0,03	0,8723
AA	436,316	1	436,316	19,79	0,0067
AB	16,1604	1	16,1604	0,73	0,431
BB	91,0318	1	91,0318	4,13	0,0979
Error total	110,238	5	22,0477		
Total (corr.)	872,191	10			

R-cuadrada = 87,3607 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 74,7215 por ciento

Nota. FUENTE: Elaboración propia

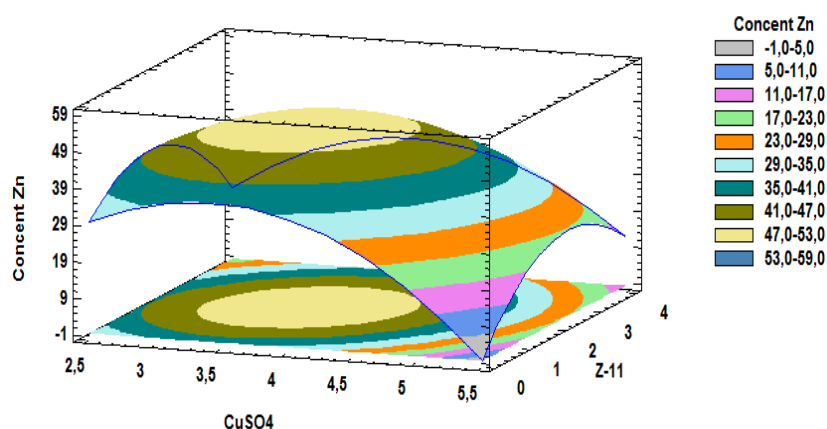


Figura N 18: Superficie respuesta estimada de optimización de la concentración de ZnS

Nota. FUENTE: Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden:

$$\text{Concent Zn} = -66,1026 + 60,2154 \cdot \text{CuSO}_4 + 8,30084 \cdot \text{Z-11} - 8,79004 \cdot \text{CuSO}_4^2 + 2,01 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} - 4,015 \cdot \text{Z-11}^2$$

## b. Recuperación de ZnS

**Tabla 41: Análisis de Varianza para recuperación de ZnS-Optimización**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CuSO4	25,4542	1	25,4542	4,27	0,0936
B:Z-11	93,4231	1	93,4231	15,68	0,0107
AA	252,253	1	252,253	42,33	0,0013
AB	2,60822	1	2,60822	0,44	0,5375
BB	96,9537	1	96,9537	16,27	0,01
Error total	29,7966	5	5,95933		
Total (corr.)	432,854	10			

R-cuadrada = 93,1162 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,2325 por ciento

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

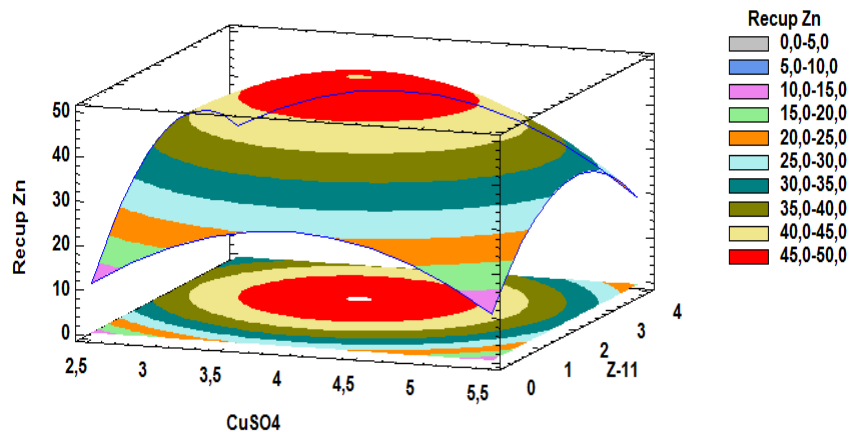


Figura N 20: Superficie respuesta estimada de optimización de la recuperación de ZnS

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden:

$$\text{Recup Zn} = -80,4775 + 53,2998 \cdot \text{CuSO}_4 + 23,2215 \cdot \text{Z-11} - 6,68357 \cdot \text{CuSO}_4^2 - 0,8075 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{Z-11} - 4,14354 \cdot \text{Z-11}^2$$

#### 4.2.3. Determinación de las condiciones óptimas del proceso.

Continuar con la investigación con los valores óptimos de los factores manipulables del proceso de tratamiento de los minerales marginales del presente trabajo de investigación:

##### a. Tratamiento del Pb-Ag



La combinación de los niveles de los factores más significativos del proceso, maximizan la concentración y la recuperación del Pb-Ag; hacer usos de las tablas 42 y 43

➤ **Concentración del Pb-Ag**

Tabla 42: Optimizar concentración Pb-Ag  
Meta: maximizar Concentrado PbS-Ag  
Valor óptimo = 61,8999

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
NaCN	2,58579	5,41421	3,81474
ZnSO4	2,58579	5,41421	4,01928

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

➤ **Recuperación del Pb-Ag**

Tabla 43: Optimizar recuperación Pb-Ag  
Meta: maximizar Recuperación PbS-Ag  
Valor óptimo = 69,6149

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
NaCN	2,58579	5,41421	4,21913
ZnSO4	2,58579	5,41421	3,33202

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

**b. Tratamiento del ZnS**

La combinación de los niveles de los factores más significativos del proceso, maximizan la concentración y la recuperación del Zn; hacer usos de las tablas 44 y 45

➤ **Concentración del ZnS**

Tabla 44: Optimizar Concentración ZnS  
Meta: maximizar Concentración de ZnS  
Valor óptimo = 51,8041%

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
CuSO4	2,58579	5,41421	3,64769
Z-11	0,585786	3,41421	1,9467

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

➤ **Recuperación del ZnS**

Tabla 45: Optimizar recuperación ZnS  
Meta: maximizar Recuperación ZnS  
Valor óptimo = 50,0665

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
--------	------	------	--------

CuSO4	2,58579	5,41421	3,84082
Z-11	0,585786	3,41421	2,4281

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

### 4.3. Prueba de hipótesis

La finalidad central de la investigación constituye la prueba de hipótesis, mediante el cual se trata de comprobar si los hechos observados concuerdan con las hipótesis formuladas; por lo tanto, la hipótesis se comprueba o se contrasta, en:

- a. Ingeniería: Mediante métodos científicos (teoría-empirismo)
- b. Ciencias sociales: Mediante documentos o información documental o por muestreo o entrevista.

#### 4.3.1. Tipos de hipótesis.

##### a. Hipótesis conceptual.

Esta hipótesis es formulada teóricamente, relacionando el marco teórico con los posibles resultados de la investigación; que finalmente será confirmada o desconfirmada según los resultados de la investigación.

##### b. Hipótesis de trabajo o experimental.

Conocido como hipótesis experimental, es formulada en términos de variables o factores experimentales, al final se analiza los resultados (efecto) que pueden ser, positivas o negativas.

##### c. Hipótesis estadísticas.

Es la confirmación de las hipótesis de trabajo mediante los análisis o pruebas estadísticas, mediante el nivel de significancia prefijada, para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar a la hipótesis alterna ( $H_1$ ) o viceversa.

#### **4.3.2. Criterio de rechazo o aceptación a la $H_0$ .**

En ciencias naturales existen tres criterios para decidir cuándo rechazar o aceptar a la hipótesis nula, en caso contrario rechazar o aceptar a a hipótesis alternativa, respectivamente, por lo tanto:

Se rechaza  $H_0$  si la significancia observada es menor a la significancia dada, o sea, si  $p \text{ value} < \alpha$ , si es así surge la probabilidad o evidencia a favor de  $H_0$ .; en caso contrario se acepta a la  $H_0$ .

##### **a. Rechazo de la $H_0$ en función a la concentración del Pb-Ag**

Tomando en cuenta la tabla 35 y figura 14, se realizó la evaluación a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso 4 efectos con excepción del factor  $ZnSO_4$ , tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado estadísticamente al inicio de las formulaciones del diseño experimental, en este caso se rechaza a la  $H_0$ .

##### **b. Rechazo de la $H_0$ en función a la recuperación de Pb-Ag**

Tomado en cuenta la tabla 36 y figura 16, se realizó la evaluación a partir del P.Value de Pareto, en el presente caso los factores A y B y la curvatura AA con excepción a la interacción AB y la curvatura BB tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia fijado estadísticamente, en este caso se rechazan a la  $H_0$ .

##### **c. Rechazo de la $H_0$ en función a la concentración de ZnS**

Para este análisis se tomó en cuenta la tabla 40 y figura 18, se observa claramente que los valores del P.Value de Pareto, para

el efecto A y la curvatura AA con excepción del efecto B, la interacción AB y la curvatura BB tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia prefijado estadísticamente, en este caso se rechaza a la  $H_0$ .

**d. Rechazo de la  $H_0$  en función recuperación de ZnS**

Teniendo como referencia a la tabla 41 y la figura 20, en los cuales se observa que los valor de P.Value de Pareto, para el efecto B y las curvaturas AA y BB con excepción al efecto A y a la interacción AB, tienen valores inferiores al 5% de nivel de significancia prefijado estadísticamente, en este caso se rechazan a la  $H_0$ .

En todos los casos fijados en (a); (b); (c) y (d), además las conclusiones son contundentes y no se corre ningún riesgo de rechazar en falso.

**4.3.3. Rechazo a la  $H_0$  estadísticamente.**

**Determinación del F crítico teniendo como referencia las tablas.**

- a. El F crítico para la concentración Pb-Ag (tabla 35) y recuperación de Pb-Ag (tabla 36) para un nivel de confianza al 95% es: 6,608
- b. El F crítico para la concentración y recuperación de Zn, tablas 40 y 41 respectivamente; para un nivel de confianza del 95% es: 6,608.

Se rechaza a la  $H_0$  cuando el  $F_{\text{tabulada}} > F_{\text{crítico}}$ .

Por ejemplo: En el presente caso  $F_{(\text{NaCN}, 82.40)} > F_{(\text{NaCN}; 6,608)}$

Por lo tanto, por los considerandos líneas arriba, se rechaza contundentemente a la  $H_0$ .

## Curva de Gauss para la prueba de hipótesis

Tabla 46: Datos estadísticos para concentración de Pb y Ag

<b>Resumen Estadístico para Concentrado Pb</b>	
Recuento	11
Promedio	50,72
Mediana	48,62
Desviación Estándar	815,00%
Coefficiente de Variación	16,07%
Mínimo	36,72
Máximo	61,57
Rango	24,85
Sesgo Estandarizado	0,0934257
Curtosis Estandarizada	-0,398881

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

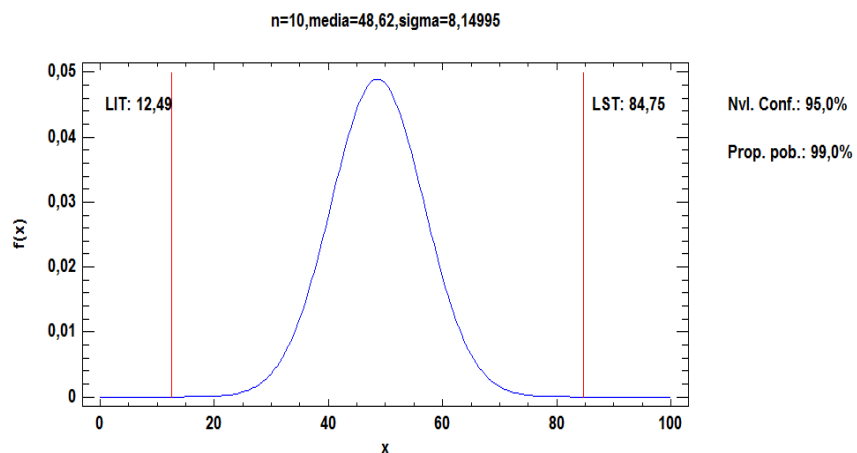


Figura 22: Límites de tolerancia normal

**Nota. FUENTE:** Elaboración propia

Los datos se encuentran dentro de la curva de Gauss, se rechaza a la  $H_0$

#### 4.4. Discusión de resultados.

Los autores proponen el tratamiento de minerales marginales y desmonte mediante el método de **ore sorting y lixiviación en pilas** o la tecnología de **pre-concentración basada en sensores**, en inglés ore sorting.

En la década del 70, algunas empresas mineras fundamentalmente americanas y canadienses empiezan la aplicación de la tecnología de la

lixiviación en situ con la finalidad de recuperar los minerales de baja ley remanentes de la explotación por el método de tajo abierto y subsuelo, como también en minerales no disturbados, teniendo como objetivo principal generar las mayores utilidades posibles para los accionistas, demostrando que es rentable tanto con pre-concentración como con lixiviación en pilas. De estas alternativas resultó ser más rentable utilizar sólo la pre-concentración.

A diferencia de la poca cantidad de autores, traté de solucionar el problema por lo menos en parte mediante la concentración por espumas, usando los reactivos estándares muy conocidos, la diferencia importante fue uso de un reactivo sintetizado por mi persona con la ayuda o con el tutor de los profesores de nuestra escuela, finalmente obteniendo el colector asistente del colector estándar, llamado PG2000, este fue el secreto para flotar en forma directa a los minerales de plomo y zinc; pero aún falta investigar más, para obtener resultados muy satisfactorios, tal como indica en el fondo de la presente tesis, para ello se debe analizar a las tablas y figuras para proponer alternativas de flotación directa por espumas.

## CONCLUSIONES

1. Realizadas las corridas experimentales de optimización, se obtiene la tabla 34; se observa claramente que el concentrado obtenido de PbS es del orden del 61,57% con una recuperación del 68,96%.
2. Realizadas las corridas experimentales de optimización, se obtiene la tabla 39; se observa claramente que el concentrado obtenido de ZnS es del orden del 50,74% con una recuperación del 49,40%.
3. En la tabla 35, en el análisis del ANOVA para el concentrado PbS el Valor-P es menor al 5% de nivel de significancia, pero el Valor-P del factor  $ZnSO_4$  es mayor al 5% de nivel de significancia; algo semejante ocurre en la tabla 36 de la recuperación de PbS, pero los modelos matemáticos en ambos casos son negativos, significa que se puede rechazar a la  $H_0$ .
4. En la tabla 40, en el análisis del ANOVA para el concentrado ZnS el Valor-P es menor al 5% de nivel de significancia, pero el Valor-P del factor Z-11 es mayor al 5% de nivel de significancia; algo semejante ocurre en la tabla 41 de la recuperación de ZnS, pero los modelos matemáticos en ambos casos son negativos, significa que se puede rechazar a la  $H_0$ .
5. Analizado al ítem 4.3.3; los valores de F tabulado son mayores a los valores de F crítico, en consecuencia, se afirma una vez más el rechazo a la hipótesis nula ( $H_0$ ) del proceso de investigación del tratamiento de los minerales marginales.

## **RECOMENDACIONES**

1. Para continuar con el proceso de investigación para obtener mayores resultados de concentrados y recuperaciones, realizar las corridas experimentales tomando en cuenta las tabla 42; 43; 44 y 45 del presente trabajo de tesis
2. El metalurgista debe incidir en las evaluaciones de los colectores existentes, con la finalidad de mejorar el procesamiento de los minerales marginales.



## BIBLIOGRAFÍA

- Baldeon Rivera, N. (2013). Optimización del proceso LPF para mejorar la recuperación de los minerales mixtos de cobre en la Compañía Miera Nueva Californea-Ancash-2013. *Título Profesional de Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.
- Baraqui Schwarze, J. (2012). Estimación de volumen y ley de mineral remanente en Panel Caving. *Título de Ingeniero Civil de Minas*. Universidad de Chile, Chile.
- Bendezú Benavides, R. (2001). *Lixiviación in situ, tecnología limpia para la explotación de la mina Moterrosas*. Tesis para optar el grado de maestro, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Bolívar Cañupan, R. (2013). Planificación geo-minero-metalúrgica para análisis de opciones de minerales marginales en Rodomiro Tomic. *Título de Ingeniero Civil de Minas*. Universidad de Chile, Chile.
- Empresa Minera los Quenuales. (2004). *Manual de Flotación*. Casapalca: Planta Concentradora.
- Gallegos Gutiérrez, A. R. (2017). Evaluación económica de alternativas para la explotación y tratamiento de mineral marginal mediante "Ore Sorting" y lixiviación en pilas en U.P. Alpacay, Minera Yanaquihua S.A.C., Arequipa-Perú, 2017. *Título Profesional de Ingeniero de Minas*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú.
- Gómez Bastar, S. (2012). *Metodología de la Investigación*. México: RED Tercer Milenio.

Gutierrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: Mc Graw Hill.

Pacompía Mamani, S. (2017). Investigación para la determinación de los parámetros de flotación para minerales polimetálicos de Pb-AG-Zn con presencia de pirrotita. *Optar el Título Profesional de Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Palacios C., S. (2004). *Diseño de Experimentos Aplicado a Ciencia y Tecnología*. Lima: CONCYTEC.

Tribeño Cerna, V. A. (2012). Muestreo de pulpas de minerales en plantas de beneficio. *Título Profesional de Ingeniero Metalurgista*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Universidad Privada de Tacna. (2014). *Protocolo de investigación de la Facultad de Ciencias Empresariales*. Tacna, Perú: Facultad de Ciencias Empresariales.

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación Aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia. *Revista Educación*, 33(1). Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

## **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### Procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc del depósito pampa seca - Paragsha a nivel laboratorio, Pasco - 2019

Tabla 1: Matriz de consistencia

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	PROBLEMA GENERAL Y ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS	HIPOTESIS GENERAL Y ESPECIFICOS	VARIABLES E INDICADORES	DISEÑO DE INVESTIGACION	METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION	POBLACION Y MUETRSA DE ESTUDIO
<b>Procesamiento de minerales marginales para recuperar Plomo y Zinc del depósito Pampa Seca-Paragsha a nivel laboratorio, Pasco-2019</b>	<b>PROBLEMA GENERAL</b>  ¿De qué manera se puede realizar el procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc?	<b>OBJETIVO GENERAL</b>  “Analizar y describir el procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc”.	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>  El procesamiento de minerales marginales se realiza mediante la flotación por espumas para recuperar plomo y zinc.	<b>Vi = V1</b>  “Procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc	<b>Vi = V1</b>  “Procesamiento de minerales marginales para recuperar plomo y zinc	<b>METODOS</b>  Teórico, fáctico y la observación científica	<b>POBLACION</b>  <b>Ejemplo:</b>  Minerales marginales
	<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>  a. ¿Cómo el tiempo de molienda influye en la recuperación	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>  a. Evaluar y determinar el tiempo de molienda del mineral para recuperar plomo y zinc.	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>  a. El tiempo de molienda influye directamente en la recuperación	<b>Factores entrada:</b>  1. Tiempo de molienda 2. pH 3. PG2000 4. Cianuro de sodio 5. MIBC	<b>Factores entrada:</b>  1. Tiempo de molienda 2. pH 3. PG2000 4. Cianuro de sodio 5. MIBC	<b>TECNICAS</b>  - Documental - Laboratorio - Estadística	<b>MUESTRA</b>  Muestras representativas de los minerales marginales.

	<p>de plomo y zinc?</p> <p>b. ¿De qué manera el pH influye en la recuperación de plomo y zinc?</p> <p>c. ¿Cómo se puede controlar el Z-11 para la mejor recuperación de plomo y zinc?</p> <p>d. ¿Cuál es la función que cumple el NaCN en la recuperación de plomo y Zn?</p> <p>¿De qué manera influye el MIBC en la recuperación de plomo y zinc?</p>	<p>b. Determinar el pH de procesamiento para la recuperar plomo y zinc.</p> <p>c. Evaluar y determinar la dosificación de PG2000 para recuperar plomo y zinc.</p> <p>d. Determinar la dosificación de NaCN para deprimir a los contaminantes para recuperar plomo y zinc.</p> <p>e. Determinar la dosificación conveniente del MIBC para recuperar plomo y zinc.</p>	<p>de plomo y zinc.</p> <p>b. El pH de la pulpa influye directamente en la recuperación de plomo y zinc.</p> <p>c. El control sistemático del colector PG2000 es importante para la recuperación de plomo y zinc.</p> <p>d. La función que cumple el NaCN es deprimir de los contaminantes de los minerales para la recuperación de plomo y zinc.</p> <p>e. El control adecuado el MIBC influye directamente en la recuperación de plomo y zinc.</p>	<p><b>Vd = V2</b></p> <p>Recuperar plomo y zinc</p> <p>Factores salida:</p> <p>Concentrados de Pb y Zn comercializables</p>	<p><b>Vd = V2</b></p> <p>Recuperar plomo y zinc</p> <p>Factores salida:</p> <p>Concentrados de Pb y Zn comercializables</p>		<p><b>Muestreo:</b>          Probabilística          Aleatoria          Estratificada</p>
--	--	--	--	---	---	--	---

## INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la recolección de datos se utilizaran las plantillas de los diseños factoriales y en seguida las corridas experimentales.

### Diseño factorial para la el procesamiento de Pb

Tabla 2: Plantilla de las corridas experimentales

BLOQUE	Molienda Min	NaCN Gotas	ZnSO4 Gotas	Z-11 Gotas	Acondic Min	Concent	Recuper
						Pb %	Pb %
1	14	4	4	2	4		
1	18	4	2	4	4		
1	18	2	2	2	4		
1	18	4	4	4	6		
1	14	2	4	4	4		
1	14	2	2	4	6		
1	18	2	4	2	6		
1	14	4	2	2	6		

Fuente: elaboración propia

Habiendo realizado los ensayos experimentales, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 3: Resultados de las corridas experimentales

Concent Pb %	Reperac Pb %
34	54
32	51
22	48
20	40
30	45
24	44
23	43
29	45

Fuente: elaboración propia

## Diseño factorial para el procesamiento del ZnS

Tabla 4: Plantilla de las corridas experimentales

BLOQUE	CuSO4 Gotas	NaCN Gotas	Z-11 Gotas	Acondicionamiento Min	Concentrado	Recuperación
					Zn %	Zn %
1	2	3	2	5		
1	4	3	4	5		
1	2	1	4	5		
1	4	3	2	3		
1	4	1	2	5		
1	2	3	4	3		
1	4	1	4	3		
1	2	1	2	3		

Fuente: elaboración propia

Habiendo realizado los ensayos experimentales, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 5: Resultados de las corridas experimentales

Concentrado Zn %	Recuperación Zn %
18	21
20	22
22	25
21	22
28	31
24	26
23	30
22	23

Fuente: elaboración propia



*Ilustración 1 – Centro de labor de la empresa minera cerro s. a. c.*



*Ilustración 2 – tajo abierto de la empresa minera cerro s. a. c.*





*Ilustración 3 – Preparación mecánica del mineral marginal en el laboratorio*



*Ilustración 4 – Chancado primario del mineral*



*Ilustración 6 – Procesamiento secundario por la chancadora de rodillos*



*Ilustración 5 – Toma de muestra del mineral marginal*





Ilustración 7 - Molienda del mineral marginal



*Ilustración 8 – Verificación de la granulometría de la etapa de molienda*





*Ilustración 9 – Verificación del estado del equipo*



*Ilustración 10 – Extracción del concentrado en la etapa de flotación*