

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**RECUPERACION DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE POR SULFIDIZACION, A  
PARTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE LA FLOTACION DE SULFUROS DE  
COBRE EN LA PLANTA DE BENEFICIO LA AZULITA SAC- NAZCA**

**(Investigación Tecnológica)**

**PRESENTADO POR:**

- Bach. GUTIERREZ CARPIO, Elio Sandro
- Bach. HUAMAN CALDERON, Chema Antony

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO METALÚRGICO**

**Asesor:**

- Mg. SÁNCHEZ QUISPE, Honorato

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "RECUPERACION DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE POR SULFIDIZACION, A PARTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE LA FLOTACION DE SULFUROS DE COBRE EN LA PLANTA DE BENEFICIO LA AZULITA SAC - NAZCA" (Investigación Tecnológica) presentado por: Elio Sandro GUTIERREZ CARPIO con DNI Nro.: 73542798 presentado por: Chema Antony HUAMAN CALDERON con DNI Nro.: 48051813 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALURGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de DICIEMBRE de 2023



Firma

Post firma Honorato Sanchez Quispe

Nro. de DNI 23903892

ORCID del Asesor 0000-0002-4267-2336

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: 010-27259:291763609

NOMBRE DEL TRABAJO

**RECUPERACION DE MINERALES OXIDAD  
OS DE COBRE POR SULFIDIZACION A PA  
RTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE**

AUTOR

**Elio S. Gutierrez C. Chema A. Huaman  
Calderon**

RECUENTO DE PALABRAS

**19531 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**102196 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**123 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 3, 2023 12:39 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 3, 2023 12:41 PM GMT-5****● 6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA, SEÑORES CATEDRATICOS MIEMBROS DE LA COMISION

Conforme al reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica; ponemos a vuestra consideración el Plan de Tesis: investigación tecnológica, intitulado: **RECUPERACION DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE POR SULFIDIZACION A PARTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE LA FLOTACION DE SULFUROS DE COBRE EN LA PLANTA DE BENEFICIO LA AZULITA SAC – NAZCA (TRABAJO DE INVESTIGACION).**

Con el que aspiramos elaborar la Tesis de Profesionalización, el trabajo consiste en realizar una mejora en la recuperación de cobre total, esto mediante una evaluación de variables en una flotación estándar por sulfidización a partir de las colas ricas en óxidos que provienen de la flotación de sulfuros, ya que estos óxidos en su mayoría se van al relave por la dosificación indebida, además de que solo se busca recuperar los sulfuros, mas no los óxidos debido a su compleja recuperación en la flotación, ya que estos son hidrofílicos.

***GUTIERREZ CARPIO ELIO SANDRO***

***HUAMÁN CALDERÓN CHEMA ANTONY***

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico con todo mi corazón a mi madre querida que se encuentra en el cielo, que sin ella no lo habría logrado nunca.

De igual manera se la dedico a mis abuelos en especial a mi querido papá Jesús que está en el cielo y a mi mamá Agripina, que sin ellos no habría logrado cumplir mis sueños de ser profesional, gracias por su infinito apoyo queridos papás.

A mi papa Rafael, a mi hermana Leydhi, mis hermanos Rafael y Dani, por darme el ejemplo de ser fuerte y perseverante pese a las adversidades de la vida.

## DEDICATORIA

Con profundo cariño dedico esta tesis a Dios, por ser fuente de inspiración y darme la fuerza para continuar en alcanzar cada uno de mis objetivos y extender su mano en momentos difíciles.

A mis padres Jesús Gutiérrez O. y Rafaela Carpio T. quiénes me animaron en este campo de estudio, por brindarme su amor, paciencia, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. Es un privilegio y alegría ser su hijo, son los mejores padres. A mis hermanas Carmen, Cintia y Jhosseline que siempre estuvieron junto a mi apoyándome.

A mi esposa Alexandra y mi querida hija Clara Emilia, quienes son mi inspiración y me dan las ganas de seguir mejorando.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra querida alma mater, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica que nos prepararon y guiaron en nuestra formación profesional. A la Planta de Beneficio La Azulita S.A.C., por brindarnos las facilidades de participar en sus jornadas de trabajo y poder desarrollar el trabajo de investigación.

**CHEMA ANTONY HUAMAN CALDERON**

**ELIO SANDRO GUTIERREZ CARPIO**

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iv
CONTENIDO .....	v
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS .....	xii
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
<b>1.1. Situación problemática .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>2</b>
1.2.1.Problema general .....	2
1.2.2.Problemas específicos.....	2
<b>1.3. Justificación de la investigación .....</b>	<b>2</b>
1.3.1.Conveniencia .....	2
1.3.2.Relevancia social .....	3
1.3.3.Relevancia tecnológica .....	3
1.3.4.Valor teórico .....	3
1.3.5.Utilidad metodológica .....	3
<b>1.4. Objetivos de investigación .....</b>	<b>3</b>
1.4.1.Objetivo general .....	3

1.4.2.Objetivos específicos .....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	5
<b>2.1. Antecedentes empíricos de la investigación (estado de arte).....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Antecedentes internacionales y nacionales .....</b>	<b>5</b>
2.2.1.Antecedentes internacionales .....	5
2.2.2.Antecedentes nacionales.....	6
<b>2.3. Bases teóricas .....</b>	<b>8</b>
2.3.1.Definición de flotación de minerales.....	8
2.3.2.Descripción del proceso de flotación.....	9
2.3.3.Minerales según sus propiedades superficial.....	10
2.3.4.Tipos de flotación .....	11
2.3.5.Tipos de flotación por espumas .....	12
2.3.6.Fases de la flotación .....	15
2.3.7.Interfases en la flotación.....	17
2.3.8.Termodinámica de las interfases .....	17
2.3.9.Fenómeno de adsorción .....	21
2.3.10. Potencial electrocinética.....	24
2.3.11. Teoría de la doble capa .....	25
2.3.12. Efecto de la doble capa eléctrica .....	26
2.3.13. Angulo de contacto y ecuación de Young.....	28
2.3.14. Cinética de flotación .....	29
2.3.15. Factores que influyen en la flotación .....	33
2.3.16. Reactivos de flotación .....	37
2.3.17. Tipos de reactivos .....	38
2.3.18. Reactivos de flotación para oxidados de cobre .....	47



2.3.19. Flotación de minerales oxidados de cobre .....	48
<b>CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1. Hipótesis.....</b>	<b>52</b>
3.1.1.Hipótesis general .....	52
3.1.2.Hipótesis específicas.....	52
<b>3.2. Variables e indicadores.....</b>	<b>52</b>
3.2.1.Identificación de variables.....	52
3.2.2.Indicadores.....	53
<b>3.3. Operacionalización de variables .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPITULO IV: METODOLOGIA .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1. Tipo de investigación.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2. Nivel de investigación.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3. Método de investigación .....</b>	<b>55</b>
<b>4.4. Diseño de investigación .....</b>	<b>56</b>
<b>4.5. Población de estudio.....</b>	<b>56</b>
<b>4.6. Muestra de estudio .....</b>	<b>57</b>
<b>4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos estadísticos .....</b>	<b>57</b>
<b>4.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>57</b>
<b>4.9. Instrumentos y equipos de investigación.....</b>	<b>58</b>
<b>4.10. Validez y confiabilidad de instrumentos experimentales.....</b>	<b>59</b>
<b>4.11. Plan de análisis de datos.....</b>	<b>59</b>
<b>CAPITULO V: RESULTADOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1. Muestreo en la cancha de acopio .....</b>	<b>60</b>
5.1.1.Herramientas y Materiales.....	60
5.1.2.Procedimiento de muestreo .....	61

<b>5.2. Preparación mecánica de la muestra.....</b>	<b>62</b>
5.2.1.Chancado, pulverizado y zarandeo .....	62
5.2.2.Homogenización y Cuarteo de las muestras .....	63
<b>5.3. Análisis químico .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4. Caracterización mineralógica y minerografía.....</b>	<b>65</b>
<b>5.5. Cálculo de la gravedad específica del mineral.....</b>	<b>66</b>
<b>5.6. Prueba de molienda estándar y análisis granulométrico del mineral .....</b>	<b>68</b>
<b>5.7. Pruebas estándar de flotación .....</b>	<b>70</b>
5.7.1.Diseño de Flowsheet para el proceso de flotación a nivel de laboratorio .....	71
5.7.2.Determinación del número de pruebas de flotación .....	73
5.7.3.Reactivos de Flotación para Las Pruebas. ....	74
<b>5.8. Procedimiento para las pruebas de flotación a nivel laboratorio .....</b>	<b>76</b>
<b>5.9. Resultados de las pruebas de flotación.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPITULO VI: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
<b>6.1. Variables del proceso involucrados .....</b>	<b>85</b>
6.1.1.Variables independientes .....	85
6.1.2.Variable dependiente .....	85
<b>6.2. Análisis de los resultados por el diseño factorial <math>2^k</math> y con replica central... 85</b>	<b>85</b>
6.2.1.Cálculo de los efectos de variables.....	87
6.2.2.Interpretación de los efectos. ....	90
6.2.3.Análisis de la varianza del diseño factorial. ....	91
6.2.4.Aplicación del Teorema de Cochran .....	94
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>99</b>

ANEXO.....	101
Anexo a. Matriz de consistencia .....	102
Anexo b. Puntos criticos al 5% de la distribución F, $P(X>x)=0.05$ .....	103
Anexo c. Planta de Beneficio La Azulita S.A.C. ....	104
Anexo d. Procedimientos en el laboratorio de procesamiento de minerales de la planta de beneficio La Azulita S.A.C. ....	105
Anexo e. Cronograma de Actividades. ....	106

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Partículas liberadas .....	8
<b>Figura 2.2</b> Representación esquemática del proceso de flotación .....	9
<b>Figura 2.3</b> Superficie hidrofílica .....	10
<b>Figura 2.4</b> Superficie hidrofóbica.....	11
<b>Figura 2.5</b> Flotación estándar Fuente: (Zanabria, 2020) .....	12
<b>Figura 2.6</b> Flotación inversa .....	13
<b>Figura 2.7</b> Flotación bulk o colectiva.....	14
<b>Figura 2.8</b> Flotación selectiva o diferencial.....	14
<b>Figura 2.9</b> Ejemplo de flotación colectiva y selectiva.....	15
<b>Figura 2.10</b> Separación de fases durante la etapa de flotación .....	16
<b>Figura 2.11</b> Tensión superficial de una burbuja en un liquido .....	19
<b>Figura 2.12</b> Representación de contacto entre las tres fases (s-l-g) .....	20
<b>Figura 2.13</b> Interfase Gas - Líquido.....	23
<b>Figura 2.14</b> Interfase Sólido - Líquido.....	24
<b>Figura 2.15</b> Potencial Z VS el pH de la solución.....	25
<b>Figura 2.16</b> Capa, eléctrica, doble.....	26
<b>Figura 2.17</b> Doble capa eléctrica en una superficie mineral en agua.....	27
<b>Figura 2.18</b> Esquema del ángulo de contacto .....	28
<b>Figura 2.19</b> Gráfica de la cinética de flotación .....	30
<b>Figura 2.20</b> Fórmula Química del Xantato Etilico de sodio (izquierda); Esquema de adsorción del Xantato en un mineral(derecha).....	41
<b>Figura 2.21</b> Colectores .....	42

<b>Figura 2.22</b> Concentración de oxígeno.....	43
<b>Figura 2.23</b> Curva de potencial de pulpa .....	44
<b>Figura 5.1</b> Canchas de mineral.....	61
<b>Figura 5.2</b> Equipos de chancado y pulverización .....	62
<b>Figura 5.3</b> Análisis químico en laboratorio de la planta La Azulita S.A.C.....	63
<b>Figura 5.4</b> Análisis Químico.....	64
<b>Figura 5.5</b> Caracterización Mineralógica.....	65
<b>Figura 5.6</b> Mineral Oxidado de Cobre.....	66
<b>Figura 5.7</b> Juego de Tamices.....	68
<b>Figura 5.8</b> Flowsheet proceso de flotación Planta La Azulita S.A.C.....	72
<b>Figura 5.9</b> Diagrama de flotación a nivel de laboratorio. ....	72

**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 2.1</b>	Características de la Adsorción Física y Química .....	22
<b>Tabla 2.2</b>	Efectos de los Reactivos .....	39
<b>Tabla 2.3</b>	Reactivos para Flotación de Óxidos .....	47
<b>Tabla 2.4</b>	Minerales Oxidados de Cobre .....	49
<b>Tabla 5.1</b>	Reporte de Análisis Químico .....	64
<b>Tabla 5.2</b>	Determinación del Peso Especifico .....	67
<b>Tabla 5.3</b>	Análisis Granulométrico t= 4min.....	69
<b>Tabla 5.4</b>	Análisis Granulométrico t= 7min.....	70
<b>Tabla 5.5</b>	Análisis Granulométrico t= 11min .....	71
<b>Tabla 5.6</b>	Reactivos Variables para Las Pruebas de Flotación .....	74
<b>Tabla 5.7</b>	Valores Intermedio para Ajustes en Prueba.....	74
<b>Tabla 5.8</b>	Reactivos para Flotación de Sulfuros.....	75
<b>Tabla 5.9</b>	Pruebas de Flotación .....	75
<b>Tabla 5.10</b>	Resultados de Las Pruebas de Flotación .....	84

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

- **°K:** Grados Kelvin
- **cm:** centímetros
- **ergs:** Ergios
- **G:** Gas
- **g:** gramo
- **IEP:** Punto Isoeléctrico
- **J:** Joule
- **K:** Kilo
- **l:** Liquido
- **m:** Metro
- **N:** Newton
- **Pa:** Pascal
- **PCC:** Punto Cero de Carga
- **s:** Solido
- **TM:** Toneladas Métricas
- **W:** trabajo (watts)

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el uso de sulfuro de sodio para la recuperación de los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros, en la planta de beneficio La Azulita SAC – Nazca., la investigación es de carácter tecnológico y cuantitativo con diseño experimental de regresión y correlación múltiple, realizado con una muestra de 50 Kg de mineral mixto.

La presencia de minerales oxidados de cobre en las reservas de minerales sulfurados de cobre, creo la necesidad de realizar distintas pruebas experimentales a nivel de laboratorio para obtener alternativas de tratamientos al mineral en este caso mixto, mediante el proceso de flotación, ya que, debido a la solubilidad del cobre oxidado, este mineral no es recuperado en la flotación de sulfuros de cobre generando pérdidas significativas de dinero.

El mineral que se obtiene de la mina San Felipe es procesada en la planta de beneficio La Azulita SAC. Este mineral contiene 4.2% de cobre total y 1.8% de cobre soluble, para recuperar este cobre oxidado se utilizó el método de flotación con la ayuda de un agente sulfidizante (NaSH), teniendo como colector el Z-6 y teniendo muy en cuenta el pH.

Para realizar las pruebas de flotación se utilizó el diseño factorial  $2^k$  con replica central reactivo, este diseño factorial nos permitió determinar el número de pruebas que se llevaron a cabo.

Finalmente, después de realizar las pruebas, se obtuvo una recuperación máxima de 88% de cobre total, con una dosificación de 80g/TN de Z-6, 250 g/TN de NaSH y con un pH menor de 10, estos serian los parámetros óptimos para una mayor recuperación.

Palabras clave: Flotación, recuperación, reactivos, cobre, minerales.



## ABSTRACT

The objective of this work is to determine the use of sodium sulfide for the recovery of copper oxides from the tails coming from sulfide flotation, in the La Azulita SAC - Nazca beneficiation plant. The research is of a technological and quantitative nature, with an experimental design of regression and multiple correlation, carried out with a sample of 50 kg of mixed mineral.

The presence of oxidized copper minerals in the sulphide copper mineral reserves made it necessary to carry out different experimental tests at the laboratory level to obtain alternative treatments for the mineral in this mixed case, through the flotation process, since due to the solubility of oxidized copper, this mineral is not recovered in the flotation of copper sulfides, generating significant losses of money.

The ore obtained from the San Felipe mine and processed at the La Azulita plant contains 4.2% total copper and 1.8% soluble copper, meaning approximately 42% of total copper. To recover this oxidized copper, the method was used: flotation with the help of a sulphidizing agent (NaSH), taking Z-6 as a collector and taking pH into account.

To carry out the flotation tests, the 2k factorial design with reactive central replica was used, this factorial design allowed us to determine the number of tests that were carried out with the NaSH sulfidizer, these tests did not help to determine if the variables have any relationship with Regarding the recovery of the concentrate, obtaining as an answer that the NaSH sulfidizer tends to destabilize when working at a more alkaline pH, likewise it was possible to reach copper recoveries of 88%.

Keywords: Flotation, recovery, reagents, copper,

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la recuperación de óxidos de cobre mediante flotación a partir de colas.

La flotación es un proceso utilizado para la clasificación de minerales. Este proceso de flotación separa el mineral valioso del mineral infértil, dando así valor agregado al concentrado. La flotación se caracteriza principalmente por ser un proceso que utiliza reactivos para poder darle propiedades a la superficie de los minerales, según requerimiento del proceso.

Este trabajo de investigación tiene la finalidad de recuperar los minerales oxidados de cobre que se van en las colas de relave, las colas provenientes de la flotación de sulfuros (específicamente los óxidos de cobre) serán sulfurizadas con reactivo NaSH para darles propiedades de insolubilidad y así ser flotadas para su recuperación.

Además, para lograr esta recuperación se determinará una dosificación óptima de reactivos en la flotación de óxidos.

El proceso de investigación se llevó a nivel de laboratorio. Primero, se realizó un muestreo de mineral mixto de cobre acopiado en las canchas de la planta. Segundo, se realizó la disminución de tamaño (conminución) con equipos de chancado primario, secundario y molienda, para las pruebas correspondientes. Por último, en el proceso de flotación se considero dosificaciones máximas y mínimas de Z-6 y NaSH, tomando en consideración el porcentaje de recuperación de cobre insoluble, esto gracias al análisis estadístico en Excel.

## CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Situación problemática

La utilización de los metales tiene mucha importancia en estos años, prácticamente no hay actividad que el ser humano pueda realizar sin algún metal.

Estos metales en su forma natural casi siempre están unidos a algún otro elemento químico, así llamándose compuesto en forma de sales, óxidos, sulfuros, etc. Estos compuestos están acompañados por otras sustancias que carecen de valor económico y se denominan “ganga” formando finalmente los minerales.

Para concentrar el mineral se debe realizar operaciones de conminución (chancado y molienda) previa que permita liberar la parte valiosa para luego por medio de reactivos y una serie de variables poder separar mediante un proceso de flotación los metales valiosos que se encuentran en la pulpa procesada.

En el proceso que se lleva realizando en la planta *La Azulita S. A. C. - San Felipe*, solo se opta por recuperar los sulfuros de cobre, dejando de lado los óxidos de cobre, debido a que las condiciones de flotación de sulfuros no son eficientes para la flotación de óxidos, esto implica que no se puedan concentrar ambos al mismo tiempo, así dejando que los óxidos se vayan al relave.

Al analizar las muestras para los balances metalúrgicos en el relave se vio que casi el 80% de cobre soluble (cobre oxidado) que entra en la alimentación, entre ellos los carbonatos silicatos y óxidos de cobre, se va directo al relave, haciendo que la recuperación, no pase el 80% de cobre total, de aquí nace el interés de poder recuperar el cobre soluble de las colas provenientes de la concentración de cobre insoluble (sulfuros de cobre) en el mismo proceso, así mejoraríamos nuestra recuperación.

¿Se podrá lograr la recuperación de óxidos mediante flotación sulfidizada de las colas de la actual planta?

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera se podrá recuperar los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros, utilizando agentes sulfidizantes en la planta de beneficio La Azulita SAC – Nazca?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Qué dosificación de sulfuro de sodio será la más ideal para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación, de sulfuros de cobre?
- b. ¿Cuál será la dosificación adecuada de xantato, Z-6 para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre?
- c. ¿Cómo influye el pH en la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre?

## **1.3. Justificación de la investigación**

La investigación tecnológica a ser desarrollada se aplicara para recuperar los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros se justifica por, lo siguiente:

### **1.3.1. Conveniencia**

Se puede sostener que esta investigación es conveniente por su importancia económica social, su relevancia para la gestión ambiental, su potencial para el avance científico y su potencial industrial.

### ***1.3.2. Relevancia social***

Este trabajo tiene incidencia social por el mismo hecho de que al incrementar la recuperación de cobre dará más beneficio a los pequeños mineros que extraen el mineral desde los socavones, así dando mejor calidad de vida a sus familias.

### ***1.3.3. Relevancia tecnológica***

Con la determinación de los parámetros para la recuperación de óxidos en la flotación, de minerales mixtos de cobre, se contribuyó al desarrollo y mejora continua de este tipo de clasificación de minerales, teniendo así gran relevancia en el aspecto tecnológico.

### ***1.3.4. Valor teórico***

Este trabajo a investigación apoyará a las bases teóricas ya existentes sobre la flotación de minerales de configuración oxidada de cobre.

### ***1.3.5. Utilidad metodológica***

La investigación que realizaremos sugerirá una nueva forma de flotar los minerales oxidados de cobre, variando el tiempo de flotación, la dosificación de xantato y sulfuro de sodio, así sulfidizando el mineral y como resultado obteniendo mayores porcentajes de recuperación.

## **1.4. Objetivos de investigación**

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

Determinar el uso de sulfuro de sodio para la recuperación de los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros, en la planta de beneficio La Azulita SAC - Nazca.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Definir la dosificación de sulfuro de sodio ideal para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación, de sulfuros de cobre.

- Determinar la dosificación adecuada de xantato, Z-6 para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.
- Verificar la influencia del pH para la recuperación de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes empíricos de la investigación (estado de arte)

El proceso de flotación de minerales consiste en separar los minerales valiosos de los minerales de ganga mediante la utilización de agentes químicos y equipos especiales. En este proceso, se realiza una molienda del mineral para reducir su tamaño y luego se agregan reactivos químicos al agua para formar una suspensión. En esta suspensión, los minerales valiosos se adhieren a las burbujas de aire y flotan hacia la superficie, mientras que los minerales de ganga se quedan en el fondo. Posteriormente, se recogen los minerales flotados en la espuma y se separan del agua. Este proceso es ampliamente utilizado en la industria de la minería para obtener concentrados de minerales.

### 2.2. Antecedentes internacionales y nacionales

#### 2.2.1. Antecedentes internacionales

Según la investigación, de la chilena Merino (2019) titulada *Flotación de cobre soluble en planta concentradora, División Salvador – CODELCO*. El objetivo general fue aumentar la recuperación de cobre soluble en la flotación colectiva de cobre-molibdeno, para así incrementar la recuperación de cobre total en la Planta Concentradora de la división Salvador-CODELCO. Esta investigación es de tipo tecnológica. En síntesis, los resultados obtenidos sobre la recuperación de cobre soluble en la flotación colectiva de cobre-molibdeno, para incrementar la recuperación de cobre total en la Planta Concentradora de la división Salvador-CODELCO, nos muestra que al dosificar 40 g/t de NaSH se logró un incremento, en la recuperación de cobre soluble, además de que se utilizó otros tipos de reactivos, esta dosificación es la que mayor resultado nos da en cuanto a recuperación de cobre oxidado (p, 4).

En el trabajo experimental de I. ANDRÉS MOLINA V. (Chile, 2017) titulado *estudio del efecto de la aplicación de espumantes en el proceso de flotación de mineral mixto de cobre*, busca identificar la condición óptima de operación (maximizar la recuperación y ley de cobre del producto), mediante el control de la mezcla de espumantes comerciales, centrándonos en el DF400 debido a su alto “poder” y “selectividad” como espumante. Se realizaron ensayos de espumabilidad en una columna AMIRA modificada y mediciones de distribución de diámetro de burbujas en el equipo Bubbleviewer®, los cuales se complementan con pruebas metalúrgicas (en celdas de flotación) bajo condiciones de trabajo típicas de la industria. Se concluye de los resultados que la columna AMIRA modificada presenta una correlación con la celda de flotación en términos de espumabilidad de casi un 80%. La variable de mayor impacto sobre la espumabilidad es la salinidad del medio, aumentándola en promedio un 93% con respecto al caso en agua fresca. Dicho comportamiento se invierte en presencia de sólido, reduciendo la altura de espuma en alrededor de un 20%.

### **2.2.2. Antecedentes nacionales**

Vilca Casazuela Halbert (2019) realizó una investigación titulada “*evaluación de la flotación de óxidos de cobre mediante pruebas de reactivos en laboratorio*”, cuyo objetivo principal es evaluar la aplicación y dosificación de reactivos para la flotación de minerales oxidados de cobre en laboratorio. Esta investigación es de tipo tecnológico y como niveles experimental, descriptivo, analítico y explicativo. El mineral para las pruebas de flotación contiene 0.412% de cobre y 0.105% de cobre soluble en ácido, lo que equivale a un 26% como cobre oxidado. En resumen, para este mineral oxidado se probó cuatro alternativas, como la primera alternativa, se probó con colectores y modificadores de superficie, obteniéndose como mejor resultado, el incremento a 35 g/t del colector primario C4132, que permitió incrementar la



recuperación de cobre en, 1.1% y la de molibdeno en, 11.5%. La segunda alternativa fue reducir la molienda y los sólidos, la mejor opción fue a reducir la molienda a P80 de 135 micras, y los sólidos a 20%, lo que permitió incrementar la recuperación de cobre en 3.3% y la de molibdeno en 7.8%. La tercera alternativa fue lavar previamente el mineral con ácido  $H_2SO_4$ , para su flotación, en esta parte no hubo resultados satisfactorios, se desmejoro la calidad del concentrado y la disminución de la recuperación de molibdeno en -19.5%. La cuarta alternativa, fue probar con reactivos Cytec las cuales dieron buenos resultados e incremento la recuperación de molibdeno en 3.1 %". (p, 16).

Luis M. Chambi H. (2019) en su trabajo de investigación: *Optimización del proceso de flotación para mejorar la recuperación de minerales mixtos de cobre en la planta concentradora de la empresa minera Ciemsa - unidad el cobre - Paratía – Puno*, menciona que, tiene como objetivo principal de optimizar el proceso de flotación de minerales mixtos de cobre de la planta concentradora de la minera CIEMSA unidad El Cofre distrito de Partía en la región de Puno. Las Pruebas fueron realizadas en el laboratorio de la Empresa CIEMSA U.M. El Cofre, siguiendo protocolos en pruebas de flotación se llegó a determinar el comportamiento y el efecto del colector M-11 es de 0.066 g/Tn con una granulometría 69.38 % malla -200 y con un tiempo de flotación 60 minutos en las diferentes etapas, obteniendo 83.81 % de recuperación de Cobre con calidad encima de 30%. La metodología usada es de tipo experimental para optimizar las variables que intervienen en el proceso de flotación. Los datos que se aplicaron fue el diseño experimental de tres variables  $2^3$  mediante la utilización del software estadístico STATGRAPHICS. Por lo tanto, se optimizo y mejoró el % de recuperación de minerales mixtos de Cobre.

## 2.3. Bases teóricas

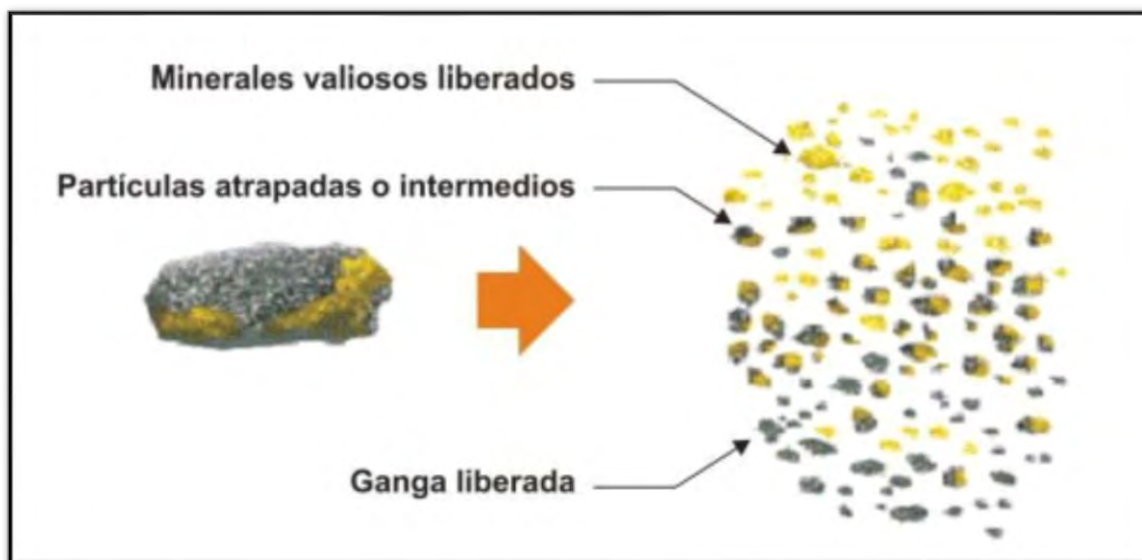
### 2.3.1. Definición de flotación de minerales

“La flotación es un proceso de separación de materiales de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas, por medio de burbujas de gas, en base a sus propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas.” (Azañero, 2015, pág. 37)

Este proceso se aplica a minerales metálicos, no metálicos, fosfatos, carbonatos, silicatos, metales naturales (nativos) y carbones. La flotación tiene como objetivo la separación del mineral valioso de aquel que no tiene valor económico.

### Figura 2.1

#### *Partículas liberadas*



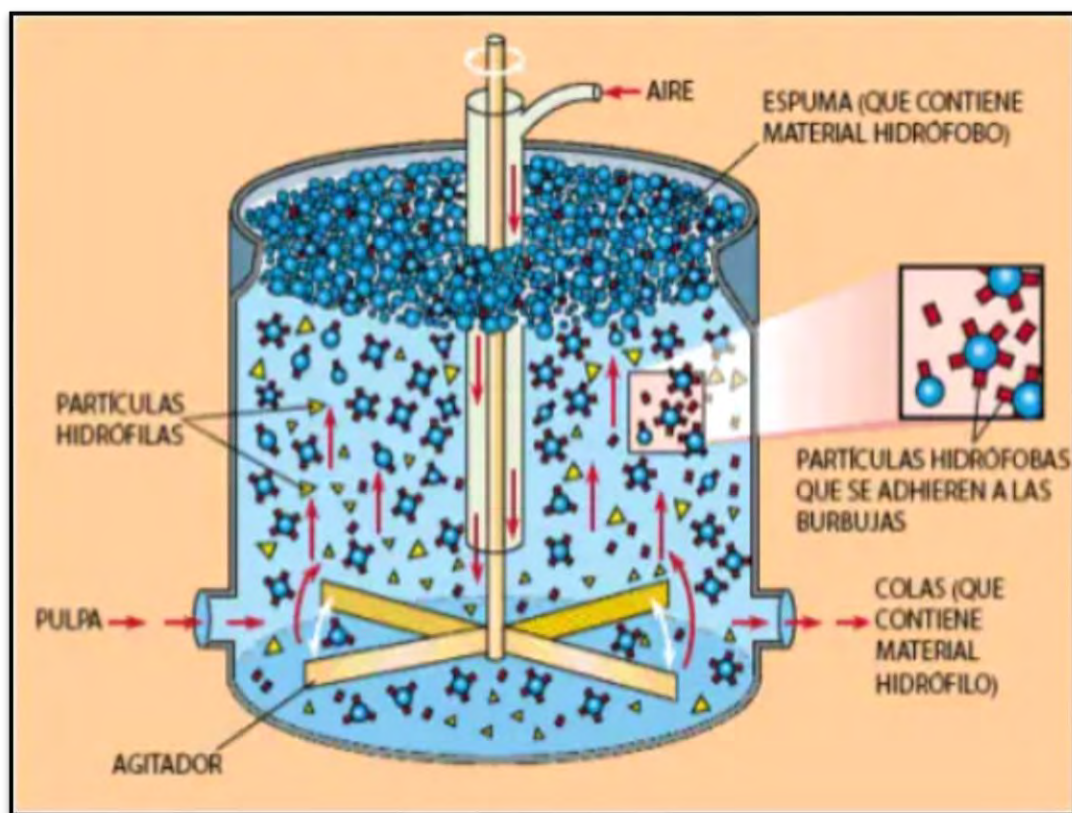
*Nota.* En la figura se muestra la forma en que son liberados los minerales valiosos de la ganga, también se puede observar que algunos con valor económico aún siguen incrustados dentro de la ganga. Tomada de (Zanabria, 2020).

### 2.3.2. Descripción del proceso de flotación

El mineral traído de las minas se somete a un primer proceso llamado chancado que consiste en la reducción de tamaño hasta obtener un tamaño de  $\frac{1}{2}$ " para posteriormente llevarlo a una segunda etapa de conminación llamada molienda húmeda, esto para obtener una mezcla de agua y mineral molido llamada pulpa, el producto será un mineral liberado (ver Figura 2.1) con un tamaño de 50 – 100 micrones según su diseminación. Posteriormente, esta pulpa se lleva a unas celdas que realizarán la separación del material valioso y el material estéril.

**Figura 2.2**

*Representación esquemática del proceso de flotación*



*Nota.* Se observa el esquema de la que el proceso de flotación debe tener. Tomada de (Zathex, 2015)

Antes que la pulpa se someta a la clasificación se acondiciona con reactivos tal como indica (Bravo, 2004), con el fin de darle las propiedades adecuadas para la separación del material valioso y el material estéril, luego esta pulpa ya acondicionada es llevada a las celdas de flotación y se realiza una inyección de aire en la parte interior de la celda para la producción de pequeñas burbujas de aire, gracias a la propiedad de adherencia hidrofóbica que tienen las partículas de mayor valor se produce una adhesión en la superficie de las burbujas, estas ascienden a la superficie y se concentran en las cochas de concentrados, por otro lado, aquellos minerales que no lograron adherirse a las burbujas se les considera aquel mineral de valor nulo, por lo que serán llevados a las relaveras. Ver Figura 2.2.

### ***2.3.3. Minerales según sus propiedades superficial***

#### **2.3.3.1. Minerales hidrofílicos.**

Los minerales hidrofílicos “son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente representan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse” (Quiroz, 1998) ver Figura 2.3.

### **Figura 2.3**

#### *Superficie hidrofílica*



Fuente: (Zanabria, 2020)

### 2.3.3.2. Minerales hidrofóbicos.

Son aquellos minerales que no son mojables o son poco mojables por el agua (ver Figura 2.4), dentro de ellos tenemos: Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo de que evite el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender. Además se puede observar, que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos (Quiroz, 1998)

### Figura 2.4

*Superficie hidrofóbica*



Fuente: (Zanabria, 2020)

### 2.3.4. Tipos de flotación

Existen tres tipos de flotación de minerales y son:

- Flotación por espumas
- Flotación por aceites
- Flotación por películas

En la actualidad en el Perú, el tipo de flotación que más se utiliza para la concentración de minerales es la flotación por espumas.

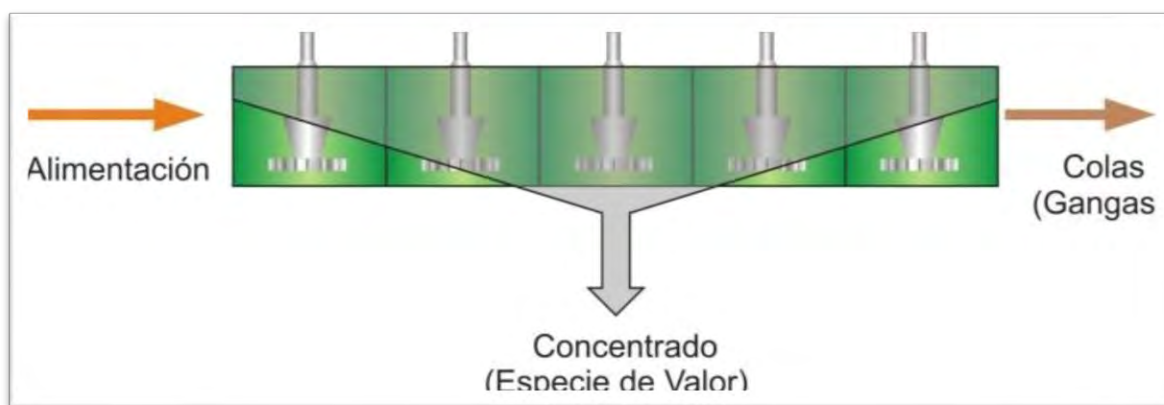
### 2.3.5. Tipos de flotación por espumas

#### 2.3.5.1. Flotación directa o estándar.

Para Zanabria (2020), existen muchos tipos de circuitos de flotación. El que más se utiliza en la flotación se le denomina circuito de flotación estándar (ver Figura 2.5), separa una sola especie valiosa de la ganga. Esto se logra flotando la especie de valor, recolectándola como concentrado, y descartando el resto como colas. Por ejemplo, muchos concentradores de cobre utilizan la flotación estándar para flotar el cobre como concentrado y descartar la ganga de sílice (roca). (p, 26)

**Figura 2.5**

*Flotación estándar*



*Fuente:* (Zanabria, 2020)

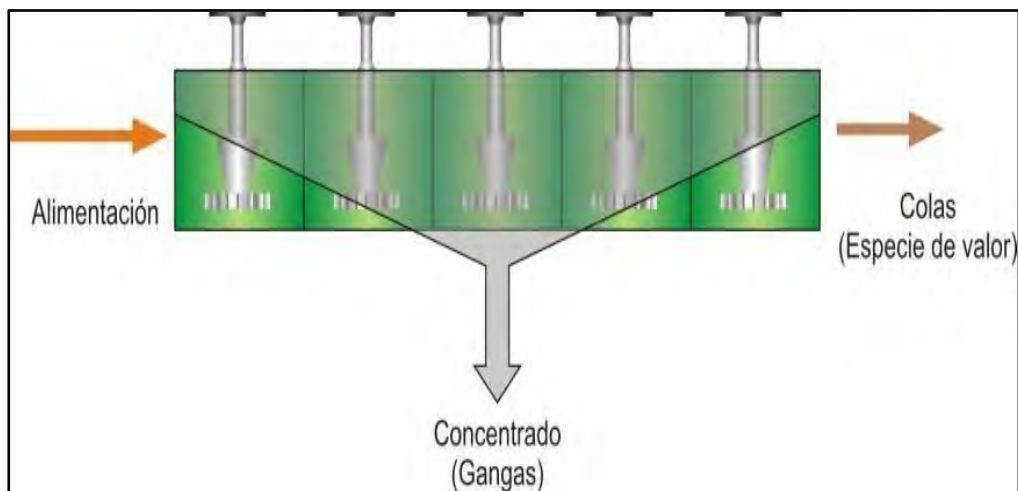
#### 2.3.5.2. Flotación inversa.

Según el diplomado que fue dirigido por Zanabria en el año 2020, en muchos circuitos de flotación, el concentrado contiene la especie de valor. Sin embargo, en algunos casos lo que se flota es la ganga. Esto se conoce como flotación inversa (ver Figura 2.6). La flotación inversa puede ser más práctica cuando se requiere flotar una pequeña cantidad de ganga contenida en un gran volumen de material. Un ejemplo de esto es la flotación de pirita contenida en un

concentrado de zinc y/o plomo. Otro uso de la flotación inversa es cuando las condiciones químicas proporcionan una mejor separación utilizando este método que utilizando una flotación estándar. (p, 26)

## Figura 2.6

### Flotación inversa



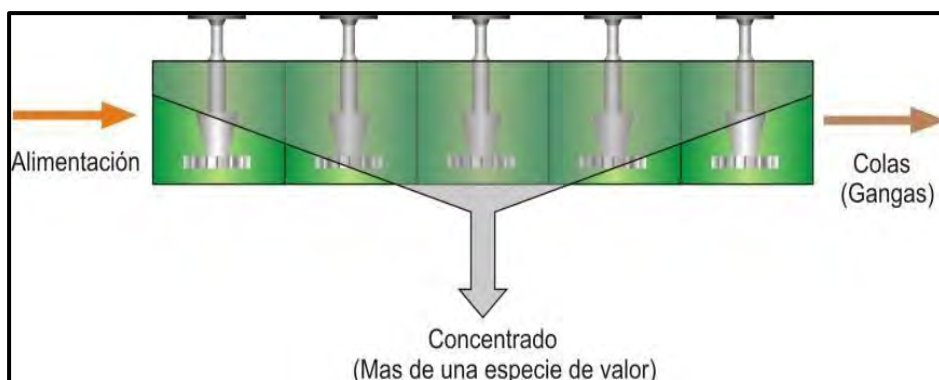
Fuente: (Zanabria, 2020)

### 2.3.5.3. Flotación bulk o colectiva.

En algunos casos, es mejor flotar más de una especie de valor a un mismo tiempo. Esto se conoce como flotación bulk (colectiva).

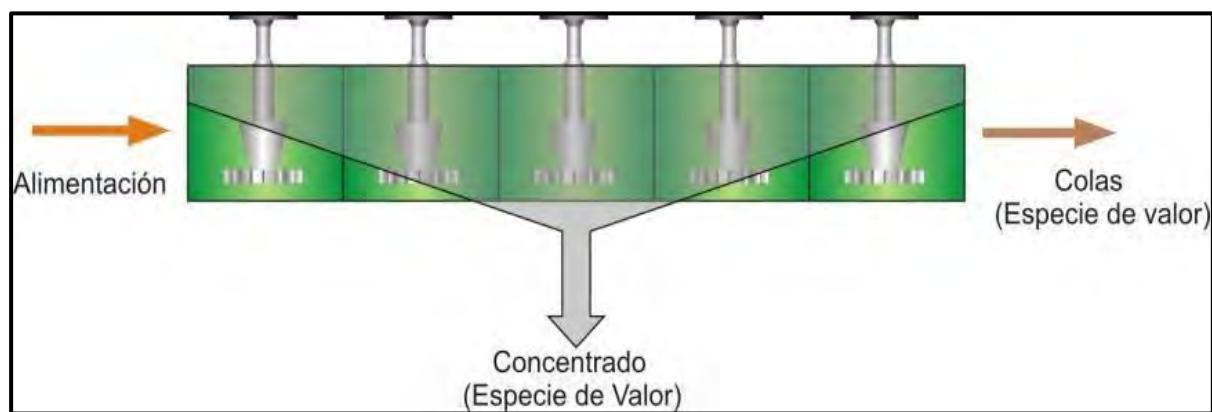
La flotación bulk se utiliza cuando un mismo conjunto de condiciones se puede emplear para recuperar en forma efectiva dos o más especies de valor.

Un ejemplo de esto es la flotación conjunta de cobre/molibdeno en un concentrado de cobre/molibdeno zinc. El concentrado bulk (combinado) de cobre/molibdeno se separa en una etapa posterior denominada flotación diferencial.

**Figura 2.7***Flotación bulk o colectiva**Fuente: (Zanabria, 2020)***2.3.5.4. Flotación diferencial o selectiva.**

Se limita a aquellas operaciones que implican la segregación en diferentes tipos similares de mineral, procesamientos de minerales polimetálicos, sulfuros de Cu, Mo y Zn.

Durante la flotación diferencial (ver Figura 2.8), un concentrado bulk se separa en dos productos. Esto algunas veces requiere de un cambio considerable en las condiciones químicas, de modo que estas afecten a un mineral más que al otro.

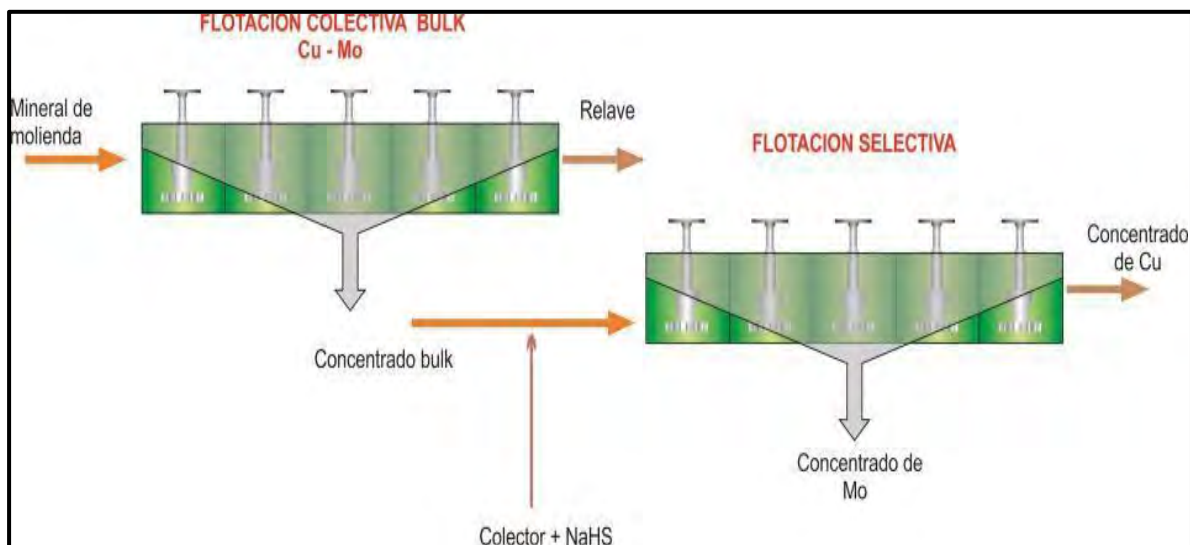
**Figura 2.8***Flotación selectiva o diferencial**Fuente: (Zanabria, 2020)*



Se flota en una primera etapa una especie de interés, y luego, en una nueva fase de flotación, se recupera un segundo mineral de interés. Ejemplo: flotación de sulfuros de cobre y molibdenita, recuperados ambos en el mismo proceso, pero en distintas etapas.

## Figura 2.9

*Ejemplo de flotación colectiva y selectiva.*



*Fuente: (Zanabria, 2020)*

### 2.3.6. Fases de la flotación

Son tres las fases que interactúan en el proceso de flotación y son las siguientes:

#### 2.3.6.1. Fase gaseosa

Está constituida generalmente por aire (en algún tipo de flotación se utiliza cierto tipo de gases), que se introduce al sistema para formar pequeñas burbujas. “La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son dos: 1) el aire influye químicamente en el proceso de flotación; 2) es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.” (Sutulov, 1963, p. 38)

### 2.3.6.2. Fase sólida

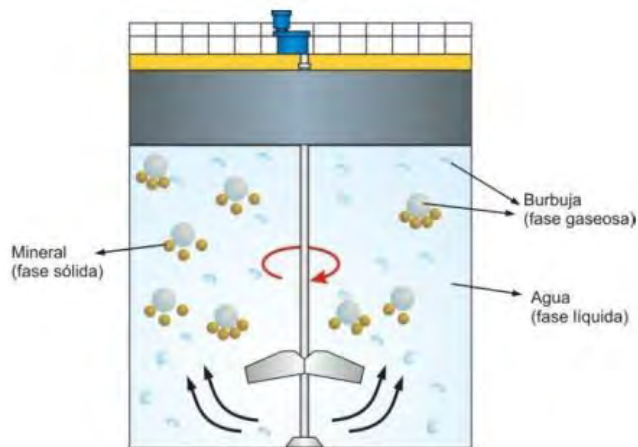
Está formada por aquellas partículas de minerales finamente molidas provenientes de la etapa de molienda. Para Alexander “los cuerpos solidos tienen generalmente una estructura cristalina, por lo menos en lo que se refiere a los minerales.” (Sutulov, 1963)

### 2.3.6.3. Fase, líquida

Esta fase consta de agua asociada a los reactivos químicos. El agua tiene conductividad polar, lo que provoca la hidratación superficial de ciertos minerales contenidos en una solución acuosa. Además “el agua es el elemento en el cual se efectúa la flotación, debido a su abundancia y bajo precio.” (Sutulov, 1963)

## Figura 2.10

*Separación de fases durante la etapa de flotación*



*Nota.* En esta figura se puede observar las tres fases que existen en el proceso de la flotación. Tomada de (Zanabria, 2020)

### 2.3.7. *Interfases en la flotación*

En la flotación son tres las fases que interactúan entre sí. Sin embargo, no son las propiedades de estas fases las que más importan, sino los límites superficiales que existen entre ellas, estas regiones son conocidas como regiones interfaciales o interfases. (Dance Juarez, 2017, p. 46)

Las interfases con más importancia son:

- Líquido – Gas
- Sólido – Líquido

Por lo tanto, como indica Dance Juarez en el 2017, “será importante analizar en primer lugar la tensión superficial que mide la propiedad existente entre dos fluidos, y en segundo lugar considerando que la flotación está condicionada [*sic*] por las propiedades superficiales de los minerales después de su inmersión en el agua, en la que sufre una hidratación dando como resultado la creación de una carga superficial, la que es de vital importancia para la acción de los reactivos”. (p, 47)

“Se debe entender que la interfase no es una simple superficie ya que en esta se encuentra una cantidad de energía libre cuya magnitud es definida por la tensión superficial”. (Sutulov, 1963, p. 39)

### 2.3.8. *Termodinámica de las interfases*

“La importancia de la termodinámica de la interfase es que dilucida los mecanismos mediante los cuales se producen fenómenos tales como la adsorción e indica los orígenes de fuerzas tales como la tensión superficial. Hay dos aspectos importantes que se debe enfatizar:

- ❖ La termodinámica, de adsorción en la superficie del mineral y en la interfase gas – líquido.
- ❖ La termodinámica, que controla la unión de las partículas de mineral a las burbujas de aire.

En cualquier interfaz, la tensión se produce en el plano de la interfaz, que es una característica de la interfaz. Esta fuerza de tensión se denomina Tensión Interfacial o Tensión Superficial y puede ser considerada igual a la energía libre de superficie.” (Loius Salager, 2007)

### 2.3.8.1. Tensión superficial

La tensión superficial es definida termodinámicamente como el trabajo reversible (W) que debe realizarse en orden a incrementar el área de la interfase en  $1 \text{ cm}^2$ . Entonces, la tensión superficial ( $\gamma$ ) es numéricamente igual, a la energía libre de Gibbs por unidad de área y podemos expresarla por la siguiente ecuación:

$$\gamma = G^S = \left( \frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,P,n}$$

Donde:

$G^S$  = Energía libre superficial, (ergs/cm<sup>2</sup>).

n = Número de moles necesarios en el sistema. (mol)

T = Temperatura absoluta, (°K)

$\gamma$  = Tensión superficial, (dinas/cm).

A = Área interfacial, (cm<sup>2</sup>).

P = Presión absoluta, (Pa)

Para aumentar el área de la película, de líquido en  $dA$ , debe realizarse una cantidad proporcional de trabajo. “La energía de Gibbs de la película aumenta en  $\gamma dA$ . El aumento en la energía de Gibbs implica que al movimiento del alambre móvil se opone una fuerza  $F$ . Si el alambre se mueve una distancia  $dx$ , el trabajo realizado es  $F dx$ . Estos dos aumentos de energía son iguales, por lo que:

$$Fdx = \gamma dA$$

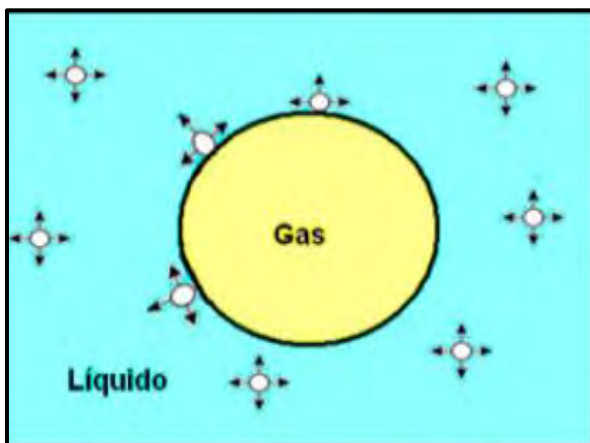
Si, consideramos a  $L$  como longitud de la parte móvil; entonces, el incremento en área, como el de la película que tiene dos lados, consideramos como igual a:  $2 (L dx)$ . Por lo tanto, a la tensión superficial del líquido se le expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{F}{2L}$$

La tensión superficial actúa como una fuerza opuesta al aumento del área de líquido. Las unidades son: N/m, dinas/cm, Joules/m<sup>2</sup>. En la figura 2.11 se muestra la ilustración del concepto de tensión superficial de un líquido” (Loius Salager, 2007).

### Figura 2.11

*Tensión superficial de una burbuja en un líquido*



Fuente: (XSTRATA COPPER, 2007)

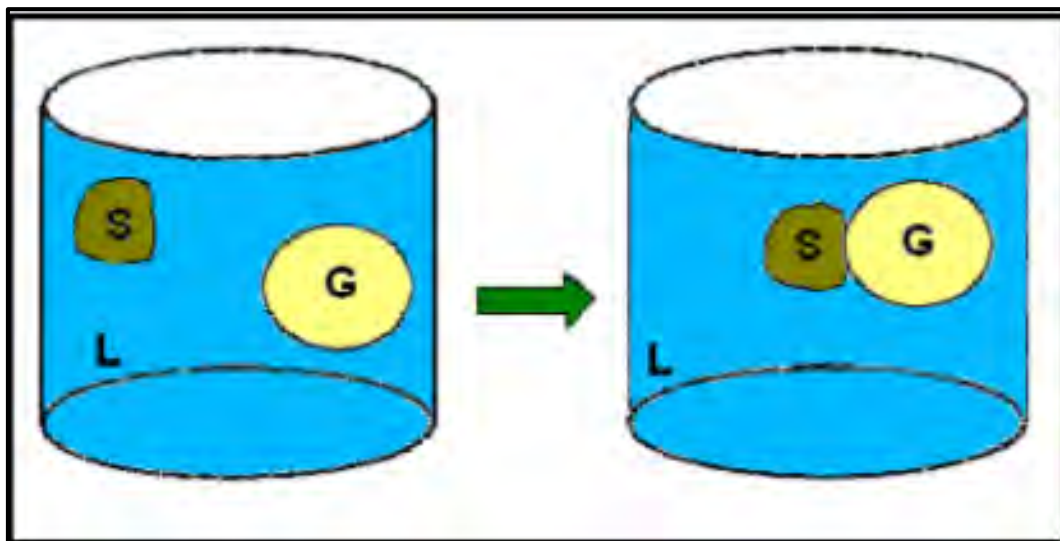
“Una burbuja inmersa en un líquido, encontraremos que cada átomo o molécula de una fase tiene enlaces similares con sus colindantes. En la interfase faltan aproximadamente la mitad de las uniones, lo que genera una fuerza resultante dirigida hacia el interior del gas y una cantidad de energía libre cuya magnitud se mide por la tensión superficial”. (Loius Salager, 2007)

### 2.3.8.2. Tensión superficial en contacto entre las tres fases (Sólido-Líquido-Gas)

En la flotación de una partícula sólida utilizando una burbuja de aire como medio de transporte, en la figura 2.12 se muestra la unión entre estos dos elementos se efectúa a través del contacto trifásico (sólido – líquido - gas) . (Loius Salager, 2007)

**Figura 2.12**

*Representación de contacto entre las tres fases (s-l-g)*



*Fuente: (XSTRATA COPPER, 2007)*

### 2.3.9. Fenómeno de adsorción

Se denomina adsorción al fenómeno de acumulación de materia en una interfase, en modo tal que su concentración sea mayor o menor que aquellas de las fases que forman la interfase. Cuando la concentración es mayor en la interfase se dice que la adsorción es positiva y es negativa en el caso contrario.

La adsorción en una interfase es descrita por la ecuación de adsorción de Gibbs como:

$$r_i = -\frac{1}{RT} \left( \frac{dy}{d \ln C_i} \right)$$

Donde:

$C_i$  = Concentración del componente i.

R = Constante de los gases.

$r_i$  = Adsorción relativa del componente i (densidad de adsorción).

T = Temperatura absoluta.

y = fuerza de tensión superficial

“Si disminuye la tensión superficial la adsorción aumenta (adsorción positiva). Los dos casos de adsorción de mayor interés en flotación son aquellos en la interfase gas – líquido (aire – agua) y en la interfase sólido – líquido (mineral – agua). También ocurren en la fase gas – sólido (oxidación superficial de minerales).” (Loius Salager, 2007)

#### 2.3.9.1. Adsorción Química

En el año 2015, el ingeniero Azañero indico que “la adsorción química se debe a interacciones químicas primarias (por ejemplo: covalentes), entre el adsorbente y el adsorbido

existe selectividad, formándose compuestos de superficie, apenas una monocapa puede ser adsorbida”. (p. 52)

Se puede observar algunas características de la adsorción química en la Tabla 2.1

### 2.3.9.2. Adsorción Física

Para el ingeniero Azañero (2015), “La adsorción física consiste en una unión débil de las fuerzas de Van Der Waals, caracterizada por un bajo calor de interacción, casi no es posible una acción selectiva entre adsorbente y adsorbente, adsorción o formación de múltiples capas.” (p. 52) Se puede observar algunas características de la adsorción física en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1**

#### *Características de la Adsorción Física y Química*

	Adsorción Física	Adsorción Química
Tipo de enlace	El adsorbato y la superficie interactúan solo por fuerzas de Van de Waals.	Las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con la superficie.
Efecto de la temperatura	El aumento de la temperatura disminuye la adsorción.	El aumento de temperatura aumenta la adsorción.
Calor de adsorción	Baja, entre 5-40 kJ/mol	Amplio rango (40-800 kJ/mol)
Energía de activación	Baja	Alta
Naturaleza de la adsorción	No disociativa. Reversible.	A menudo disociativa. Puede ser irreversible.
Rango de temperaturas	Próximo al punto de condensación del gas	Ilimitado (depende de cada molécula)
Especificidad cristalográfica (variación entre diferentes planos del mismo cristal)	Virtualmente independiente de la geometría de la superficie.	Alta, varía mucho dependiendo del plano.
Saturación	Multicapa	Mono capa



Cinética de adsorción	Rápida, no es un proceso activado.	Variable, suele ser un proceso activado.
Colectores	De cadena larga sobre un oxido; Alquilsulfonato ( $R - SO_3^-$ ), alquilamina ( $R - NH_3$ ).	Thiolicos o sulfhídricos (alquil xantatos), sobre minerales sulfurados.
Espumantes	Si	No

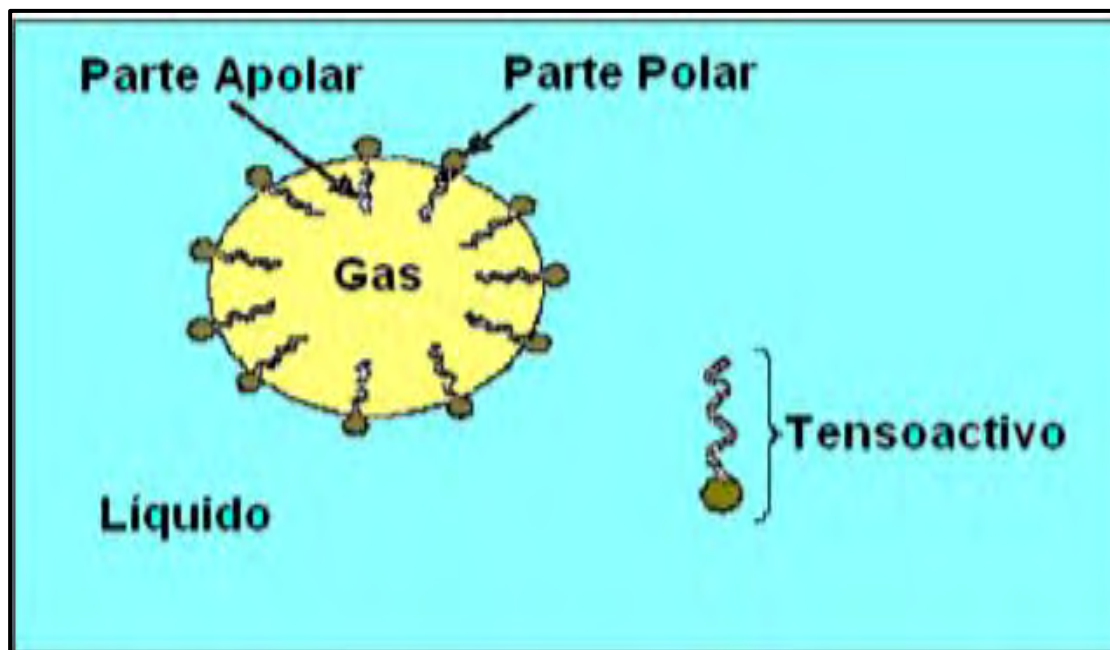
Fuente: (Chambi Huarca, 2020)

### 2.3.9.3. Adsorción en la interfase gas – líquido

Los compuestos que se adsorben selectivamente en la interfase gas-liquido (ver Figura 2.13) se llaman Tensoactivos y hacen reducir la tensión superficial. Los reactivos llamados espumantes, generalmente alcoholes, cumplen con este rol (Louis, 2007).

**Figura 2.13**

*Interfase Gas - Liquido*



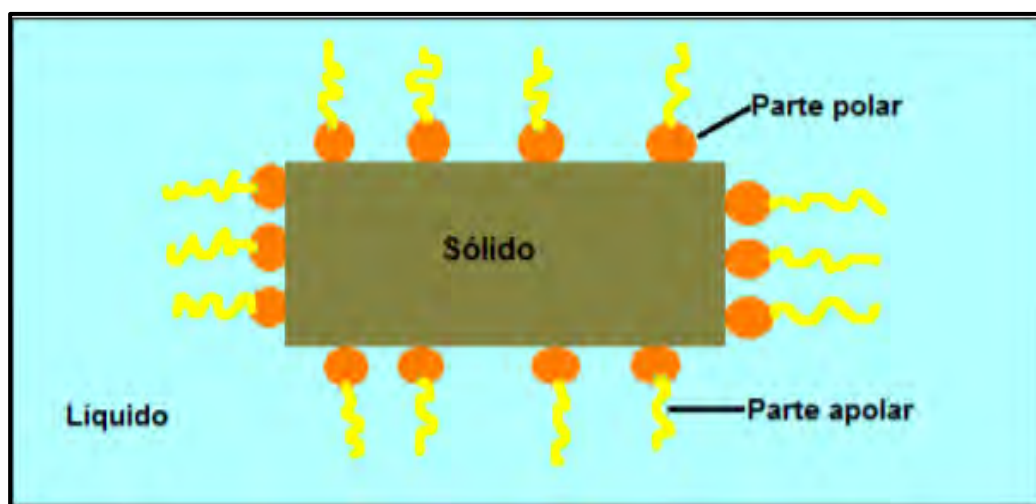
Fuente: (XSTRATA COPPER, 2007)

#### 2.3.9.4. Adsorción en la interfase sólido –líquido

Los compuestos que se adsorben en la superficie de los minerales se llaman colectores. Estos producen el fenómeno de hidrofobización artificial de los minerales y en general, el cambio de sus propiedades de mojabilidad (Louis, 2007).

**Figura 2.14**

*Interfase Solido - Líquido*



Fuente: (XSTRATA COPPER, 2007)

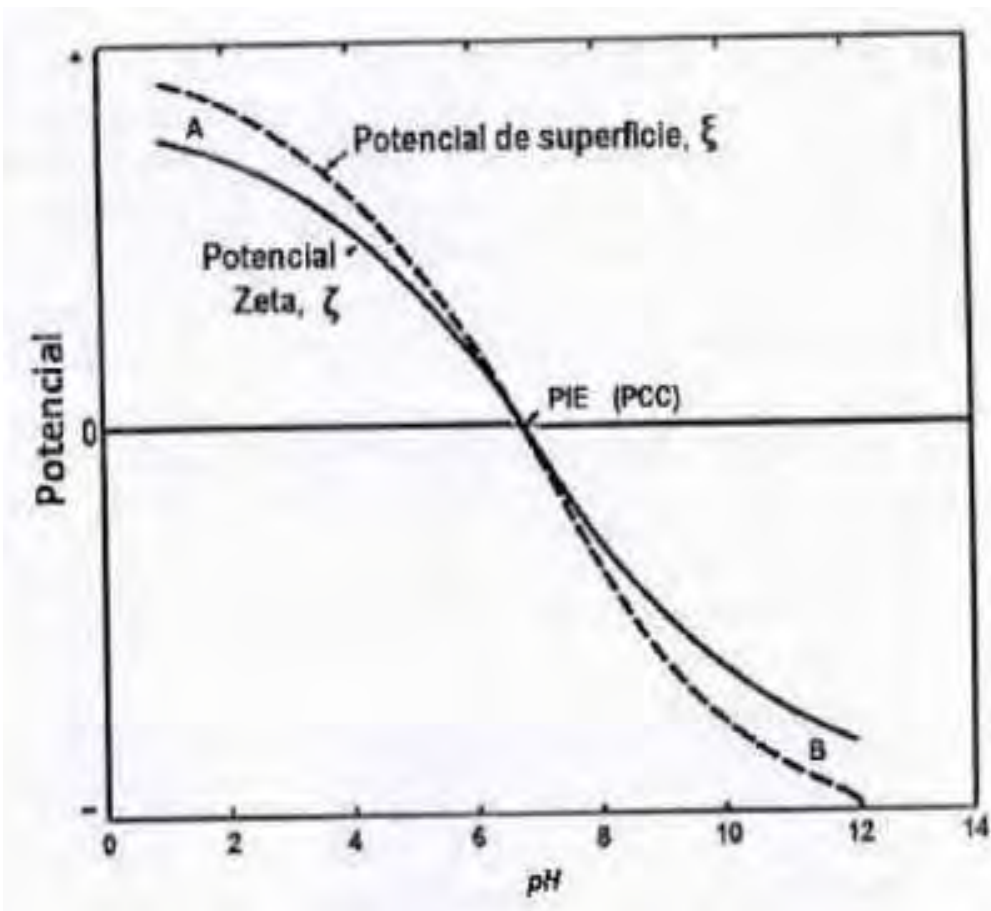
#### 2.3.10. *Potencial electrocinética*

Para Azañero (2015), cuando hay movimiento de la solución con relación a la superficie mineral (existe un movimiento entre sólido y líquido), “ocurre un esfuerzo cortante en un plano próximo al límite, comprendido entre las capas de Stern y de Gouy. Esto significa que los iones de la capa de Stern permanecen adheridos a la superficie del mineral, mientras que los iones de la capa de Gouy se eliminan de manera difusa con la solución. El potencial en este plano donde está presente el esfuerzo cortante se llama potencial zeta,  $Z$ . Este parámetro se puede medir por otros métodos, denominamos el lugar donde el potencial zeta es cero como punto isoeléctrico.” (p. 54)

Ver figura 2.15.

**Figura 2.15**

*Potencial Z VS el pH de la solución*



Nota: Efecto del potencial de determinación de la actividad iónica sobre el potencial de superficie y el potencial Zeta en la interfase mineral solución. Fuente: (Marsden & Jouse, 2006)

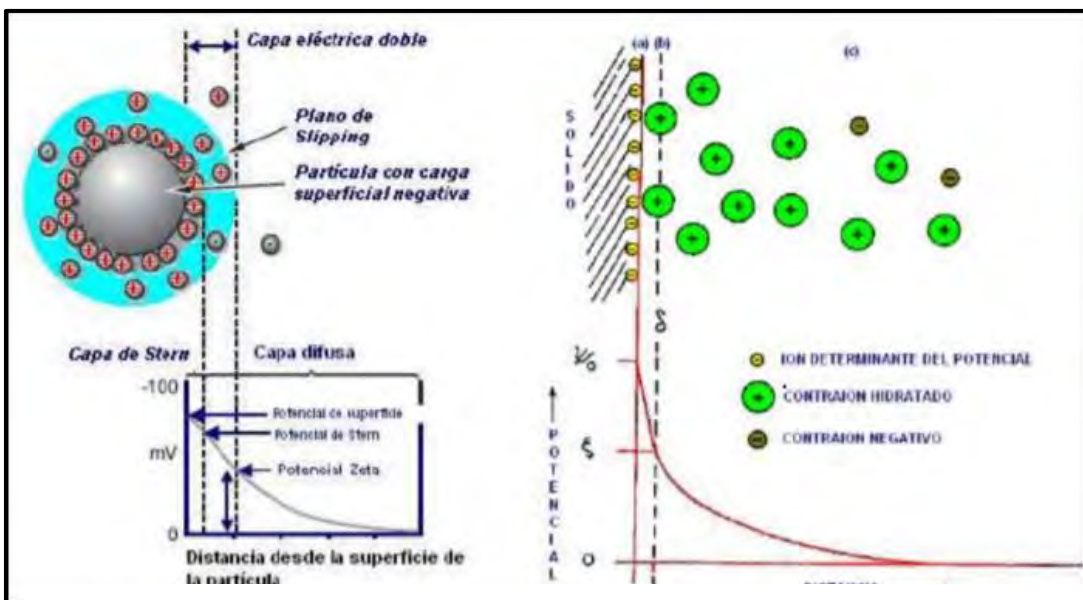
“El pH al cual el potencial superficial es cero se denomina punto cero de carga (PCC). Aquel al cual el potencial zeta es igual a cero, se denomina punto isoeléctrico (IEP). En los óxidos y silicatos estos puntos son iguales.” (Chambi Huarca, 2020, p. 30)

### **2.3.11. Teoría de la doble capa**

La doble capa (ver figura 2.26) controla el fenómeno de adsorción que hay entre la interfase agua – mineral.

Figura 2.16

Capa, eléctrica, doble



Fuente: Gutiérrez (2010)

“La carga eléctrica de los sólidos presentes en una pulpa acuosa atrae una (atmosfera) de iones de carga contraria, parte de la atmosfera es difusa. La carga superficial, junto con la capa de difusión, forma la doble capa eléctrica.

En la doble capa eléctrica se distinguen (ver figura 2.17) las siguientes zonas: la carga superficial, la capa de Stern (constituida por los iones en la fase acuosa próxima a la superficie) y la fase líquida”. (Chambi Huarca, 2020)

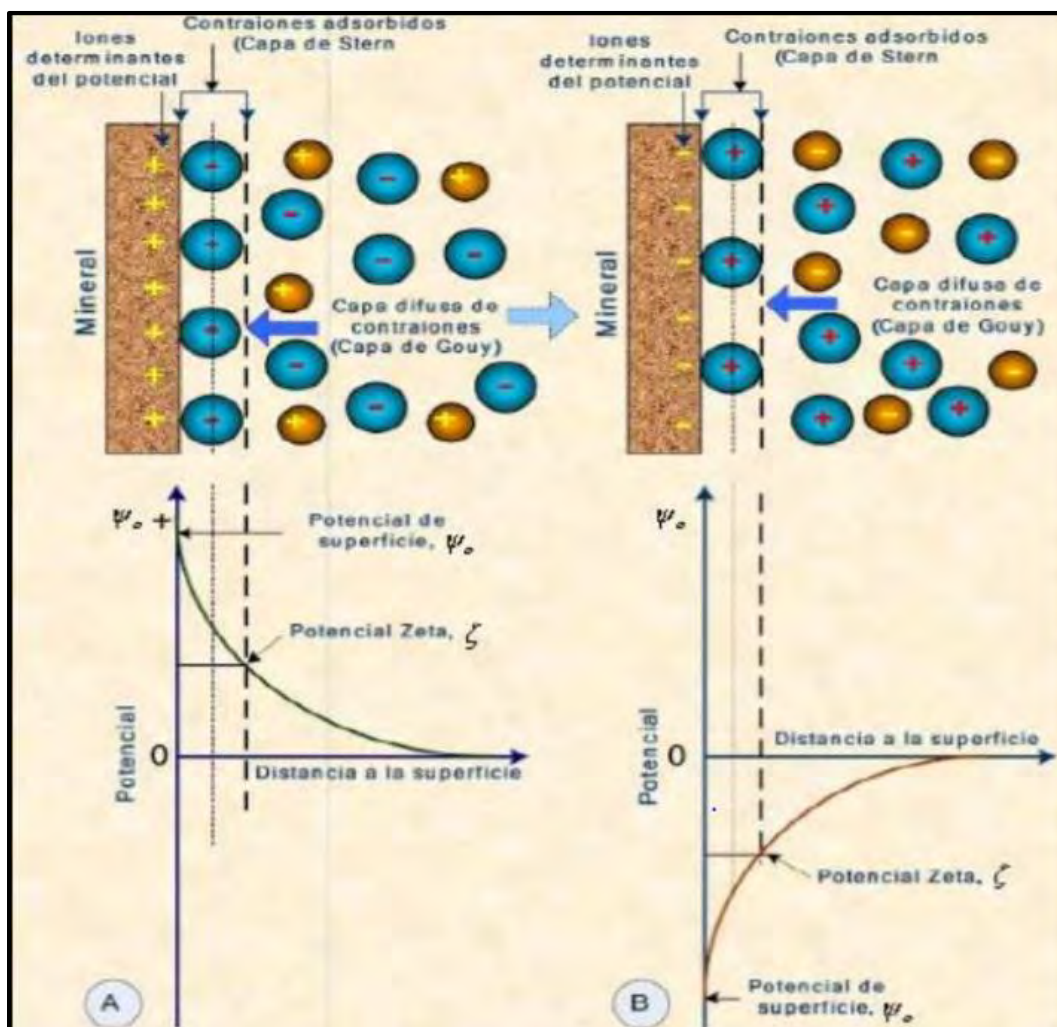
### 2.3.12. Efecto de la doble capa eléctrica

“La doble capa eléctrica puede afectar al proceso de flotación de diferentes formas:(ver figura 2.17) El signo y las magnitudes de la carga superficial controlan la adsorción de los agentes de flotación adsorbidos físicamente. Una alta carga superficial puede inhibir la quimisorción de colectores que se adsorben químicamente. El efecto de las lamas (slimecoating)

es determinado por la interacción de la doble capa eléctrica. La floculación, coagulación y dispersión de suspensiones minerales es controlada por la doble capa eléctrica.” (Chambi Huarca, 2020)

**Figura 2.17**

*Doble capa eléctrica en una superficie mineral en agua*



Fuente: Gutiérrez (2010)

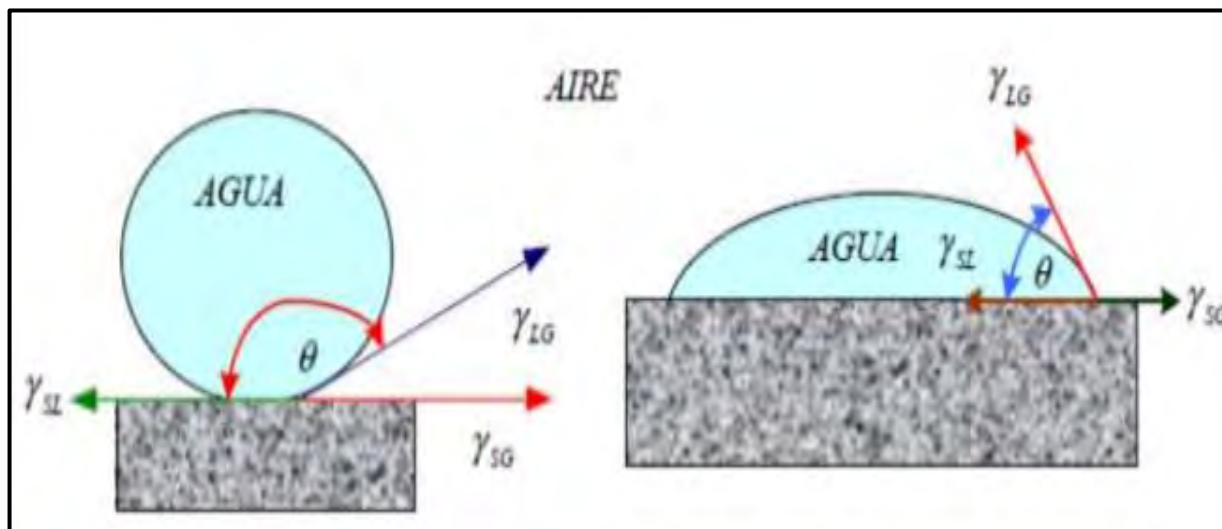
### 2.3.13. *Angulo de contacto y ecuación de Young*

“Es de suma importancia porque relaciona en forma cuantitativa las propiedades hidrofóbicas de un mineral con su flotabilidad. Si el sólido es hidrofóbico, ya sea en forma natural o por la adsorción de un colector en su superficie, la película de líquido retrocede hasta una posición en la que las tres tensiones superficiales se encuentren en equilibrio. El ángulo que se genera entre las tensiones interfaciales  $\gamma_{LG}$  y  $\gamma_{SL}$ , se llama ángulo de contacto. A mayor ángulo de contacto, mayor es la variación de la energía libre y, por lo tanto, el proceso de adhesión partícula – burbuja es más espontáneo. Cuando no hay contacto entre las tres fases,  $\theta$  es cero y, por el contrario, cuando es máxima la afinidad,  $\theta$  es  $180^\circ$ .” (Loius Salager, 2007)

A continuación, se tiene la representación del ángulo de contacto de afinidad nula y máxima afinidad, ver figura 2.18.

**Figura 2.18**

*Esquema del ángulo de contacto*



Fuente: (Linarez Gutierrez, 2016)

Donde:

$\cos \theta \gamma_{lg} - \gamma_{sl} + \gamma_{sg} = 0 \rightarrow$  En equilibrio.

$$\cos \theta \gamma_{lg} = \gamma_{sg} + \gamma_{sl}$$

que representa la ecuación Young; donde el producto  $\cos \theta \gamma_{lv}$  se denomina Tensión de adhesión la cual puede ser considerada como una medida de la fuerza requerida para la hidrofobización del sólido.

“Por tanto, la ecuación de Young establece las condiciones termodinámicas del equilibrio trifásico e introduce el concepto de hidrofobicidad, que es uno de los factores de intervención importantes en el proceso de flotación mineral. El ángulo de contacto  $\theta$  se puede definir como el ángulo formado por el plano tangente a la interfaz líquido-gas y el plano formado por el contacto trifásico sólido-líquido-gas. Nos da el concepto de mojabilidad e indica la necesidad. parámetro de superficie medido; por lo tanto, cuando el líquido humedece completamente el sólido, el ángulo de contacto  $\theta$  será igual a cero y un valor de  $\theta > 0^\circ$  indica mojabilidad parcial y mientras mayor sea el ángulo de contacto, menor será la mojabilidad, en consecuencia, mayor el grado de hidrofobicidad. Sin embargo, en esta ecuación sólo se puede medir experimentalmente la tensión superficial del líquido, mas no así  $\gamma_{sg}$  y  $\gamma_{sl}$ .” (Chambi Huarca, 2020)

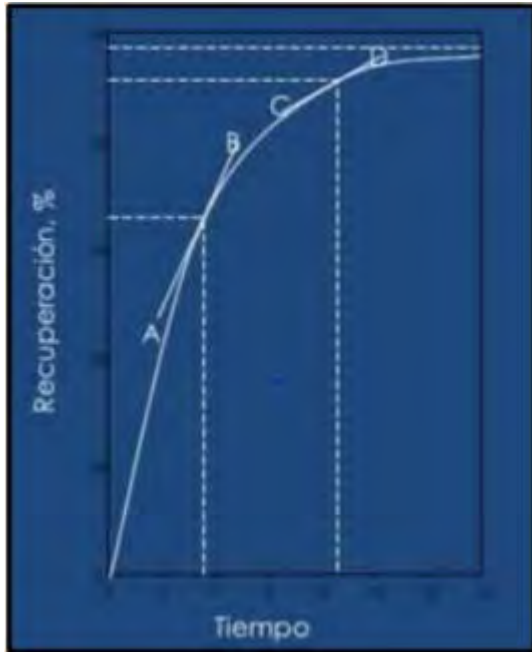
#### **2.3.14. Cinética de flotación**

“Se refiere a la velocidad de interacción entre partículas y burbujas lo que se induce en términos macroscópicos, en la velocidad en que flotan las partículas que llegan al concentrado, el tiempo de flotación es una variable fundamental de diseño y corresponde al tiempo máximo que hay que darles a las partículas más lentas, para que puedan ser extraídos de la pulpa. El tiempo de residencia(r), está vinculado al flujo de aire, de modo tal que si este último fuese pequeño, (t) debería de ser alta para colectar todas las partículas, hay una relación directa entre t, y la probabilidad de flotación, por lo que si esta es alta y si el flujo de aire es adecuado, la recuperación sería estable”. (Azañero, 2015)



**Figura 2.19**

*Grafica de la cinética de flotación*



Fuente:(Guerreros, 2012)

### 2.3.14.1. Velocidad de flotación

En general la velocidad de flotación puede modelarse a través de una reacción de primer orden

$$\frac{dc}{dt} = Kc^n$$

Donde:

$$c = c_0 * e^{-Kt}$$

$$\ln = \frac{c_0}{c} = Kt$$

$\frac{dc}{dt}$  = variación de la concentración con respecto al tiempo donde:

K = Es la constante de velocidad de la ecuación



$C_0$  = Concentración de material flotable

$C$  = Es la concentración de material flotable, en el tiempo ( $t$ )

$n$  = Es el orden de la reacción

El método de flotación no utiliza concentración, sino recuperación. En la práctica, no es posible lograr una recuperación del 100%, por lo que se introduce el concepto de recuperación máxima,  $R_{\text{máxima}}$  y, dado que no todos los materiales son flotantes, la ecuación se expresa con mayor precisión como.

$$R_{\infty} = \frac{C_0 - C_{\infty}}{C_0}$$

Luego la ecuación queda:

$$\frac{dc}{dt} = K(C - C_{\infty})^n$$

Para  $n=1$

$$R_t = R_{\infty}(1 - e^{-Kt})$$

Donde:  $R$

$t$  = Recuperación acumulativa en tiempo  $t$ .

$K$  = Constante de velocidad, que depende de los reactivos y de otras variables.

$R_{\infty}$  = Recuperación máxima posible que es asintótica (línea recta que se acerca indefinidamente a una curva), cuando  $t$  tiende al infinito.

$t$  = Tiempo acumulativo de flotación (minutos). (Azañero, 2015)

### 2.3.14.2. Modelo del 1<sup>er</sup> orden

Es uno de los primeros trabajos sobre cinética de flotación- semibach el cual permite ajustar la gran mayoría de los resultados experimentales y calcular la constante de velocidad de flotación.

$$\ln \frac{C_0 - C_\infty}{C - C_\infty} = Kt; R_t = R_\infty(1 - e^{-kt})$$

$$\frac{R_t}{R_\infty} = 1 - e^{-kt}$$

$$\frac{R_\infty - R_t}{R_\infty} = e^{-kt}$$

$R_\infty$  y  $k$  se obtiene del ajuste de parámetros del modelo  $(k)t = t - 1$ . (Azañero, 2015)

### 2.3.14.3. Modelo del 2<sup>do</sup> orden

Cabe destacar el modelo propuesto por klimpel, especialmente por el énfasis que pone este autor en la utilidad del cálculo de  $K$  para la evaluación y selección de reactivos de flotación, el modelo propuesto (este es el modelo de 2<sup>do</sup> orden) es el siguiente.

$$R_t = R_\infty \left[ 1 - \frac{1}{Kt} (1 - e^{-kt}) \right]$$

$$R_t = R_\infty^2 \frac{Kt}{1 + R_\infty Kt}$$

Donde:

$R_\infty$  = Recuperación máxima posible que es asintótica

$R_t$  = Recuperación acumulativa en tiempo (t).

$K$  = Constante de velocidad, que depende de los reactivos y de otras variables.

$t$  = Tiempo acumulativo de flotación (minutos). (Azañero, 2015)

“Generalmente basta usar los modelos cinéticos de 1er orden, donde se considera que todas las partículas tienen la misma probabilidad de flotar. Así se considera que hay distribución rectangular de velocidades, aparece el modelo de Klimpel, donde se obtiene mayor precisión. El objetivo de una evaluación cinética es determinar el tiempo óptimo de flotación y de los parámetros del modelo, ver que recuperación se puede obtener en un determinado tiempo de flotación.” (Azañero, 2015)

### **2.3.15. Factores que influyen en la flotación**

En todo proceso de flotación son cuatro los factores principales que intervienen y son:

#### **2.3.15.1. Tipo de mineral**

Es muy importante conocer la naturaleza del mineral, con fines de una buena flotación. Se realiza una cuantificación de la composición química de la ganga y del material valioso; su grado de diseminación, su dureza y la impureza presente en la mena; antecedentes geológicos del yacimiento y su método de exploración.

“La composición química del componente útil flotable es lo que determina el tipo de tratamiento y de reactivos que se usaran. Se sabe de antemano que los sulfuros y metales nativos, igual que los compuestos con arsénico, no presentaran mayores dificultades en lo que a la flotación misma se refiere. Los carbonatos, silicatos, sulfatos, fosfatos y otros *óxidos* o no-sulfuros, como se les llama, presentan problemas de mayor complejidad.” (Ramos Huilca & Ticona Luna, 2014, pp. 51-52)

### **2.3.15.2. Granulometría del mineral**

“Para que el mineral valioso pueda ser flotado es necesario su liberación, esto quiere decir que se tiene que reducir el tamaño del mineral hasta obtener una representación de una sola especie.

El tamaño óptimo es aquel en el que se obtiene buenos concentrados con una recuperación excelente, esta expresado en porcentaje negativo de la malla 200.” (Bravo, 2004, p. 37)

“Aparte del tamaño máximo de las partículas a flotar, determinado por su peso y diámetro relativo, es de gran importancia el tamaño indicado como su punto de liberación. La mayoría de los minerales útiles yacen en forma dispersa, o sea, impregnan la roca matriz en forma de partículas que varían de tamaño entre varios micrones y un centenar de micrones. Esto significa que, si el mismo mineral que se va a flotar no es molido hasta el punto de liberación de sus valores mineralógicos, las recuperaciones van a disminuir considerablemente”. (Ramos Huillca & Ticona Luna, 2014, pp. 52-53)

### **2.3.15.3. Colectores**

Para poder realizar una flotación eficaz el colector es aquel que se encargara de acondicionar la superficie del mineral y así obtener una buena recuperación.

“El colector se constituye, por tanto, en el factor principal del circuito de flotación. De allí que es necesaria la combinación más apropiada del colector y modificadores para obtener los mejores resultados metalúrgicos” (Bravo, 2004, p. 11)

#### **2.3.15.4. Modificadores**

Los modificadores son reactivos que ayudan a los colectores a ser más selectivos, obteniendo una separación eficaz entre ganga y mineral valioso.

“La función específica de los reactivos modificadores es precisamente preparar las superficies de los minerales para la adsorción o desorción de un cierto reactivo sobre ellas y crear en general en la pulpa condiciones propicias para que se pueda efectuar una flotación satisfactoria. Ósea cambia o modifica la superficie de los sulfuros o de la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos, evitando de esta manera que floten.” (Bravo, 2014, p. 14)

#### **2.3.15.5. Dosificación de Los Reactivos de Flotación**

La dosificación de reactivos en muchas ocasiones debe tener un orden de adición, ya que esto varía de acuerdo a la mineralogía de cada mineral.

“Los reactivos de flotación se agregan generalmente en las siguientes cantidades: colectores entre 25 y 100 g/TM; modificadores entre varios gramos y varios kilos por tonelada. La cantidad de reactivos agregada en un circuito de flotación tiene que ser materia de un meticuloso estudio, pues influye no solo en los resultados metalúrgicos, sino también en los costos del proceso, siendo un aspecto de mucha importancia”. (Ramos Huillca & Ticona Luna, 2014, p. 54)

#### **2.3.15.6. Densidad de pulpa**

En el proceso de flotación la densidad de pulpa depende de varios factores. “En primer lugar, influye el tamaño granulométrico del rebalse. Al aumentar el porcentaje de sólidos, el producto va a ser más grueso y al disminuir los sólidos, el rebalse será más fino. Así con 35% de

sólidos la granulometría baja a un 63% - 200 mallas y con 25% de sólidos sube a un 70% - 200 mallas.” (Ramos Huillca & Ticona Luna, 2014, p. 55)

#### **2.3.15.7. pH de la pulpa**

El grado de acidez del medio (pH) es muy importante porque para flotar cierto tipo de mineral, el medio de la pulpa tiene que tener un cierto grado de acidez o de basicidad para la flotación del mineral valioso. En el año 2014, Ramos Huillca & Ticona Luna indican que “cada mineral de un metal particular posee un rango específico de pH en el cual se produce su flotación en forma efectiva. Por lo general casi todos los sulfuros metálicos flotan adecuadamente en medio básico.” (p. 55)

#### **2.3.15.8. Impurezas en la pulpa**

Cuando las impurezas se concentran en la parte superficial del mineral pueden actuar de distintas formas, ya sea favorable o desfavorable para el proceso. Primero, estas impurezas pueden actuar como depresores y así reducir la recuperación. Segundo, puede activar alguna superficie de un mineral sin valor (ganga) combinándola con el concentrado, reduciendo la ley del concentrado.

#### **2.3.15.9. Tiempo de acondicionamiento**

Para que los reactivos cumplan su función de manera eficiente, es necesario un tiempo de acondicionamiento con la superficie de la pulpa, el tiempo de acondicionamiento de los reactivos varía de acuerdo al tipo de reactivo y a la mineralogía del mineral. Por ejemplo, algunos minerales necesitan ser acondicionados con algunos reactivos desde el proceso de molienda.

Según la investigación realizada el año 2014 por Ramos Huillca & Ticona Luna:

“La adsorción de los reactivos depende de su composición, solubilidad, disociación, concentración y temperatura de la pulpa. En condiciones industriales, el tiempo necesario para acondicionar los reactivos varía típicamente entre un minuto y media hora. Cuando son poco solubles y reaccionan lentamente con las superficies minerales, se introducen en el circuito de molienda y calibración, que puede durar de 5 a 30 minutos de acondicionamiento. Dado que no pueden ser añadidos por ningún motivo en el circuito de molienda, se utilizan agentes acondicionadores especiales cuya única función es preparar la pulpa con reactivos para la flotación”. (pp. 56-57)

#### **2.3.15.10. Tiempo de contacto en la celda de flotación.**

En la investigación realizada por Ramos Huillca & Ticona Luna en el año 2014, indican que: “En una pulpa bien agitada y adecuadamente aireada no hay problema para que las partículas recubiertas con un colector apropiado se peguen a las burbujas en forma instantánea, siempre que estén completamente liberadas y sean de tamaño granulométrico adecuado. En primera instancia van a flotar las partículas que son 1) más hidrofóbicas, 2) mejor liberadas y 3) de un tamaño adecuado. Una vez que estas flotan, empiezan a flotar las menos hidrofóbicas, menos liberadas y de mayor tamaño. El tiempo necesario para desarrollar la flotación varía normalmente entre 5 y 30 minutos, siendo 8 a 10 minutos el tiempo promedio. El tiempo de flotación depende también de la naturaleza del mineral. Los minerales oxidados se recuperan mucho más lentamente que los sulfuros y los metales nativos flotan más rápidamente que estos”. (p. 57)

#### **2.3.16. Reactivos de flotación**

El uso de los reactivos de flotación es muy necesario para convertir aquellas superficies hidrofílicas selectivamente en hidrofóbicas.

Para Manzaneda Cabala (1990), “se logra hidrofobizar la superficie del mineral regulando las condiciones generales de la solución acuosa del sistema (eliminación de iones, pH ajustado, etc.) y agregando seguidamente un reactivo denominado COLECTOR que se adsorbe selectivamente a la superficie de las especies minerales deseadas y las hace hidrofóbicas.” (p. 217)

Hay algunos casos en donde los minerales logran hacerse hidrofóbicas sin el uso de colectores. Esto ocurre cuando se dosifica de manera excesiva el reactivo sulfuro de sodio y que tiene como resultado la formación de películas superficiales bastante estables o hidrofóbicas, posibles de lograr la flotación (irregular) sin la adición de un colector en especial. (Manzaneda Cabala, 1990, p. 217)

### **2.3.17. Tipos de reactivos**

Los tipos de reactivos de flotación (ver tabla 2.2) son los siguientes:

- **Colector.** Es el reactivo fundamental del proceso de flotación puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral.
- **Modificadores.** Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando el trabajo del colector para flotar el mineral valioso, evitando flotar todos los otros minerales como es la ganga.
- **Espumante.** Tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas). (Astucuri, 1947)



**Tabla 2.2***Efectos de los Reactivos*

<b>REACTIVOS</b>	<b>EXCESO</b>	<b>DEFECTO</b>
<b>ESPUMANTES</b> Aceite de Pino Frother 70, MIBC Dowfroth 250	Gran cantidad de espumas Rebalsan los canales y cajones Tendencia a ensuciar los concentrados	Muy baja la columna de espuma. Los sulfuros valiosos se pasan al relave
<b>COLECTORES</b> Xantato Z – 11 Xantato Z – 6 Aerofloat 25 Ditiofosfatos Reactivo 301	Flotan todo tipo de sulfuros No hay selección Se ensucian los concentrados Flota pirita e insolubles Produce carga circulante	Espumas muy pobres con concentrado limpio Espumas muy frágiles Los sulfuros valiosos se pasan al relave
<b>MODIFICADORES</b> <b>Sulfato de Zinc y Bisulfito de sodio</b> (Deprime sulfuros de zinc, ZnS)	Despilfarro, consumos muy altos Aumenta consumo de CuSO <sub>4</sub> Peligro de envenenar la pulpa Depresión de sulfuros de plomo Activación de sulfuros de fierro al bajar el pH	Flotan los sulfuros de zinc en el circuito de plomo o bulk
<b>Cianuro de Sodio</b> (Deprime Pirita y sulfuro de zinc)	Un exceso en el circuito de Pb o bulk, deprime los sulfuros de Pb y Ag Activa los sulfuros de Zn al subir pH	Flotarían mucho fierro y se ensuciaría el concentrado
<b>Bicromato de Sodio</b> (Deprime sulfuros de plomo) Se usa para separar plomo de cobre	Despilfarro consumo alto inútil Aumenta consumo de colectores Peligro de envenenar la pulpa Aguas con alto contenido de iones Cr	Flota mucho plomo con el cobre en la separación
<b>Sulfato de cobre</b> (Reactiva los sulfuros de zinc que han sido	Se espesan las espumas de los concentrados de zinc, y los concentrados se ensucian con pirita Producen perdida de sulfuros en el relave	No se reactivan completamente los sulfuros de zinc que vienen de la flotación bulk.

deprimidos por el sulfato de zinc)	Producen carga circulante innecesaria	Además, se suavizan las espumas y los sulfuros valiosos se pasan al relave (espumas muy frágiles)
<b>Lechada de cal,</b> Carbonato de sodio (reguladores de pH y depresores de Pirita)	Se eleva demasiado el pH Las espumas son frágiles Aumenta el consumo de colectores Los sulfuros se pierden en el relave	Se baja el pH Flota pirita en exceso Se espesa las espumas Se ensucia el concentrado
<b>Superfloc,</b> Separan (floculante, aglomerantes de lamas)	Demasiado costo. Veloz asentamiento de los sólidos, pueden plantar los rastrillos del espesador	Pérdida de sólidos en el rebalse del espesador
<b>Silicato de sodio</b> Almidón (dispersantes de lamas)	Peligro de envenenar la pulpa	No dispersa bien la ganga silicosa. Se ensucian los concentrados

*Fuente:* (Bravo, 2004)

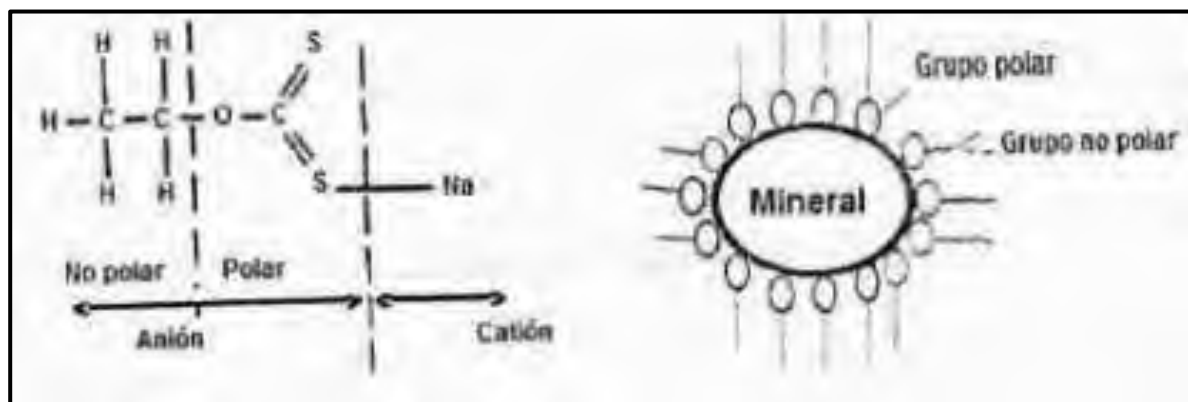
### 2.3.17.1. Colectores.

Según Manzaneda (1990), “los colectores son los reactivos de uso más crítico; generalmente son moléculas orgánicas o iones que se adsorben selectivamente sobre las superficies minerales para hacerla hidrofóbica. Muchos de los colectores son ácidos débiles, bases o sales. Los colectores son componentes heterogéneos que contienen un grupo polar activo, el cual se adsorbe sobre el mineral y una cadena de hidrocarburos que presenta un grupo no polar, el cual es una superficie hidrofóbica y va hacia la solución bulk, estos reactivos son usados para lograr la selectividad del mineral hidrofóbico valioso”. (p. 218)

En la siguiente figura se muestra de manera esquemática la adsorción de un xantato en un mineral.

## Figura 2.20

Formula Química del Xantato Etilico de sodio (izquierda); Esquema de adsorción del Xantato en un mineral(derecha)

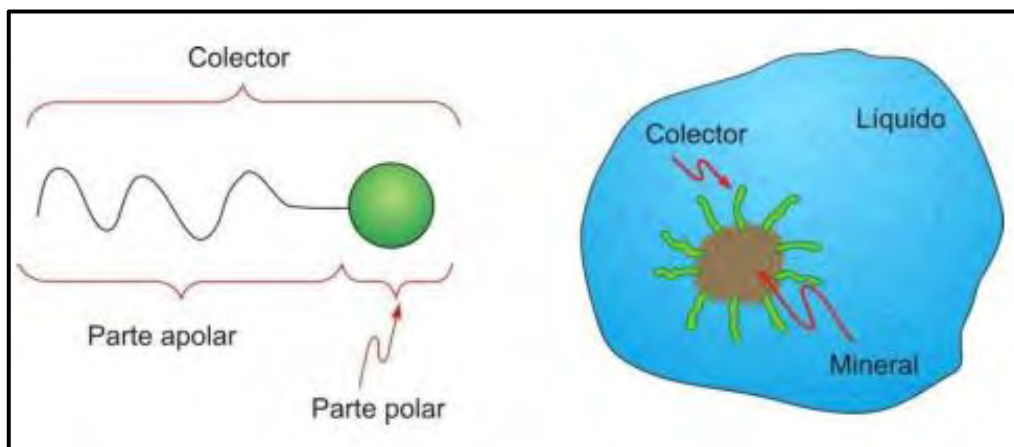


Fuente: (Leja, 1982)

Los colectores son compuestos químicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no-polar. El anión o catión del grupo polar permite al ion del colector quedar adherido a la superficie también polar del mineral. Por el contrario, el grupo no-polar o hidrocarburo, queda orientado hacia la fase acuosa hidrofugando el mineral, ya que tal orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral. Por consiguiente, las partículas de mineral hidrofobadas por una película de colector se adhieren a las burbujas de aire que van subiendo, arrastrando consigo el mineral a la superficie de la pulpa. El colector, se constituye, por tanto, en el factor principal del circuito de flotación. De allí que es necesaria la combinación más apropiada del colector y modificadores para obtener los mejores resultados metalúrgicos. (Zanabria, 2020)

**Figura 2.21**

Colectores



Fuente: (Zanabria, 2020)

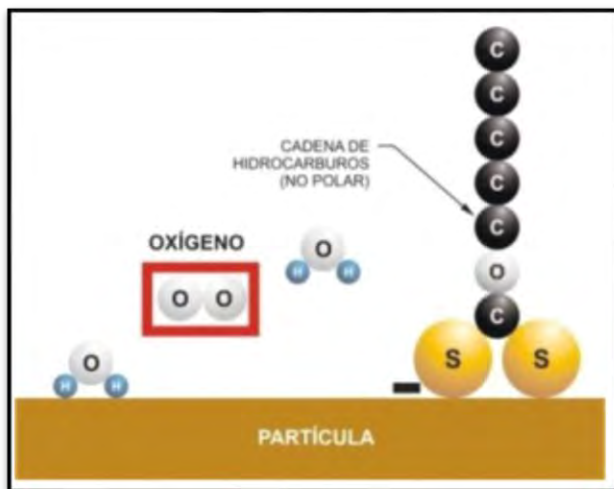
Para Zanabria (2020), el xantato puede adsorberse a la superficie de una partícula transfiriendo electrones a través de la superficie hacia la pulpa. Estos electrones se combinan con el oxígeno y el agua presentes en la superficie para producir iones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ). Esta transferencia o grupo de electrones crea una corriente eléctrica o un potencial que puede ser medido en la pulpa. Los tres factores más importantes que regulan la adsorción del colector son:

- a. La concentración de oxígeno en la pulpa.
- b. El flujo de electrones conocido como potencial de pulpa.
- c. El pH o más específicamente la concentración de iones ( $\text{OH}^-$ ). (p. 21)

#### **A. La concentración de oxígeno en la pulpa.**

“Es de suma importancia la concentración de oxígeno presente en el proceso, ya que sin oxígeno no se logra una adsorción del colector.” (Zanabria, 2020, p. 22)

En la figura 2.22 se muestra la necesidad de que haya oxígeno en el proceso.

**Figura 2.22***Concentración de oxígeno**Fuente: (Zanabria, 2020)***B. El flujo de electrones conocido como potencial de pulpa.**

Muchas de las reacciones que ocurren en las pulpas de flotación son de naturaleza electroquímica, lo que en otras palabras significa que se realiza una entrega de electrones desde una sustancia a la otra. Un flujo de electrones implica una corriente eléctrica y un voltaje.

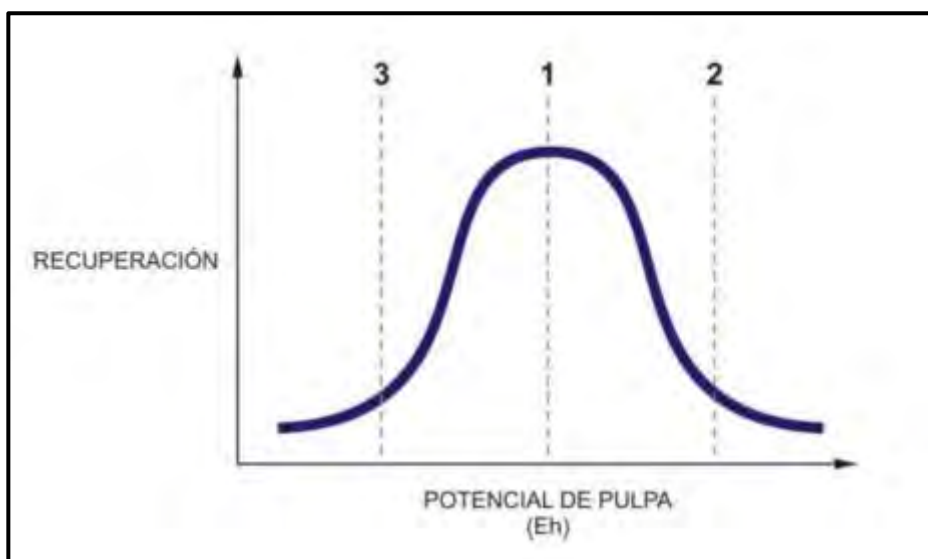
Este voltaje se conoce también como potencial, y en sistemas de flotación se denomina potencial de pulpa, potencial electroquímico, o Eh. La flotación se produce en un medio ambiente complejo en donde ocurren muchas reacciones entre minerales sulfurados, oxígeno, iones metálicos, y diferentes reactivos de flotación. Cada reacción contribuye al potencial de pulpa global. El potencial de pulpa se puede cambiar agregando reactivos, los cuales alteran las reacciones que ocurren a en la pulpa. El oxígeno es uno de los agentes reactivos más usados comúnmente en este fin.

El potencial de pulpa regula muchas de las reacciones químicas que ocurren en la flotación de pulpa (ver figura 2.23), un potencial de pulpa alto (1) fomenta la adsorción del

colector, sin embargo, si el potencial de pulpa es demasiado alto (2) se producen reacciones que oxidan el mineral lo que puede afectar negativamente la flotación. Por otro lado, si el potencial de pulpa es demasiado bajo (3) la adsorción del colector puede dejar de ocurrir, a menudo se utiliza aireación con el fin de introducir más oxígeno a la pulpa esto aumenta el potencial de pulpa fomentando así la adsorción. (Zanabria, 2020)

### Figura 2.23

*Curva de potencial de pulpa*



Fuente: Zanabria, 2020

Zanabria en el 2020, indica que el pH es una variable muy importante para el control de la flotación debido a que afecta directamente la adsorción del colector, la cual ocurre mediante el mecanismo de transferencia de electrones. Uno de los productos de este mecanismo de reacción son los iones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) Si se aumenta el pH, la concentración de iones  $\text{OH}^-$  aumenta. Esto disminuye e incluso puede llegar a detener completamente la reacción del colector con el mineral debido al cambio en el equilibrio químico. Cuando esto ocurre el colector deja de adsorberse sobre la superficie del mineral. (p. 23)

### 2.3.17.2. Clasificación de los colectores.

Zanabria (2020) afirma que “la clasificación de los colectores se realiza según a la habilidad que tienen para disociarse en una solución acuosa considerando el tipo de ion que produce el efecto de repulsión al agua. La clasificación es la siguiente:

**Colectores no iónicos:** No poseen grupos polares. Hidrocarburos saturados o no saturados, fuel Oil, kerosén. Tornan al mineral repelente al agua al cubrir su superficie con una fina película. fuertemente hidrofóbicas, se usan en flotación de minerales pronunciadamente hidrofóbicas, como carbón, grafito, azufre y en especial, molibdenita” (p.23).

**Colectores aniónicos:** “son los que convierten al mineral repulsivo al agua por acción del anión. Son los colectores que más se usan en la flotación, se caracterizan por su notable selectividad y su fuerte adherencia. Ejemplo: los del tipo THIOL, cuyo grupo polar contiene azufre bivalente.

Los más caracterizados son los xantatos y ditiofosfatos. Le siguen en importancia la tiocarbonilida y el mercaptobenzotiazol, etc.

**Colectores catiónicos:** son aquellos donde la repelencia al agua es asegurada por el catión (carga positiva), se usan principalmente en la flotación de silicatos y óxidos, siendo su aplicación bastante limitada”. (Zanabria, 2020, p. 23)

### 2.3.17.3. Modificadores.

Son reactivos usados en la flotación para controlar el efecto de los colectores, ya sea intensificando o reduciendo su efecto hidrofóbico en la superficie del mineral, de manera que la selectividad de la flotación sea incrementada; se divide en:

**Activadores.** La función de los activadores es hacer flotantes aquellos minerales que normalmente no responden a la acción de los activadores. Los activadores también sirven para hacer flotar de nuevo los minerales que se han deprimido temporalmente en la flotación selectiva. La esfalerita deprimida con cianuro y sulfato de zinc se puede activar con sulfato de cobre y luego responderá al tratamiento como un sulfuro normal. La estibina, el mineral de sulfuro de antimonio, responde mucho mejor a la flotación después de activarse con nitrato de plomo.

La teoría generalmente aceptada sobre la activación es que la sustancia activante, generalmente una sal metálica, reacciona con la superficie del mineral para formar sobre ella una nueva superficie más favorable a la acción de un promotor. Esto también se aplica a los minerales no metálicos.

**Depresores.** La función de los depresores es prevenir, de forma temporal, o en ocasiones permanente, la flotación de ciertos minerales sin evitar que el mineral deseado flote fácilmente. Los depresores a veces se denominan inhibidores.

Los depresores pueden actuar a través de diferentes mecanismos. Algunos depresores se absorben a la superficie del mineral antes de que lo haga el colector. En primer lugar, los colectores no se pueden absorber y convertir así las partículas en partículas hidrofóbicas.

En segundo lugar, los depresores tienen grupos hidrofílicos que disminuyen aún más la probabilidad de que las partículas floten.

**Reguladores de pH.** La función de los reguladores es modificar la alcalinidad o acidez en los circuitos de flotación, que comúnmente se calcula en función de concentración de iones de hidrógeno o pH. La modificación del pH de una pulpa tiene un efecto pronunciado sobre la



acción de los reactivos de flotación y es uno de los medios importantes para hacer posibles separaciones que de otro modo serían difíciles. La acción de los reguladores a menudo se puede considerar triple de la siguiente manera:

1. Para precipitar las sales solubles de la solución.
2. Para limpiar las superficies minerales potenciando así la acción de otros reactivos.
3. Deprimir ciertos minerales.

### **2.3.18. Reactivos de flotación para oxidados de cobre**

El proceso de flotación en plantas metalúrgicas de los minerales oxidados de cobre requiere de tratamiento previo antes de su concentración por flotación (ver tabla 2.3). Además, “los minerales oxidados de cobre no presentan la misma docilidad que los sulfuros, al proceso de flotación, requieren un tratamiento previo de sulfidización con sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), este reactivo le confiere al óxido un mayor grado de flotabilidad. Los óxidos principales de cobre son la Cuprita (Cu<sub>2</sub>O) y la Tenorita (CuO).” (Manual de minería, sf, p. 174). Los principales reactivos utilizados son:

**Tabla 2.3**

#### *Reactivos para Flotación de Óxidos*





FLOTACIÓN OXIDOS DE COBRE	
Reactivo	Consumo promedio
Sulfuro de sodio	0.5 - 1.8 8 Kg/TM
Xantato amílico de potasio	120 – 180gr/TM
Silicato de sodio	80 – 120gr/TM

*Fuente:* (Manual de minería, sf, p. 174)

### 2.3.19. Flotación de minerales oxidados de cobre

“La sulfidización consiste en la adición de reactivos que aportan iones  $S^{2-}$  y  $SH^-$ . El rol de estos iones es modificar completamente la naturaleza fisicoquímica de la estructura superficial de los óxidos de cobre, permitiendo la adsorción de colectores en ella, y su posterior flotación. En flotación de minerales oxidados de cobre Malaquita  $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ , azurita  $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ , crisocola  $CuSiO_3 \cdot nH_2O$  y cuprita  $Cu_2O$ , que tienen una oxidación profunda, el procedimiento más ampliamente usado es la sulfurización de sus superficies; después de este tratamiento, colectores tipo xantatos: amil, isopropil, isobutil, pueden emplearse satisfactoriamente. El objetivo principal del proceso de sulfurización es convertir la superficie de los minerales oxidados en sulfuros, dando como resultado una superficie menos hidrofílica, mediante la adsorción química del ion sulfuro. Las reacciones de sulfurización comúnmente se llevan a cabo en medio alcalino, donde la especie predominante es el ion bisulfuro  $HS^-$ , puesto que en soluciones alcalinas, las superficies de los minerales presentan un alto grado de hidratación. Se usa el sulfhidrato de sodio  $NaSH$  como un agente para activar las especies alteradas en la flotación de sulfuros de cobre. Existen antecedentes técnicos en la industria de que las condiciones, dosis de adición y los puntos de adición óptimos del sulfhidrato de sodio varían según la especie mineralógica, la roca madre, las alteraciones y la mineralización, del mineral a procesar”. (Delgado Abril, 2016, pp. 44 - 45) (ver tabla 2.4).

**Tabla 2.4***Minerales Oxidados de Cobre*

Minerales oxidados de cobre			
Mineral	Formula	% de Cu total en el mineral	Imagen
Malaquita	$Cu_2CO_3(OH)_2$	57.3	
Azurita	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	55.1	
Crisocola	$CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$	37.9	
Cuprita	$Cu_2O$	88.8	

Fuente: Propia

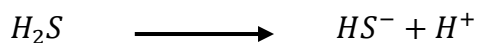
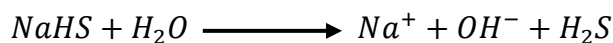
**2.3.19.1. Química del proceso de flotación**

“Los minerales oxidados de cobre son más difíciles de flotar que sus correspondientes sulfuros, esta dificultad está íntimamente asociada a la gran hidratación de carbonatos, sulfatos y silicatos, lo que a su vez, se debe a la interacción de las moléculas de agua con los sitios polares que se crean en las superficies de estos minerales durante su fractura; como resultado de la adsorción de moléculas de agua en la superficie se forman grupos hidroxilo, siendo la superficie mucho más hidrofílica comparada con la superficie de los sulfuros. Estas superficies hidrofílicas tienen una gran tendencia a reaccionar con las moléculas de agua y las burbujas de aire no se

adhieren a estas superficies. Por otro lado, la concentración de grupos hidroxilo en la superficie de minerales oxidados, favorecen el inicio y crecimiento de nuevas capas de moléculas de agua adsorbidas. Estas capas de agua tienen un efecto significativo en la humectación físico-química de la superficie del sólido y en la naturaleza de la adsorción, creando condiciones desfavorables para la flotación, ya que la adsorción (interfase mineral / agua) de colectores para pasar de un estado hidrofílico a hidrofóbico es fundamental para que flote un mineral, en secuencia cambiar las condiciones de esta interface es muy importante y a veces difícil lograrlo en minerales oxidados”. (Delgado Abril, 2016, pp. 45 - 46)

### 2.3.19.2. Sulfidización

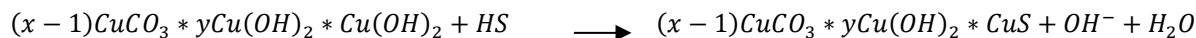
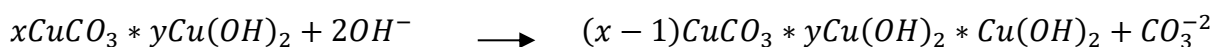
“Se genera una película sulfurada sobre la superficie de las partículas mediante la aplicación de reactivos sulfidizantes, tales como Sulhidrato de Sodio (NaHS), Sulfuro de Sodio (Na<sub>2</sub>S) o sulfuro de amoníaco (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, en un medio reductor. El enmascaramiento de las partículas hace que se comporten como mineral sulfurado, para efectos de ser flotados, utilizando colectores y espumantes habituales para sulfuros de cobre, esto permite tratar con mayor efectividad minerales oxidados de cobre, mediante flotación convencional. En la práctica industrial se realiza para especies mineralógicas tales como: malaquita, azurita, brochantita, atacamita y cuprita. La adición de NaHS a una pulpa de flotación alcalina conduce a las reacciones siguientes (Delgado Abril, 2016, pp. 46 - 47):



$$\text{Log} \frac{HS^-}{HS} = -7.0 + pH$$

$$\text{Log} \frac{S^{-2}}{HS} = -13.9 + pH$$

“Como resultado de la hidrólisis y disociación del NaHS, aparecen los iones OH<sup>-</sup>, HS<sup>-</sup> y S<sup>-2</sup> en la pulpa donde ellos reaccionan con la superficie del mineral, los iones HS<sup>-</sup> y S<sup>-2</sup> son los más activos. La disociación del H<sub>2</sub>S ocurre entre pH 7.0 y 13.9 con una predominante formación de iones HS<sup>-</sup>. La sulfidización superficial de la malaquita y atacamita puede ser descrita por las siguientes reacciones:” (Delgado Abril, 2016, pp. 46 - 47)



### 2.3.19.3. Efecto reductor del sulfuro de sodio

El Na<sub>2</sub>S añadido en forma constante tiene los siguientes efectos: permite precipitar iones disueltos en solución, los cuales se desplazan como coloides y forman parte de los relaves, inhibe la oxidación de los sulfuros secundarios de cobre; la formación de una capa de sulfuro de cobre que permite activar las superficies de los minerales de cobre reduce el carácter hidrofílico de la capa externa de un mineral oxidado.

“La adición de este reactivo da lugar al bisulfuro, HS<sup>-</sup>, como la especie predominante en el rango de pH de 8 a 11. Este compuesto tiende a oxidarse rápidamente en pulpas oxigenadas, en donde diversos minerales ejercen acción catalítica para esa oxidación. Una buena práctica operativa en la adición del reactivo parece ser la de establecer un período de sulfidización a potencial controlado de - 500 a -600 mV electrodo Pt –SCE, seguido de la flotación. Una adición excesiva o deficitaria del reactivo puede ser contraproducente para el proceso. El control automático del pH y potencial de pulpa es recomendable para esta operación.” (Delgado Abril, 2016, p. 47)

## CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. *Hipótesis general*

- El uso de sulfuro de sodio recupera los óxidos de cobre eficientemente de las colas provenientes de flotación de sulfuros, en la planta de beneficio La Azulita SAC – Nazca.

#### 3.1.2. *Hipótesis específicas*

- La dosificación de sulfuro de sodio permite la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.
- Una dosificación del xantato Z-6 adecuado permite la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.
- El pH influye significativamente en la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.

### 3.2. Variables e indicadores

#### 3.2.1. *Identificación de variables*

##### 3.2.1.1. **Variable dependiente:**

- Recuperación de óxido de cobre

##### 3.2.1.2. **Variables independientes:**

- pH
- Dosificación de sulfuro de sodio.
- Dosificación del colector xantato Z-6

### **3.2.2. Indicadores**

- Porcentaje de recuperación (%R)
- dosificación de reactivos (g/TM)
- pH

### **3.3. Operacionalización de variables**

En la tabla 3.1 se logra observar la operacionalización de variable.

**Tabla 3.1***Operacionalización de variables*

Variable		Definición de las variables	Indicador	Rango	Unidad	Técnica e Instrumentos de Medición
VARIABLE DEPENDIENTE	Recuperación	Es el porcentaje de mineral valioso en el concentrado	Recuperación		%R	Balace metalúrgico
	Dosificación del sulfuro de sodio	La cantidad de sulfuro de sodio que se añade a la pulpa para mejorar las propiedades hidrofóbicas de los óxidos.	Gramos por tonelada métrica	400-800	g/TM	Balanza digital
VARIABLE INDEPENDIENTES	Dosificación del Xantato	Es la cantidad de xantato que se añade a la pulpa.	Gramos por tonelada métrica	200-400	g/TM	Balanza digital
	pH	Es el pH que se utilizara en la pulpa para las pruebas	pH	9-11	pH	Papel PAPANHA

Fuente: Elaboración propia



## CAPITULO IV: METODOLOGIA

### 4.1. Tipo de investigación

La tesis denominada **RECUPERACION DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE POR SULFIDIZACION A PARTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE LA FLOTACION DE SULFUROS DE COBRE EN LA PLANTA DE BENEFICIO LA AZULITA SAC – NAZCA**, es una investigación de tipo tecnológica y cuantitativa.

Es **tecnológica**, porque se vale de herramientas de medición y equipos de laboratorio para la obtención de datos, y de igual forma el uso de software para el análisis de estos datos; todo lo antes mencionado para mejorar la eficiencia, precisión y alcance de la investigación.

Es una investigación **cuantitativa** ya que se buscará la relación de las variables independientes y dependientes para poder describir, analizar y explicar los fenómenos que se presentan y poder lograr los resultados expresados en términos cuantitativos.

### 4.2. Nivel de investigación

- **Nivel descriptivo**, ya que se realiza la descripción de las propiedades de los minerales sometidos a estudio, así como los reactivos que se utilizaran para la recuperación de los óxidos de cobre.
- **Nivel correlacional**, porque explicará la relación existente de variables independientes con la variable dependiente.

### 4.3. Método de investigación

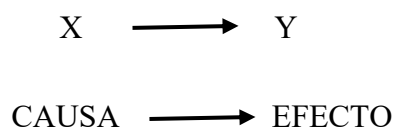
Aplicamos fundamentalmente el **método deductivo**, porque considera la conclusión del trabajo de investigación, esto significa que las conclusiones es consecuencia de los efectos de la variable independiente en la variable dependiente, cuando ellas resultan verdaderas y tienen

validez. Para nuestro caso, es el porcentaje de recuperación del mineral valioso (óxido de cobre) en el concentrado.

#### 4.4. Diseño de investigación

Está desarrollada mediante el **diseño experimental**, ya que se buscará lograr resultados a base de control, muestreo y observación de nuestras variables. Durante la experimentación se manipula más de una variable independiente para controlar de esa manera el incremento o disminución de ellas y sus respectivos efectos. En esta investigación se hará cambios en los valores de las variables independientes y determinar su efecto con la variable dependiente. Los métodos experimentales nos permiten poner a prueba la hipótesis de relaciones causales.

En la presente investigación, las causas son: dosificación del sulfuro de sodio en gramos por tonelada métrica, la dosificación del xantato en gramos por tonelada métrica y el pH, el efecto es el porcentaje de recuperación del mineral valioso de óxido de cobre en porcentaje.



Donde:

X: Es la variable independiente, que es manipulada (causa).

Y: Es la variable dependiente, que es el efecto.

#### 4.5. Población de estudio

El universo, que estará constituido por los minerales de yacimiento de la mina san Felipe con 200 TM de acuerdo con la investigación geográfica y mineralización que presenta esta zona.

#### 4.6. Muestra de estudio

La muestra se recolectará del punto de acopio en la planta La Azulita, de ahí se hará la preparación mecánica de dicho mineral con los equipos e instrumentos del laboratorio metalúrgico, del cual se extrajo una muestra total de 25 Kg para llevar a cabo las distintas pruebas de flotación.

#### 4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos estadísticos

Se usará la técnica de medición y obtención de datos en diversas pruebas de análisis químicos metalúrgicos y ensayos de flotación. Esta información será sistematizada, analizada, procesada e interpretada para la obtención pertinente de las conclusiones inherentes al tema. A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de datos:

- Observación y deducción.
- Conocimiento de cantidades muestrales tales como la media, varianza, desviación estándar, análisis de varianza, gráficos estadísticos, etc.
- Uso de office y del Software Excel para organizar los datos.

#### 4.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos de nuestra tesis se utiliza los siguientes análisis:

- **Análisis Descriptivo:** Nos permitirá describir el comportamiento de la muestra en estudio mediante tablas, gráficos, etc.
- **Análisis Explorativo:** Se parte de la interpretación de los datos para llegar a una gráfica final del comportamiento de las variables evaluadas.
- **Diseño Experimental:** El cual será  $2^3$  evaluado con el software Excel, en el cual determinamos la optimización y efectividad de los procesos de experimentación conseguidos a nivel de planta.

#### 4.9. Instrumentos y equipos de investigación

Los instrumentos y equipos que se utilizaron fueron los siguientes:

- Tamices
- Molino y Collar de Bolas de Laboratorio.
- Balanza Marcy
- Cortador de muestra
- Medidor de pH, ORP.
- Tacómetro.
- Probetas
- Vasos plástico/vidrio de capacidades de 50 ml a 2000 ml.
- Estufa de laboratorio
- Probeta
- Probetas de plástico/vidrio de capacidades de 50 ml a 2000 ml.
- Fiolas de 200 y 250 ml.
- Muestreador de cortes AnStat
- Bandejas de aluminio/acero inoxidable.
- Equipo de flotación marca DENVER.
- Analizador de leyes de óxido de cobre
- Pizeta.
- Micro-pipetas.

#### **4.10. Validez y confiabilidad de instrumentos experimentales**

La validación del muestreo es segura, el único error que puede causar una gran variación es la presencia de contaminantes en los lugares de muestreo, esto se debe a que no se realiza un blending en las canchas de acopio de mineral o el mal procedimiento de muestreo.

#### **4.11. Plan de análisis de datos**

El método de sulfidización se utilizará para la recuperación de minerales oxidados de cobre así permitiendo un mayor porcentaje de cobre total en los concentrados.

Este método es utilizado en la planta de beneficio La Azulita S.A.C. Las muestras que se obtendrán serán de las cochas de concentrado, las colas del último banco de flotación y de la cabeza proveniente de la molienda húmeda.

Estas muestras se llevarán al laboratorio para su análisis, posteriormente estos resultados serán evaluados y determinar el porcentaje de recuperación.

## CAPITULO V: RESULTADOS EXPERIMENTALES

La composición de los minerales varía según las condiciones en las que se formaron, esto hace que se busquen mejores formas para el procesamiento de minerales mediante flotación; asimismo de escoger los reactivos químicos que nos ayudarán a optimizar la recuperación del mineral valioso

La presente tesis resume las diferentes pruebas que se realizan al mineral que es extraído de la mina San Felipe, esto para conocer el efecto de las muestras sobre la recuperación y el grado de concentrado con los distintos reactivos utilizados.

El objetivo de la presente investigación tecnológica es la de evaluar los reactivos z-6 y el sulfato de sodio, variando su dosificación, para así optimizar la recuperación de cobre soluble y por ende la del cobre total.

### **5.1. Muestreo en la cancha de acopio**

El muestreo del mineral se realizó en las canchas de acopio de la planta de beneficio La Azulita SAC, donde se deposita el mineral extraído de la mina de San Felipe, para este muestreo previamente se realizó un blending de todo el mineral apilado, se utilizó el método por puntos Grap Sampling; este método consiste en formar una malla de 0.5x0.5m durante toda la ruma de mineral, recolectando en cada punto de la malla.

#### **5.1.1. Herramientas y Materiales**

- muestreador de pluma
- flexómetro
- cordel
- marcador

- cinta masking
- sacos
- pala

### 5.1.2. *Procedimiento de muestreo*

Mediante el método de **Grab Sampling**, se extrajo la muestra de los depósitos de mineral acopiados en la planta La Azulita S.A.C (ver figura N° 5.1), minerales pertenecientes a la mina San Felipe.

#### **Figura 5.1**

##### *Canchas de mineral*



*Fuente:* Elaboración propia.

Se procedió de la siguiente manera:

1. Según el método de grab sampling se hizo trazos en forma de malla de 0.5 x 0.5m en toda la parte superficial del mineral apilado.
2. Se procedió a recolectar el mineral en cada punto de la malla, el muestreo se realizó con la pala, la pluma y los sacos, cuyos sacos fueron rotulados con cinta masking.
3. La cantidad total de muestra representativa que se extrajo fue de 50 kg de mineral mixto de cobre de la mina San Felipe, cuyo material fue utilizado para realizar las pruebas de este trabajo de investigación.

## 5.2. Preparación mecánica de la muestra

La preparación mecánica de la muestra se realizó en dos etapas, primero se realizó el chancado y zarandeo y segundo se hizo la homogenización y cuarteo.

### 5.2.1. Chancado, pulverizado y zarandeo

En un inicio se tuvo una muestra de 4" de tamaño del mineral, este mineral se logró reducir mediante etapas sucesivas de chancado y zarandeo, hasta obtener un tamaño de 100% -10 malla Tyler.

Los minerales finos generados por el proceso de chancado fueron conformando parte del producto final; mientras que los gruesos fueron sometidos a pulverizado.

## Figura 5.2

*Equipos de chancado y pulverización*



Nota: chancadora de quijada (lado izquierdo) y pulverizadora (lado derecho).



### 5.2.2. Homogenización y Cuarteo de las muestras

Después de reducir de tamaño los 50 Kg de muestra total al 100% -10 malla Tyler, fueron homogenizados 30 veces mediante paleo manual, luego se realizó una división de toda la muestra en 4 partes iguales y posteriormente cada una de estas cuatro partes; se realizó un cuarteo tomando dos cuartos opuestos en una bolsa plástica, de igual manera proceder con los dos cuartos restantes, y así sucesivamente hasta obtener una muestra representativa de 1000 gr para el análisis químico.

Finalmente, las muestras fueron pesadas, embolsadas, etiquetadas y rotuladas debidamente.

### 5.3. Análisis químico

Se realizó un análisis químico a la muestra general para determinar la ley de Cu total, además se hizo otra prueba de Cu soluble, para determinar el porcentaje de Cu sulfurado y Cu soluble.

#### Figura 5.3

*Análisis químico en laboratorio de la planta La Azulita S.A.C.*



Fuente: Elaboración propia.

## Figura 5.4

### Análisis Químico



*Fuente:* elaboración propia.

los resultados del análisis químico que se realizó en el Laboratorio de la Planta La Azulita S.A.C. se observan en la Tabla 5.1.

## Tabla 5.1

### Reporte de Análisis Químico

Nombre de la Muestra	Cobre total (%)	Cobre soluble (%)
San Felipe	4.20	1.8

*Fuente:* Laboratorio La Azulita S.A.C.

En la Tabla 5.1 indica el resultado del contenido metálico de nuestro mineral. La ley de cabeza con 4.20% de Cu total; económicamente es viable su recuperación y justifica la investigación tecnológica.

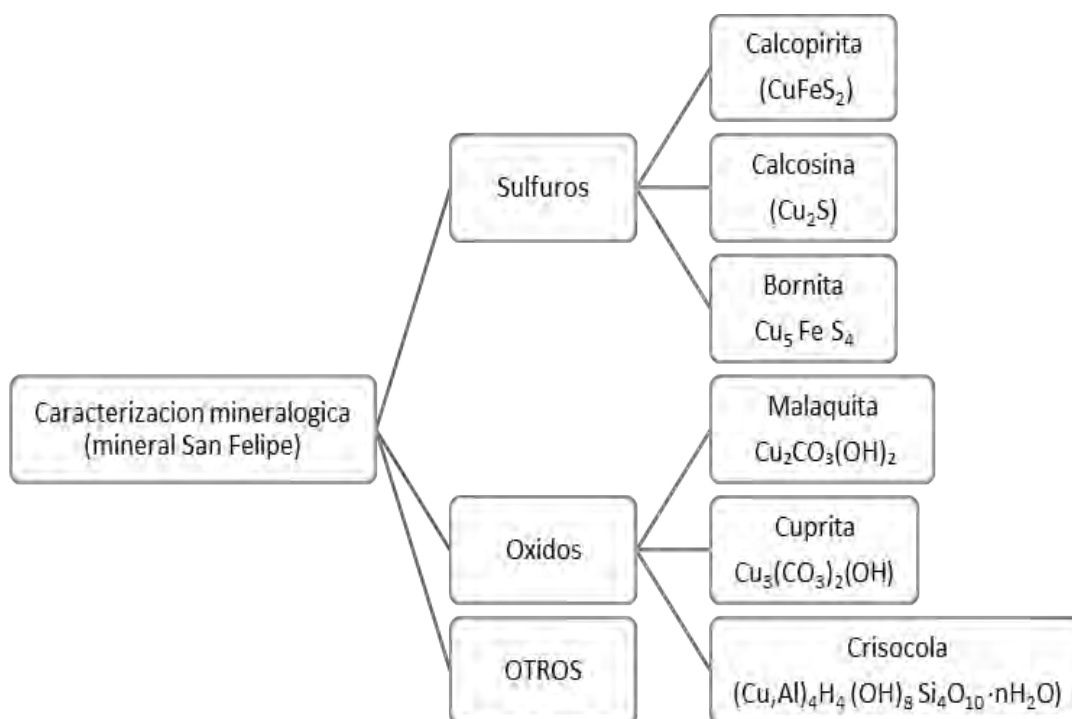
#### 5.4. Caracterización mineralógica y mineragrafía

Se realizó la caracterización mineralógica del mineral, para determinar los elementos presentes en nuestra muestra de investigación.

El mineral está constituido por especies de la siguiente manera:

**Figura 5.5**

*Caracterización Mineralógica*



*Fuente:* elaboración propia

En la figura 5.6 se muestra el mineral oxidado de cobre, se observa de un color verdusco característico de los óxidos de cobre, además se visualiza una parte marrón que vendría a ser la ganga (material sin valor económico).

## Figura 5.6

*Mineral Oxidado de Cobre*



*Fuente: elaboración propia*

### 5.5. Cálculo de la gravedad específica del mineral

Para determinar la gravedad específica del mineral se utilizó el método de la fiola, este método se realiza de la siguiente forma:

- ✓ Primero se pesa una parte del mineral, después de homogenizar y cuartear la muestra, se sacó 25 gr de mineral para este cálculo.
- ✓ Segundo se pesa la fiola de 200 ml de volumen vacía.
- ✓ Tercero se agrega el mineral a la fiola y se vuelve a pesar.
- ✓ Y por último se agrega agua a la fiola con la muestra del mineral y se vuelve a pesar

Para determinar la gravedad específica se realizaron 3 pruebas y los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2***Determinación del Peso Específico*

Muestra de Estudio			
Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Peso de fiola (A)	84.7	79.65	83.35
Pesos de la fiola + mineral (B)	109.71	104.76	108.37
Peso de la fiola + mineral + agua (C)	302.33	297.43	300.8
Volumen de fiola (V)	200	200	200

*Nota:* elaboración propia

Con la siguiente fórmula se calculó la gravedad específica:

$$GE = \frac{B - A}{V - (C - B)}$$

Usando la anterior ecuación y reemplazando cada valor obtenemos:

$$GE1 = \frac{109.71 - 84.7}{200 - (302.33 - 109.71)} = 3.39$$

$$GE2 = \frac{104.76 - 79.65}{200 - (297.43 - 104.76)} = 3.42$$

$$GE3 = \frac{108.37 - 83.35}{200 - (300.8 - 108.37)} = 3.39$$

Con estos resultados sacamos un promedio para hallar la gravedad específica, la cual se utilizó para las pruebas metalúrgicas.

$$GE = \frac{GE1 + GE2 + GE3}{3} = \frac{3.39 + 3.42 + 3.39}{3} = 3.40 \frac{gr}{cm^3}$$

### 5.6. Prueba de molienda estándar y análisis granulométrico del mineral

Se realizó un análisis granulométrico con la finalidad de determinar los pesos de mineral según los tamaños de partículas. para poder separar el mineral según el tamaño de partículas se utilizaron tamices de diversos tamaños, además es de considerar que los pesos de cada tamaño son representados como porcentajes retenidos en cada malla, siendo el 100% el total de mineral.

En la figura 5.7 se logra observar los tamaños utilizados para la separación de mineral según su tamaño.

#### Figura 5.7

*Juego de Tamices*



*Nota:* elaboración propia.

Para realizar el análisis granulométrico de mineral, determinar el tiempo de molienda en laboratorio y obtener un P 80 de 150  $\mu\text{m}$  como tamaño estándar en la planta, se realizaron tres distintas pruebas de molienda estándar, en tiempos de 4, 7 y 11 minutos en el molino de laboratorio de 8" x 11" usando 1490 g de mineral y 990  $\text{cm}^3$  de agua para obtener un porcentaje de sólidos de 60%.

Se adjuntan los resultados de las distintas pruebas de molienda estándar en las siguientes tablas:

**Tabla 5.3**

*Análisis Granulométrico  $t=4\text{min}$*

<b>Análisis granulométrico <math>t=4\text{min}</math></b>					
<b>malla</b>	<b>abertura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>peso retenido (g)</b>	<b>porcentaje de peso retenido</b>	<b>% retenido</b>	<b>% pasante</b>
50	300	98.7	23.9	23.9	76.1
70	212	38.8	9.4	33.2	66.6
100	150	42.1	10.2	43.5	56.7
140	106	38.4	9.3	52.6	47.2
200	75	35.2	8.5	61.3	38.9
270	53	25.6	6.2	67.4	32.6
325	45	8.7	2.1	69.5	30.5
-325		125.9	30.5	100	0
total		413.3	100	p80 ( $\mu\text{m}$ )	358

*Nota:* elaboración propia

**Tabla 5.4***Análisis Granulométrico t= 7min*

<b>Análisis granulométrico t= 7min</b>					
<b>malla</b>	<b>Abertura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>peso retenido (g)</b>	<b>porcentaje de peso retenido</b>	<b>% retenido</b>	<b>% pasante</b>
50	300	43.1	10.1	10.1	89.9
70	212	36.4	8.5	18.8	81.4
100	150	45.4	10.7	29.2	70.6
140	106	53.0	12.5	41.6	58.1
200	75	49.2	11.6	53.5	46.7
270	53	34.6	8.1	61.5	38.5
325	45	11.8	2.8	64.3	35.7
-325		152.1	35.7	100	0
total		413.3	100	p80 ( $\mu\text{m}$ )	206

Nota: elaboración propia

**5.7. Pruebas estándar de flotación**

Las pruebas de flotación tienen por objetivo conocer los distintos tipos de reactivos y su influencia en el proceso para la recuperación del mineral valioso. A pesar de que son numerosos los reactivos para la flotación en este caso se utilizó los que se tienen en la planta, además que existe un estándar para la flotación de sulfuros; para los propósitos de esta tesis se utilizó reactivos como colector, espumante y el NaSH como agente sulfidizante.



**Tabla 5.5***Análisis Granulométrico t= 11min*

<b>Análisis granulométrico t= 11min</b>					
<b>malla</b>	<b>Abertura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>peso retenido (g)</b>	<b>porcentaje de peso retenido</b>	<b>% retenido</b>	<b>% pasante</b>
50	300	0	0	0	100
70	212	23.2	5.6	5.6	94.4
100	150	35.5	8.5	14.0	85.9
140	106	57.3	13.8	28.0	72.1
200	75	60.4	14.5	42.4	57.6
270	53	42.1	10.1	52.4	47.5
325	45	14.7	3.5	56.2	43.9
-325		182.8	43.9	100	0
total		416	100	p80 ( $\mu\text{m}$ )	130

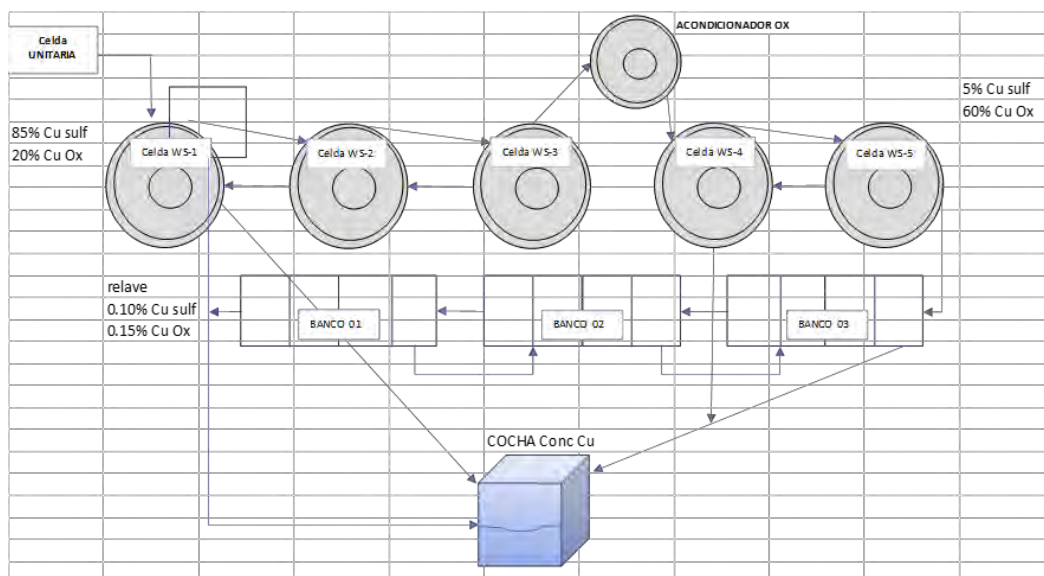
Nota: elaboración propia

**5.7.1. Diseño de Flowsheet para el proceso de flotación a nivel de laboratorio**

El flowsheet conocido también como diagrama de flujo tiene gran relevancia en el proceso de concentración de minerales y para la realización de pruebas metalúrgicas, ya que gracias a estas pruebas se logra tener una idea de la forma óptima de realizar el proceso de recuperación; la planta de beneficio La Azulita S.A.C trabaja con un circuito abierto, con 2 etapas rougher y 2 scavenger para la recuperación de minerales sulfurados cupríferos; un rougher, 1 scavenger y 4 bancos que funcionan como cleaner para recuperación de minerales oxidados de cobre, la figura 5.8, muestra el diagrama de flujo utilizado por la planta de beneficio.

**Figura 5.8**

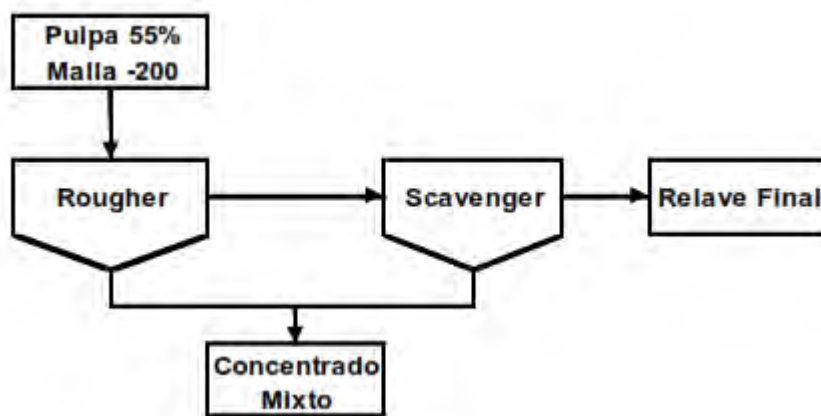
*Flowsheet proceso de flotación Planta La Azulita S.A.C.*



*Nota:* elaborado por los tesisistas.

**Figura 5.9**

*Diagrama de flotación a nivel de laboratorio.*



*Nota:* Elaborado por los tesisistas

### 5.7.2. *Determinación del número de pruebas de flotación*

Para determinar el número de pruebas de flotación para este mineral, se utilizó el diseño factorial  $2^k$  con replica central. Entonces se utilizó la siguiente fórmula para determinar el número de pruebas

$$2^k = N$$

Donde:

2 = niveles de pruebas

K = número de variables, en este caso 3 variables

N = número de pruebas

Por ende, reemplazando en la formula anterior se obtiene:

$$N = 2^3 = 8$$

Como el diseño experimental es de  $2^k$  con replica en el punto central tendremos los siguientes resultados:

Numero de pruebas = 8

Numero de pruebas centrales = 3

Para obtener una mejor precisión en los experimentos de flotación y obtener resultados muy confiables, así como para dar estimaciones promediadas con el efecto de curvatura; se le incrementaron tres replicas en el punto central del experimento, con esto obtenemos un total de 11 experimentos de flotación a realizar. En las siguientes tablas se muestran los niveles de las variables para el diseño factorial y también se representa la réplica central.

**Tabla 5.6***Reactivos Variables para Las Pruebas de Flotación*

<b>REACTIVOS VARIABLES PARA LAS PRUEBAS DE FLOTACION</b>		
<b>REACTIVOS</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>
Colector Z-6 (gr/TM)	40	80
pH	9	11
Sulfidizante NaSH (gr/TM)	250	350

*Nota:* elaboración propia**Tabla 5.7***Valores Intermedio para Ajustes en Prueba*

<b>VALORES INTERMEDIOS PARA AJUSTES EN PRUEBAS</b>		
<b>Colector Z-6 (gr/TM)</b>	<b>pH</b>	<b>Sulfidizante NaSH (gr/TM)</b>
60	10	300

*Nota:* elaborado por los tesistas

Las cantidades de las variables que se utilizaron para las distintas pruebas de flotación a nivel de laboratorio son los que se muestran en las siguientes tablas, estos valores fueron determinados por la guía estándar que se tiene tanto para flotación de sulfuros y flotación de óxidos de cobre.

### **5.7.3. Reactivos de Flotación para Las Pruebas.**

En las siguientes tablas podemos observar la cantidad de reactivos y también los reactivos que se utilizaran para cada prueba tanto para la flotación de sulfuros (rougher) y la flotación de óxidos (scavenger), para la flotación rougher se utilizara la misma cantidad para todas las pruebas.

**Tabla 5.8***Reactivos para Flotación de Sulfuros*

REACTIVOS PARA FLOTACION DE SULFUROS	
Colector Z-6 (gr/TM)	60
Aerofloat 404 (gr/TM)	20
Espumante D250 (gr/TM)	5
pH	12

Nota: elaboración propia

**Tabla 5.9***Pruebas de Flotación*

PRUEBAS DE FLOTACION			
Nº PRUEBA	Z-6 (gr/TM)	pH (gr/TM)	NaSH (gr/TM)
1	40	9	250
2	80	9	250
3	40	11	250
4	80	11	250
5	40	9	350
6	80	9	350
7	40	11	350
8	80	11	350
9	60	10	300
10	60	10	300
11	60	10	300

Nota: elaborado por los tesisistas

### 5.8. Procedimiento para las pruebas de flotación a nivel laboratorio

Una vez terminado de acondicionar el mineral que se utilizara para el estudio de flotación, en el laboratorio de la planta de procesamiento San José de la empresa La Azulita se realizó las pruebas de flotación, para lo cual se realizó previamente los siguientes pasos:

- Se redujo el tamaño de los 50 kg que se tuvo de muestra de mineral mixto en una chancadora de quijadas, la cual nos permitió obtener una granulometría adecuada para el proceso de molienda.
- Después de reducir el tamaño en la chancadora de quijadas se procedió a realizar un cuarteo al mineral con la finalidad de obtener muestras homogéneas de 1kg.
- Posteriormente se realizó la molienda de cada muestra de 1kg del mineral mixto.
- Terminando de moler todas las muestras necesarias para las pruebas, se procedió a realizar las pruebas de flotación en una celda de flotación de laboratorio utilizando las siguientes condiciones experimentales.

#### Prueba 01

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones de flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM

✓ Condiciones flotación Scavenger:

- Colector Z-6: 40 g/TM
- Sulfidizante NaSH: 250 g/TM
- pH final: 9

**Prueba 02**

✓ Condiciones generales:

- Peso de mineral: 1000g
- % Solidos: 33%
- pH inicial: 12

✓ Condiciones flotación Rougher:

- Colector Z-6: 60 g/TM
- Aerofloat 404: 20 g/TM
- Espumante D-250: 5 g/TM

✓ Condiciones flotación Scavenger:

- Colector Z-6: 80 g/TM
- Sulfidizante NaSH: 250 g/TM
- pH final: 9

**Prueba 03**

✓ Condiciones generales:

- Peso de mineral: 1000g

- % Sólidos: 33%
- pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 40 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 250 g/TM
  - pH final: 11

#### **Prueba 04**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Sólidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:



- Colector Z-6: 80 g/TM
- Sulfidizante NaSH: 250 g/TM
- pH final: 11

### **Prueba 05**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 40 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 350 g/TM
  - pH final: 9

### **Prueba 06**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%

- pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 80 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 350 g/TM
  - pH final: 9

#### **Prueba 07**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 40 g/TM

- Sulfidizante NaSH: 350 g/TM
- pH final: 11

### **Prueba 08**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 80 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 350 g/TM
  - pH final: 11

### **Prueba 09**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%

- pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 300 g/TM
  - pH final: 10

### **Prueba 10**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Solidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 60 g/TM

- Sulfidizante NaSH: 300 g/TM
- pH final: 10

### **Prueba 11**

- ✓ Condiciones generales:
  - Peso de mineral: 1000g
  - % Sólidos: 33%
  - pH inicial: 12
- ✓ Condiciones flotación Rougher:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Aerofloat 404: 20 g/TM
  - Espumante D-250: 5 g/TM
- ✓ Condiciones flotación Scavenger:
  - Colector Z-6: 60 g/TM
  - Sulfidizante NaSH: 300 g/TM
  - pH final: 10

### **5.9. Resultados de las pruebas de flotación**

Después de haber realizado las pruebas de flotación utilizando cada variable, se procede a hacer un análisis químico a cada prueba en el laboratorio teniendo como resultados los siguientes datos que nos muestra la Tabla 5.10.

**Tabla 5.10***Resultados de Las Pruebas de Flotación*

PRUEBAS	ROUGHER		SCAVENGER		RELAVE	Cu total (gr)	%R total	Ley Cu total %	Peso conc. Total
	%Cu	PESO (gr)	%Cu	PESO (gr)	PESO (gr)				
1	32%	62.26	16.60%	102.4	835.34	36.92	87.91	22.42	164.66
2	32%	63.03	17%	98.8	838.17	36.97	88.01	22.84	161.83
3	31%	62.56	12.60%	136.2	801.24	36.55	87.04	18.39	198.76
4	32.50%	60.1	14.20%	118.6	821.30	36.37	86.60	20.35	178.70
5	31%	61.82	15.60%	109	829.18	36.17	86.11	21.17	170.82
6	31%	62.75	16%	105.6	831.65	36.35	86.54	21.59	168.35
7	31.50%	62.8	7.2%	180.6	756.60	32.79	78.06	13.47	243.40
8	32%	62.61	8.34%	174.23	763.16	34.57	82.30	14.59	236.84
9	31.50%	62.33	15%	112.4	825.27	36.49	86.89	20.89	174.73
10	31.50%	63.04	15.60%	108.3	828.66	36.75	87.51	21.45	171.34
11	32%	62.68	15.50%	109.9	827.42	37.09	88.31	21.49	172.58

*Nota:* elaborado por los tesisistas.

## CAPITULO VI: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 6.1. Variables del proceso involucrados

Después de haber realizado las pruebas de flotación y haber obtenido los resultados se muestran una vez más las variables utilizadas para dichas pruebas

#### 6.1.1. Variables independientes

- Colector Z-6 (g/TM)
- Sulfidizante NaSH (g/TM)
- pH

#### 6.1.2. Variable dependiente

- Porcentaje de recuperación de Cu

### 6.2. Análisis de los resultados por el diseño factorial $2^k$ y con replica central

Las pruebas de flotación de esta tesis se realizaron en base a un diseño factorial  $2^k$  con una réplica central, se hicieron 8 pruebas considerando la interacción de las variables altas con las bajas, y 3 pruebas con el promedio de los niveles de cada variable. Entonces se hicieron un total de 11 pruebas de flotación.

Obteniendo como resultados lo que se muestra en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1***Matriz del diseño factorial para NaSH*

N	Escala codificada			Escala natural			Y respuesta (Recuperación de óxido de Cu)
	X1	X2	X3	Z-6	pH	NaSH	
				Z1	Z2	Z3	
1	-1	-1	-1	40	9	250	16.60%
2	1	-1	-1	80	9	250	17.00%
3	-1	1	-1	40	11	250	12.60%
4	1	1	-1	80	11	250	14.20%
5	-1	-1	1	40	9	350	15.60%
6	1	-1	1	80	9	350	16.00%
7	-1	1	1	40	11	350	7.20%
8	1	1	1	80	11	350	8.34%
9	0	0	0	60	10	300	15.00%
10	0	0	0	60	10	300	15.60%
11	0	0	0	60	10	300	15.50%

*Nota:* elaborado por los tesistas.



### 6.2.1. Cálculo de los efectos de variables

Con este tipo de diseño se pueden estudiar los tres efectos principales, estos son, X1, X2, X3; también tres interacciones dobles X1X2, X1X3, X2X3 y una interacción triple X1X2X3.

Para saber cuantitativamente los efectos de las variables sobre la respuesta, se determina el cálculo de los efectos, esto está definido como el cálculo de la diferencia entre los valores de las respuestas, cuando en los tratamientos respectivos, las variables se encuentran en su nivel inferior y superior; por la siguiente expresión:

$$EX = \frac{\sum Y_+ - \sum Y_-}{\left(\frac{N}{2}\right) \cdot (r)} \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde:

$\Sigma Y_+$ : Sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel superior de los factores

$\Sigma Y_-$ : Sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel inferior de los factores

N: Numero de pruebas experimentales

R: Numero de réplicas de diseño

Siendo R=1 por ser un diseño factorial  $2^k$  con replica central y N=8

La matriz del diseño factorial tiene tantas filas como experimentos y tantas columnas como los efectos que se estimaron según podemos observar en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2***Matriz y Respuestas Experimentales*

EFECTOS PRINCIPALES				EFECTO DE INTERACCIONES DOBLES			INT. TRIPLES	VECT. RESP
X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	Y
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	16.60
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	17.00
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	12.60
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	14.20
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	15.60
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	16.00
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	7.20
1	1	1	1	1	1	1	1	8.34
1	0	0	0	0	0	0	0	15.00
1	0	0	0	0	0	0	0	15.60
1	0	0	0	0	0	0	0	15.50

*Nota:* elaborada por los tesisistas.

En la tabla se determina la matriz de variables independientes, en la cual se incluye un vector X0, todos estos con signo positivo, este nos permitirá determinar el promedio de las respuestas de todos los puntos experimentales, el cual nos determina el efecto de la curvatura, además se incluyen los vectores de las interacciones de las variables.

EX0: es el promedio de todos los valores respuestas de los puntos experimentales, excepto los puntos centrales; esta expresión se puede expresar de la siguiente manera:

$$EX_0 = \frac{\sum Y}{N} \quad \text{Ecu. 2}$$

Utilizando la ecuación 2 calculamos el  $EX_0$  para el NaSH

$$EX_0 = \frac{107.54}{8} = 13.44$$

Luego aplicando la ecuación 1 procedemos a calcular los efectos de las variables e interacciones teniendo en cuenta que los puntos que fueron replicados no entran en el cálculo de los efectos, los cálculos se hicieron en una tabla Excel, pero se demuestra el primero que es  $EX_1$ .

$$EX_1 = \frac{55.54 - 52}{\left(\frac{8}{2}\right) * 1} = 0.89$$

### Tabla 6.3

*Efecto de las variables e interacciones para el NaSH*

Variables e interacciones	efectos
EX0	13.44
EX1	0.89
EX2	-5.72
EX3	-3.32
EX1X2	0.485
EX1X3	-0.115
EX2X3	-2.32
EX1X2X3	-0.115

*Nota:* Elaborada por los tesisistas.

### 6.2.2. Interpretación de los efectos.

La interpretación física del cálculo de los efectos es ver como varia la respuesta al variar un variable desde el nivel superior hasta el nivel inferior

#### **Interpretación de los efectos para el NaSH**

##### **Efectos principales:**

- Para el colector Z-6 (g/TN) ( $EX_1$ ): al aumentar la cantidad de colector Z-6 de 40 a 80 g/TN, aumenta la recuperación de cobre en 0.89
- Para la variación de pH ( $EX_2$ ): al aumentar el pH de 9 a 11 al haber obtenido un punto negativo podemos decir que la recuperación de cobre disminuye en 5.72
- Para el sulfidizante NaSH (g/TN) ( $EX_3$ ): al aumentar de 250 a 350 g/TN también al haber obtenido un punto negativo podemos decir que la recuperación de cobre disminuye en 3.32

##### **Efectos de las interacciones:**

Los efectos de las interacciones dobles ( $X_1X_2$ ,  $X_1X_3$ ,  $X_2X_3$ ) determinan el grado de influencia que tiene una combinación de factores sobre la variable respuesta.

- Interacción de la cantidad de colector Z-6 y la cantidad de pH ( $EX_1X_2$ ): el efecto de la interpretación es 0.49, este valor nos indica que existe una pequeña interacción entre ellos.
- Interacción de la cantidad de colector Z-6 y cantidad de sulfidizante NaSH ( $EX_1X_3$ ): el efecto de la interpretación es -0.12, el signo negativo no indica que no hay interacción entre los dos.

- Interacción de la cantidad de pH y la cantidad de sulfidizante NaSH ( $EX_2X_3$ ): el efecto de la interpretación es -2.32 , el signo negativo no indica que no hay interacción entre los dos.
- Interacción de la cantidad de colector Z-6, cantidad de pH y la cantidad de sulfidizante NaSH ( $EX_1X_2X_3$ ): el efecto de la interpretación es -0.12, el signo negativo no indica que no hay interacción entre los dos.

### 6.2.3. *Análisis de la varianza del diseño factorial.*

El análisis de varianza es una herramienta útil en la inferencia estadística, se aplica para probar la significancia de los efectos en el diseño experimental. Con este análisis se va a determinar cuál de las variables de un grupo determinado (colector Z-6, NaSH y pH), son realmente en esta investigación importantes.

El análisis de varianza implica el cálculo de:

$$SS_{total} = SS_{efectos} + SS_{error} + SS_{curvatura}$$

Donde:

$SS_{total}$ : Suma total de cuadrados

$SS_{efectos}$ : suma de cuadrados debida a los efectos o tratamientos

$SS_{error}$ : suma de cuadrados debida al error

$SS_{curvatura}$ : suma de cuadrados para la curvatura

#### a) **Suma de cuadrados de los efectos e interacciones**

Para determinar la suma de cuadrados de los efectos e interacciones utilizaremos la siguiente ecuación:

$$SS_{EFECTO} = \frac{(\sum Y_+ - \sum Y_-)}{N * r}$$

Siendo  $r=1$  para el tipo de diseño factorial  $2^k$  con replicas en el punto central del diseño y  $N=8$  número de pruebas sin punto central.

### Cálculo de la suma de cuadrados de los efectos para el NaSH

Los siguientes cálculos se realizaron con la ayuda del software Excel, el primero efecto se calcula para la demostración.

$$SS_{efecto_{Z-6}} = \frac{(55.54 - 52)^2}{8} = 1.57$$

### Tabla 6.4

*Suma de cuadrados de efectos e interacciones para el NaSH*

Función de variación	$SS_{efectos}$
SSX1	1.57
SSX2	65.32
SSX3	21.98
SSX1X2	0.47045
SSX1X3	0.02645
SSX2X3	10.72
SSX1X2X3	0.02645

Nota: elaborado por los tesistas.

$$SS_{efectos} = 100.11$$

#### b) Suma de cuadrados del error

Para el cálculo de la suma de cuadrados se utilizará la siguiente ecuación:

$$SS_{error} = \sum_{i=1}^n (Y_i^0 - Y^0)^2$$

Donde:

$Y_i^0$ : replicas en el punto central del diseño

n: número de replicas en el centro del diseño

$Y^0$ : promedio de todas las replicas en el centro del diseño

Cálculo de la suma de cuadrados del error para el NaSH

$$Y^0 = \frac{(15 + 15.6 + 15.5)}{3} = 15.37$$

$$SS_{error} = (15-15.37)^2 + (15.6-15.37)^2 + (15.5-15.37)^2$$

$$SS_{error} = 0.21$$

### c) Suma de cuadrados para la curvatura

Para calcular la suma de cuadrados para la curvatura se define con la siguiente ecuación

$$SS_{curvatura} = \frac{N * n * (\bar{Y} - Y^0)^2}{(N + n)}$$

Donde:

N: número de pruebas experimentales, sin los puntos centrales

$\bar{Y}$ : promedio de los puntos exteriores del diseño, sin los puntos centrales

Cálculo de la suma de cuadrados de la curvatura para el NaSH

$$\bar{Y} = \frac{107.54}{8} = 13.44$$

$$SS_{curvatura} = \frac{8 * 3 * (13.44 - 15.37)^2}{(8 + 3)} = 8.08$$

La suma de cuadrados para el NaSH

$$SS_{total} = SS_{efectos} + SS_{error} + SS_{curvatura}$$

$$SS_{total} = 100.11 + 0.21 + 8.08$$

$$SS_{total} = 108.39$$

#### 6.2.4. Aplicación del Teorema de Cochran

Este teorema nos dice que una variable interacciona, o la curvatura es significativa si cumplimos con la siguiente condición:

$$F_0 > F(\alpha, f_1, f_2)$$

Donde:

$\alpha$  : grado de confiabilidad (0.05)

$f_1$  : grado de libertad de interacciones y efectos, siendo su valor igual a 1 en diseños factoriales de dos niveles

$f_2$  : grados de libertad del error, siendo este igual al numero de replicas que se realizaron menos 1, entonces el valor para  $f_2$  es igual a 2.

Entonces para el nivel de confianza de 95%, para uno y dos grados de libertad respectivamente, según la tabla que se puede observar en el anexo N°1, F toma el valor de:

$$F(\alpha, f_1, f_2) = F(0.05, 1, 2) = 18.513$$

#### ✓ **Media de cuadrados**

La media de cuadrados esta definida por las siguientes ecuaciones.



$$MS_{efectos} = \frac{SS_{efectos}}{f_1}$$

$$MS_{error} = \frac{SS_{error}}{f_2}$$

Entonces, siendo  $f_1=1$  y  $f_2=2$ , tenemos:

$$MS_{efectos} = \frac{1.57}{1} = 1.57$$

$$MS_{efectos} = \frac{65.32}{1} = 65.32$$

$$MS_{efectos} = \frac{21.98}{1} = 21.98$$

$$MS_{efectos} = \frac{0.47}{1} = 0.47$$

$$MS_{efectos} = \frac{0.03}{1} = 0.03$$

$$MS_{efectos} = \frac{10.72}{1} = 10.72$$

$$MS_{efectos} = \frac{0.03}{1} = 0.03$$

$$MS_{error} = \frac{0.21}{2} = 0.10$$

Para resumir este análisis de varianza para el diseño factorial, colocaremos una tabla donde nos dirá si es significativo o no según el teorema de Cochran.

**Tabla 6.5***Análisis de varianza del diseño factorial para el NaSH*

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SS)	Grados de libertad	Media de cuadrados (MS)	F0	F(a,f1,f2)	Significativo
				Msefectos Mserro	F(0.05,1,2)	
X1	1.57	1	1.57	15.1591935	18.513	NO
X2	65.32	1	65.32	632.152742	18.513	SI
X3	21.98	1	21.98	212.694677	18.513	SI
X1X2	0.47	1	0.47	4.55274194	18.513	NO
X1X3	0.03	1	0.03	0.25596774	18.513	NO
X2X3	10.72	1	10.72	103.726935	18.513	SI
X1X2X3	0.03	1	0.03	0.25596774	18.513	NO
Curvatura	8.07800152	1	8.07800152	78.17	18.513	SI
Error	0.20666667	2	0.10			
TOTAL	108.39	10				

*Nota:* elaborado por los tesisistas.

Del valor sacado de la tabla  $F=18.513$  y el valor calculado en la tabla de  $F_0$ , se deduce que las variables más resaltantes o significativas son las que cumplen con  $F_0 > F$ .

- ✓  $X_1$  que representa al colector Z-6 nos dice que no es significativo ya que  $15.16 < 18.51$ .
- ✓  $X_2$  que representa al pH si es significativo y que  $632.15 > 18.51$
- ✓  $X_3$  que representa al NaSH si es significativo ya que  $212.69 > 18.51$
- ✓  $X_1X_2$  que representa la interacción entre el Z-6 y el pH no es significativo
- ✓  $X_1X_3$  que representan la interacción del Z-6 y el NaSH no es significativo
- ✓  $X_2X_3$  que representa la interacción del pH y el NaSH si es significativo
- ✓  $X_1X_2X_3$  que representa la interacción de las tres variables no es significativo

## CONCLUSIONES

- Después de realizar las pruebas de flotación y obtener los resultados podemos observar que la mejor recuperación de Cu que se obtiene es cuando se utiliza un pH más bajo, alcanzando una recuperación de 88%, y al utilizar un pH de 11 se alcanzó la recuperación más mínima que es de 78% como se observa en los resultados de las pruebas de flotación Tabla 5.10.
- Con los resultados de laboratorio se puede decir que para obtener una mejor recuperación de Cu a nivel laboratorio se debe trabajar con los siguientes parámetros: Z-6 debe estar en 80g/TN, el pH en 9 y la cantidad de NaSH debe ser de 250 g/TN.
- Después de realizar el respectivo análisis de varianza del diseño factorial que se empleó, podemos observar que; el Z-6 para estas pruebas no son muy significativas, mientras que el pH y el sulfidizante si son muy significativas. También la relación del Z-6 con el pH o el NaSH no son significativas, pero si el del pH con el NaSH.
- La aplicación del diseño factorial  $2^k$  nos permitió determinar que el reactivo NaSH actúa como un buen sulfidizante siempre y cuando se trabaje con un pH menor a 10.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones adicionales para la aplicación de los parámetros obtenidos para el proceso de un mineral que no sea de la mina San Felipe, ya que estos minerales varían su composición y caracterización según el lugar de donde se extrae.
- También se deberían hacer más estudios con distintos tipos de sulfidizantes, ya que este estudio se realizó con los reactivos que se utilizan en la planta concentradora
- Se recomienda realizar pruebas piloto en la planta de procesamiento para ver el circuito de flotación que se utilizara para la recuperación de óxidos de cobre.
- Para el proceso de minerales acopiados en las canchas de la planta de beneficio La Azulita SAC, se recomienda realizar un bleding controlado para tener un mineral uniforme, y así lograr un proceso correcto.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Astucuri, V. (1947). *Introducción a la flotación de Minerales*. Moscu.
- Azañero, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: Colecciones Jovic.
- Bravo, A. (2004). *Manual de flotación*. Empresa Minera Los Quenuales S.A., Lima, Perú.
- Chambi Huarca, L. (2020). *Optimización del proceso de flotación para mejorar la recuperación de minerales mixtos de cobre en la planta concentradora Minera CIEMSA - Puno [Tesis para optar el título profesional]*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno.
- Dance Juarez, G. (2017). *Evaluación del proceso de flotación en la planta concentradora de XSTRATA TINTAYA S.A. [Tesis para optar título profesional]*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Delgado Abril, G. (2016). *Operaciones en planta concentradora de mineral polimetálico y óxidos de plomo - plata - cobre de Sociedad Minera Corona S.A. [Tesis de licenciatura]*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Delgado, G. (2016). *Operaciones en planta concentradora de mineral polimetálico y óxidos de plomo-plata-cobre de sociedad minera corona S.A. (tesis)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Guerreros, M. (2012). *Cinética de procesos metalúrgicos [Curso]*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/nenmias/cinetica-de-flotacion>
- Gutiérrez Pulido, H. (2004). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Editorial Caz prensa Digital, S.A. México
- Leja, J. (1982). *Surface chemistry of Froth Flotation* (Vol. 1 y 2). New York. doi:10.1007/978-1-4615-7975-5

Linarez Gutierrez, N. (2016). *Procesamiento de minerales - Mineralurgia II [curso]*. Tacna.

Loius Salager, J. (2007). *Fundamentos De La Flotación*. Universidad de los andes, Venezuela.

*Manual de mineria*. (s.f.). Obtenido de [www.estudiosmineros.com](http://www.estudiosmineros.com) :

[http://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual\\_de\\_Mineria.pdf](http://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual_de_Mineria.pdf)

Manzaneda Cabala, J. (1990). *Procesamiento de minerales* (1 ed.). Lima.

Marsden, J., & Jouse, L. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction* (2 ed.). Colorado, USA.

Montgomery, D. C., (1992) *Diseño y Análisis de Experimentos*, Ed. Iberoamérica.

Quiroz, I. (1998). *Flotación diferencial de sulfuros*. UNI, Lima.

Ramos Huilca, J., & Ticona Luna, A. (2014). *Determinación estadística de los parámetros*

*óptimos para la obtención de concentrados de cobre utilizando cemento como depresor*

*en la etapa de separación plomo-cobre de la flotación diferencial de un mineral*

*polimetálico*[Tesis de pregrado, UNSA]. Repositorio institucional de la Universidad

Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4009>

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

XSTRATA COPPER. (2007). *Flotación de minerales [manual de procedimientos]*. División

XSTRATA - Technology.

Zanabria, N. (2020). *Fundamentos de operación de plantas concentradoras. Flotación de*

*minerales [Diplomado de especialización]*. INGECAP CONSULTORES.

Zathex, K. (24 de Noviembre de 2015). *Slideshare*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021, de

<https://es.slideshare.net/ZathexKaliz/254213106-procesodeflotacion-55445995>

# ANEXO

## Anexo a. Matriz de consistencia

<b>RECUPERACION DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE POR SULFIDIZACION A PARTIR DE LAS COLAS PROVENIENTES DE LA FLOTACION DE SULFUROS DE COBRE EN LA PLANTA DE BENEFICIO LA AZULITA SAC – NAZCA</b> <b>(TRABAJO DE INVESTIGACION).</b>				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
PG ¿De qué manera se podrá recuperar los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros, utilizando agentes sulfidizantes en la planta de beneficio La Azulita SAC – Nazca?	OG: Determinar el uso de sulfuro de sodio para la recuperación de los óxidos de cobre de las colas provenientes de flotación de sulfuros, en la planta de beneficio La Azulita SAC - Nazca.	HG El uso de sulfuro de sodio, recupera los óxidos de cobre eficientemente de las colas provenientes de flotación de sulfuros, en la planta de beneficio La Azulita SAC – Nazca.	<b>DEPENDIENTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperación de óxidos de cobre.</li> </ul> <b>INDEPENDIENTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dosificación de sulfuro de sodio pentahidratado</li> <li>Dosificación del colector xantato Z-6.</li> <li>pH</li> </ul>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> El tipo de investigación es tecnológico con enfoque cuantitativo <b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> El nivel de investigación será descriptivo y explicativo causa – efecto. <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> El presente trabajo aplica el diseño experimental de tipo factorial <b>POBLACIÓN:</b> Minerales del yacimiento de la mina San Felipe con 200 TM -Nazca. <b>MUESTRA:</b> De acuerdo al diseño de investigación se tendrán 25 Kg de mineral. <b>TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS</b> Se usará la técnica de medición y obtención de datos en diversas pruebas de análisis químicos metalúrgicos y ensayos de flotación. Esta información será sistematizada, analizada, procesada e interpretada para la obtención pertinente de las conclusiones. <b>INSTRUMENTOS Y SOFTWARE</b> Balanzas, potenciómetro, mufla, chancadora, Mallas Tyler, celda de flotación, equipo ro-tap, cronometro, reactivos de flotación, Excel.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
PE1 ¿Qué dosificación de sulfuro de sodio será la más ideal para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre?	OE1: Determinar la dosificación adecuada de xantato Z-6 para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.	HE1: La dosificación de sulfuro de sodio permite la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.		
PE2: ¿Cuál será la dosificación adecuada de xantato Z-6 para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre?	OE2: Determinar la dosificación adecuada de xantato Z-6 para la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.	HE2: Una dosificación del xantato Z-6 adecuado permite la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre		
PE 3: ¿Cómo influye el pH en la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre?	OE3: Verificar la influencia del pH para la recuperación de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.	HE3: El pH influye significativamente en la recuperación de óxidos de cobre a partir de las colas en el proceso de flotación de sulfuros de cobre.		



Anexo b. Puntos críticos al 5% de la distribución F,  $P(X>x)=0.05$ 


		Grados de libertad en el numerador																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	75	100	$\infty$				
Grados de libertad en el denominador	1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254				
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	91.5	19.5	19.5	19.5	19.5				
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.53				
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.63				
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.37				
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.67				
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.23				
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.93				
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.71				
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.54				
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.41				
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.30				
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.21				
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.13				
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.07				
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.01				
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.96				
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.92				
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.88				
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.84				
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.81				
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.78				
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.76				
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.73				
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.71				
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.69				
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.67				
	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.65				
	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.64				
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.62				
	40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.51				
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.39					
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.28					
$\infty$	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.57	1.51	1.46	1.40	1.35	1.28	1.25	1.03					



Anexo c. Planta de Beneficio La Azulita S.A.C.



**Anexo d. Procedimientos en el laboratorio de procesamiento de minerales de la planta de beneficio La Azulita S.A.C.**

	<p>Conminación del mineral utilizando una pulverizadora.</p>
	<p>Pesado de mineral para su posterior rotulado y su análisis químico.</p>
	<p>Análisis químico.</p>

