



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS COLECTORES AP-3418 Y AR-404 SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLOMO Y ZINC POR FLOTACIÓN SELECTIVA DE UN MINERAL POLIMETÁLICO DE LA EMPRESA MINERA OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA S.R.L.”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. César Manuel Alvarado Dávila  
Bach. Olga Esther Plasencia Fernández

**Asesor:**

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú  
2016

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres César Manuel Alvarado Dávila y Olga Esther Plasencia Fernández, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS COLECTORES AP-3418 Y AR-404 SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLOMO Y ZINC POR FLOTACIÓN SELECTIVA DE UN MINERAL POLIMETÁLICO DE LA EMPRESA MINERA OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA S.R.L.”**

---

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus.

**ASESOR**

---

Ing. José Alfredo Siveroni Morales

**JURADO**

**PRESIDENTE**

---

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

**JURADO**

---

Ing. Roberto Severino González Yana

**JURADO**

## DEDICATORIA

A Jehová Dios por concederme la dicha de la vida, por todo lo que soy y darme la sabiduría y conocimiento de su palabra.

A mi Esposo Dennis por apoyarme siempre su comprensión y amor.

A mis queridos padres: Arturo y Esther porque supieron inculcarme sus valores y sus sabios consejos en todo momento.

A mis hermanos César, Luz y Lupe por ser ejemplo en todo y ayudarme en siempre que lo necesito.

A mi abuelo Teodoro, por ser un ejemplo de lucha y abnegación.

Olga

A nuestro Padre Celestial,  
Por darme la vida y la oportunidad de realizar mis metas, así como también fortalecerme en los momentos más difíciles.

A mis padres,  
César Alvarado y Yolanda Dávila, por apoyarme siempre y guiarme con sus enseñanzas, consejos y valores.

Madelyne, Fabrizio Y Humberto  
Mis queridos hijos, que me dan la fuerza para seguir adelante en mi formación profesional.

Karen:  
Esposa, amiga y compañera de mi vida, por su constante apoyo para seguir en los momentos difíciles.

Mi Hermana:  
Madia, quien constantemente me estimula y apoya incondicionalmente para la culminación de mi carrera universitaria.

César.

## AGRADECIMIENTO

*A mi Asesor:*

*Al Mg. Ing. Gary C. Farfán  
Chilicaus, por su dedicación y  
paciencia en todo el tiempo que nos  
tomó la realización del presente  
trabajo.*

*A mi madre por la ayuda  
incondicional  
Brindada para conmigo.*

*Un agradecimiento muy especial al  
Ing. Víctor Eduardo Álvarez por  
su ayuda y contribución en obtención  
de muestras para la realización de  
este trabajo*

*Olga*

*Mi más sincero agradecimiento al  
Mg. Ing. Gary Farfán Chilicaus,  
por su asesoramiento en la ejecución  
del proyecto de investigación.*

*A la plana docente de la  
Universidad Privada del Norte  
que gracias a sus enseñanzas  
hicieron posible mi formación  
profesional.*

*A mis tíos César Vallejos y  
Margot Dávila que me ayudaron  
en cada momento de mi formación  
universitaria.*

*A la Sra. Alexandra Plaza, por  
sus consejos y apoyo.  
César*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática .....	11
1.2. Formulación del problema.....	11
1.3. Justificación.....	12
1.4. Limitaciones .....	12
1.5. Objetivos .....	12
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	12
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	12
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1. Antecedentes .....	13
2.2. Bases Teóricas.....	14
2.3. Definición de términos básicos .....	59
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>62</b>
3.1. Formulación de la hipótesis .....	62
3.2. Operacionalización de variables .....	62
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	63
4.2. Material.....	63
4.2.1. <i>Unidad de estudio</i> .....	63
4.2.2. <i>Población</i> .....	63
4.2.3. <i>Muestra</i> .....	63
4.3. Métodos.....	64
4.3.1. <i>Técnicas de recolección de datos y análisis de datos</i> .....	64
4.3.2. <i>Procedimientos</i> .....	64
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>

<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N°01: Reactivos. ....	28
TABLA N°02: Resumen de Manipuleo de la pulpa, efecto de la flotabilidad. ....	31
TABLA N°03: Sistema de coordenadas U.T.M. ....	57
TABLA N°04: Recuperación de Plomo de un mineral polimetálico ....	67
TABLA N°05: Sumatoria del promedio de las tres pasadas de flotación ....	67
TABLA N°06. Recuperación de zinc de un mineral polimetálico. ....	68
TABLA N°07: Sumatoria del promedio de las tres pasadas de flotación.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N°01: Diagrama de la acción del oxígeno sobre los niveles de energía.....	12
FIGURA N°02: Diagrama de corriente potencial .....	14
FIGURA N°03: Termodinámica de flotación de minerales .....	17
FIGURA N°04: Capa eléctrica. Fuente.....	18
FIGURA N°05: Punto de carga cero (PCC).....	20
FIGURA N°06: Ángulo de adhesión.....	21
FIGURA N°07: Mecanismo de adhesión Fuente .....	22
FIGURA N°08: Reactivos depresores Fuente.....	26
FIGURA N°09: Partes de la separación .....	31
FIGURA N°10: Celda mecánica y celda columna. ....	32
FIGURA N°11: Celda mecánica y celda columna .....	33
FIGURA N°12: Circuito de flotación simple. ....	35
FIGURA N°13: Balance circuito de flotación. ....	37
FIGURA N°14: Circuito de flotación simple. ....	38
FIGURA N°15: Recuperación de sulfuros de cobre en función de su oxidación.....	39
FIGURA N°16: Recuperación del mineral en función de su tamaño granular. ....	42
FIGURA N°17: Flotación de minerales de cobre en concentrado .....	43
FIGURA N°18: Flotación selectiva de minerales. ....	47

## RESUMEN

Se estudió la influencia de la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 sobre la recuperación de plomo y zinc por flotación selectiva de un mineral polimetálico, del nivel 2 de la veta murciélagos de la empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

El estudio experimental se realizó en una celda de flotación de laboratorio, modelo Denver D-12, utilizando mineral con una granulometría 60% -200 mallas con una ley de 4.48% de plomo y 14.82% de Zinc.

El resultado del estudio de la flotación concluyó que, la recuperación de plomo sin uso de colectores es de 32.29 % y con la dosificación de los dos colectores, la recuperación es de 50.29 %. Para la recuperación de zinc sin uso de colectores es de 49.38 % y con la dosificación de los dos colectores la recuperación es de 56.50%.

Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que la recuperación de plomo por la influencia del colector AP-3418 es de  $F_0 = 179.59$  es mayor al  $F_{0.05;2;18} = 3.55$ , y la influencia del colector AR-404 es de  $F_0 = 622.69$  es mayor al  $F_{0.05;2;18} = 3.55$  y con la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 es de  $F_0 = 70.87$  es mayor al  $F_{0.05;4;18} = 2.93$ , obtenido de manera tabular. Esto confirma la aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto, la influencia de estos colectores de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en la recuperación de plomo.

Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que la recuperación de zinc por la influencia del colector AP-3418 es de  $F_0 = 123.46$  es mayor al  $F_{0.05;2;18} = 3.55$ , y la influencia del colector AR-404 es de  $F_0 = 312.89$  es mayor al  $F_{0.05;2;18} = 3.55$  y con la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 es de  $F_0 = 492.51$  es mayor al  $F_{0.05;4;18} = 2.93$ , obtenido de manera tabular. Esto confirma la aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto, la influencia de estos colectores de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en la recuperación de zinc.

## ABSTRACT

The influence of the dosage of the AP-3418 and AR-404 collectors on recovery of lead and zinc was studied by selective flotation of a polymetallic mineral, level 2 of the bat grain of the company Western Mining 2 of Cajamarca S.R.L. The experimental study was conducted in a laboratory flotation cell, Denver D-12 model, using ore with a particle size 60% -200 mesh grading 4.48% lead and 14.82% zinc. The result of the study concluded that flotation, recovering unused collector lead is 32.30% and the dosage of the two collectors, the recovery of 50.29% is. Zinc recovery unused collector is 49.38% and the dosage of the two manifolds recovery of 56.50% is. The results are confirmed by analysis of variance for a confidence level of 95%. From this it is concluded that the recovery of lead under the influence of collector AP-3418  $F_0 = 179.59$  is the  $F_{0.05}$  is greater; 2; 18 = 3.55, and the influence AR-collector 404 is greater  $F_0 = 622.69$  the  $F_{0.05}$ ; 2; 18 = 3.55 and the influence of AP-3418 and AR 404  $F_0 =$  collectors is greater than 70.87 is  $F_{0.05}$ ; 4; 18 = 2.93, obtained in tabular form. This confirms the acceptance of the alternative hypothesis, therefore, the influence of these collectors individually and collectively if significantly affect the lead recovery. The results are confirmed by analysis of variance for a confidence level of 95%. From this it is concluded that zinc recovery by the influence of collector AP-3418  $F_0 = 123.46$  is the  $F_{0.05}$  is greater; 2; 18 = 3.55, and the influence AR-collector 404 is greater  $F_0 = 312.89$  the  $F_{0.05}$ ; 2; 18 = 3.55 and the influence of AP-3418 and AR 404 is  $F_0 =$  collectors is greater than  $F_{0.05}$  492.51; 4; 18 = 2.93, obtained in tabular form. This confirms the acceptance of the alternative hypothesis, therefore, the influence of these collectors individually and collectively if significantly affect the recovery of zinc.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

En nuestro país se encuentran compañías mineras que han optado por la utilización de sistemas de flotación entre las más resaltantes tenemos a Antapaccay, Xstrata, Antamina, Southern Perú, Volcan y Cerro Verde.

La Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca, está ubicado en el distrito de San Bernardino (Provincia de San Pablo), departamento de Cajamarca, sus establecimientos se ubican a 1350 m.s.n.m. a 4 km. de la ciudad de Chilete (Provincia de Contumazá), departamento de Cajamarca. Esta empresa operó como tal entre los años 1952-1968, explotando alternativamente minerales de plomo, zinc y plata. En la actualidad solo se está comercializando el mineral por lo que se propone que en el lote del mineral polimetálico de la veta murciélagos del nivel 2 de esta empresa utilizando procesos a nivel de planta utilizando flotación selectiva, empleando los colectores AP-3418 y AR-404 y a partir de los parámetros de laboratorio y extrapolarlos a nivel industrial para obtener una máxima recuperación de plomo y zinc.

### **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 sobre la recuperación de plomo y zinc por flotación selectiva de un mineral polimetálico del nivel 2 de la veta murciélagos de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.?

### **1.3. Justificación**

Esta tesis propone parámetros de concentración por flotación selectiva a minerales del nivel 2 de la veta murciélagos de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L. a través de la realización de pruebas metalúrgicas de flotación.

El desarrollo de este trabajo es de gran importancia por el aporte tecnológico, que contribuirá a mejorar el beneficio de los elementos valiosos, obteniendo mejores

rendimientos técnicos y económicos de nuestros recursos mineros, basándonos en el estudio e identificación de problemas, investigación y planteamiento de soluciones.

#### **1.4. Limitaciones**

- El estudio está enfocado solo al mineral procedente del nivel 2 de la veta murciélagu.
- Información limitada sobre los antecedentes de procesos de la mina Paredones
- Falta de laboratorio especializado dentro de la ciudad donde se desarrollará la investigación.
- La recuperación de plomo y zinc se ven limitadas ya que son solo de la etapa Rouger.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar la influencia de la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 sobre la recuperación de Pb y Zn, por flotación selectiva de un mineral polimetálico del nivel 2 de la veta murciélagu de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el parámetro dosificación de los colectores AP-3418 Y AR-404 para obtener la mayor recuperación de plomo del mineral.
- Determinar el parámetro dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 para obtener la mayor recuperación de zinc del mineral.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

El proceso de flotación es de origen relativamente reciente y se puede considerar como un proceso moderno, cuyos fundamentos teóricos y tecnológicos fueron desarrollados sólo en el siglo XX. Sin embargo, como todos los grandes descubrimientos, este proceso tiene antecedentes históricos que se pueden remontar varios siglos atrás. (Sutulov, 1963)

En este sentido el padre de la historia, Heródoto (484 – 425 A.C.), en una de sus obras informa que éstos más de 2500 años atrás, usaban plumas grasosas de ganso y otras aves para hacerlas pasar a través de las arenas auríferas, y en una corriente de agua recuperar las partículas de oro adheridas a la grasa de las plumas. (Sutulov, 1963)

Gaudin informa también que en el siglo XV los persas usaban un método de concentración de piedras ultramarinas y de azurita, que estaba basado sobre la mojabilidad selectiva de ciertos minerales con aceites y agua. Este método se aplicó hasta el siglo XIX. (Sutulov, 1963)

En 1905-06 se logra un importante avance cuando Ballot, Sulman y Picard reducen el consumo de aceite al introducir aire a la pulpa para producir las burbujas por agitación. (Abarca, 2011)

En 1925, Keller patentó a los xantogenatos alcalinos – Xantatos, como colectores. También este año se propuso el uso de colectores catiónicos para la flotación de silicatos, siendo en ellos el catión una amina primaria como grupo activo. (Abarca, 2011)  
En 1979, Hansen y Meyer han desarrollado un colector para mejorar la recuperación de carbón oxidado. (Abarca, 2011)

A la fecha, los avances en flotación, se han enmarcado en el desarrollo de nuevos reactivos cada vez más selectivos y de usos más específicos, de uso para un determinado mineral, proveniente de un yacimiento también específico. (<http://www.cyttec.com/>)

Entre los nuevos reactivos tenemos al promotor AEROPHINE 3418 el cual es un exclusivo colector de sulfuro en base fósforo. Se desarrolló originalmente para la flotación de cobre minerales activados de Zinc. Se ha descubierto que es un invaluable (y a menudo, irremplazable) colector en el beneficio de complejos, polimetálicos y masivos minerales de sulfuro. En estos minerales otorga separaciones muy selectivas. Es altamente efectivo frente a minerales de sulfuro de hierro, esfalerita desactivada y elementos nocivos. En muchos minerales, la dosificación requerida puede ser considerablemente menor que la que necesitan los colectores usados tradicionalmente, como los xantatos. Otras características son:

- Baja contribución a la espumación, incluso en minerales que contienen minerales de arcilla.
- Rápida cinética.
- Buena recolección de partículas gruesas.

Excelente colector para metales preciosos, metales del grupo del platino, galena y sulfuros de cobre desde minerales complejos, polimetálicos o masivos. (<http://www.cyttec.com/>)

Así como también el promotor AR 404 es ampliamente usado para la flotación de minerales de Cu alterados y secundarios, minerales Zn y Pb alterados y metales preciosos en circuitos alcalinos. Excelente colector para la pirita y pirita aurífera en circuitos ácidos y neutros. (<http://www.cyttec.com/>)

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Mineralogía

La mineralogía es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. Un mineral es un sólido inorgánico de origen natural, que presenta una composición química no fija, además tiene una estructura cristalina. <https://es.wikipedia.org/wiki/Mineralog%C3%ADa>

Los minerales de mina y más aún de cada veta, tienen características especiales que deben de ser bien definidas como punto de partida para cualquier proceso minero-metalúrgico, algunos minerales pueden ser considerados “valiosos”, “no valiosos” y otros “no deseables”, éstos son términos que varían dependiendo del

lugar, precios, minerales asociados, otras circunstancias de un depósito particular y con los cambios en tecnología y economía. (Cyanamid, 1986).

Algunos minerales son económicamente rentables como, por ejemplo: oro en playas arenosas; pero la mayoría de los minerales se presentan compactos y exhiben gran variedad de texturas. Es importante no solo identificar todas las especies minerales en un mineral, sino también apreciar las posibilidades económicas de cada una. La identificación de las especies minerales, es el primer paso esencial, aunque un mineral puede estar constituido de un solo mineral simple, la mayoría de los cuerpos y vetas consisten de 3 a 20 minerales, esto es lógico teniendo en cuenta que existen de 100 a 200 minerales metálicos conocidos que pueden formar millones de diferentes combinaciones con algún otro y con los miles de minerales existentes, afortunadamente muchas de las combinaciones teóricas son genéticamente imposibles en la naturaleza. (Goizueta, 1665)

#### **2.2.1.1. El rol de la mineralogía – metalurgia.**

Las funciones de los mineralogistas en la metalurgia son muy variadas, generalmente dos son las principales:

- Identificar todas las especies minerales en un mineral.
- La examinación de los productos obtenidos de estos cuerpos minerales en los procesos de concentración. (López, 1999)

Cuando un mineral ha sido identificado, la literatura es consultada para hallar datos sobre su composición química, propiedades físicas y sus ocurrencias.

Las propiedades físicas son de gran importancia entre ellas: la dureza, fragilidad, textura, gravedad específica, fractura, grado de transparencia, calor, etc.

Las formas particulares de cada mineral y el tamaño de partícula en que se encuentran, es primordial en la separación por medios físicos, así la diferencia de gravedades específicas de minerales es la base de la separación de gravimétrica; el color y reflectividad son usados como control en los procesos de escogimiento por color ya sea manualmente o electrónicamente. Por otro lado, las impurezas minerales presentes

deben de ser estudiadas, pues éstos pueden alterar los procesos de concentración. (López, 1999)

La correcta información de las propiedades físicas como la textura, el tamaño de liberación de las partículas, la manera como están asociadas los minerales en la matriz de un cuerpo mineral, el tamaño de los granos de un mineral, el clivaje, la fractura, los bordes y el estado físico, ya sea que estén frescos o alterados, nos evitarían sobremoliendas o moliendas débiles de ciertos minerales valiosos, que a veces su concentración se torna muy dificultosa y otras veces imposible. (López, 1999).

#### **2.2.1.2. Objetivos mineralógicos aplicados a la concentración de minerales.**

Los objetivos mineralógicos en la concentración de minerales son:

- Hacer una identificación positiva de los minerales presentes.
- Describir sus texturas y asociaciones con otros minerales.
- Medir los tamaños de liberación de los minerales a ser concentrados, con respecto a los varios minerales asociados.
- Si fuera posible, hacer determinaciones cualitativas o cuantitativas para informarse sobre: Abundancia de mineral, leyes y reservas minerales (toneladas métricas) y Cantidad, clase y grado de entrapamiento de varios minerales en materia granular.
- Distribución de un mineral valioso en dos o más modos de ocurrencias.
- Porcentaje de cada uno de varios minerales que llevan el mismo elemento deseado en un mineral. (Zimmerman, 2008)

#### **2.2.2. Teoría de la flotación de minerales sulfurados.**

La flotación de minerales depende de las propiedades de los minerales que le permite adherirse a burbujas de aire y ser llevados a la superficie de la pulpa. Los reactivos que se adiciona a la pulpa (mineral agua) es con el propósito de crear una superficie hidrófoba, se denominan colectores. Para facilitar la adhesión del colector al mineral útil y para impedir esta adhesión al mineral no valioso se agregan otros reactivos denominados activadores y depresores, estos compuestos llevan el nombre genérico de modificadores o moduladores de la colección.

La teoría de flotación debe explicar el mecanismo mediante el cual actúan los colectores y los modificadores, las condiciones para que un compuesto químico sea colector de un determinado mineral, y debe establecer la condición físico-químicas que producirán un mejor rendimiento del proceso. (Astucuri, 1999)

Al mismo tiempo el avance de la ciencia y consecuentemente la aplicación a este campo de nuevas técnicas de investigación científica, han permitido un mejor conocimiento de la superficie del mineral en un medio acuoso y de la naturaleza química de los productos superficiales. (Astucuri, 1999)

Los avances que se han logrado, han llevado a la concepción actual que la interacción entre el colector y la superficie del mineral es de naturaleza electromecánica. Se ha demostrado que el oxígeno, junto con transformar en medio alcalino la superficie de los sulfuros en especies oxidadas de mayor solubilidad, cumple la importante función de actuar como aceptantes de electrones permitiendo la formación de disulfuros orgánicos que confieren un alto grado de hidrofobicidad al recubrimiento formado únicamente por la sal metálica del colector. (Astucuri, 1999)

De esta forma las antiguas teorías de reacción química entre el colector y el sulfuro metálico, o de simple adsorción de iones, han dejado paso a nuevas teorías, existiendo hasta la fecha las siguientes:

- a- **Teoría química o de la oxidación superficial.**
- b- **Teoría de semiconductores.**
- c- **Teoría electroquímica.**
- d- **Teoría de la adsorción física.** (Astucuri, 1999)

**a) Teoría Química:**

En medio acuoso alcalino, la mayoría de los minerales sulfurados sufren oxidación superficial. Para el caso particular de la galena, existen numerosos estudios que demuestran que la superficie estaría recubierta por especies oxidadas, especialmente tiosulfato básico de plomo. (Astucuri, 1999)

La reacción con un xantato ocurriría por mediación de esta capa oxidada, operando un mecanismo de intercambio iónico. (Astucuri, 1999)

El mecanismo propuesto puede resumirse en las siguientes reacciones:



De esta forma se explica la formación de un recubrimiento de colector formado por xantato de plomo, el que sería responsable de la hidrofobización de la partícula. Sin embargo, resultados experimentales de varios autores, han mostrado que superficies de plomo recubiertas con este compuesto conservan su hidrofobicidad.

(Astucuri, 1999)

Este mecanismo de oxidación superficial es poco realista para metales como platino y oro, y ha mostrado ser poco importante para cobre y galena, en algunas experiencias en que se ha adicionado xantato a superficies libres de especies oxidadas. (Astucuri, 1999).

### **b) Teoría de Semiconductores.**

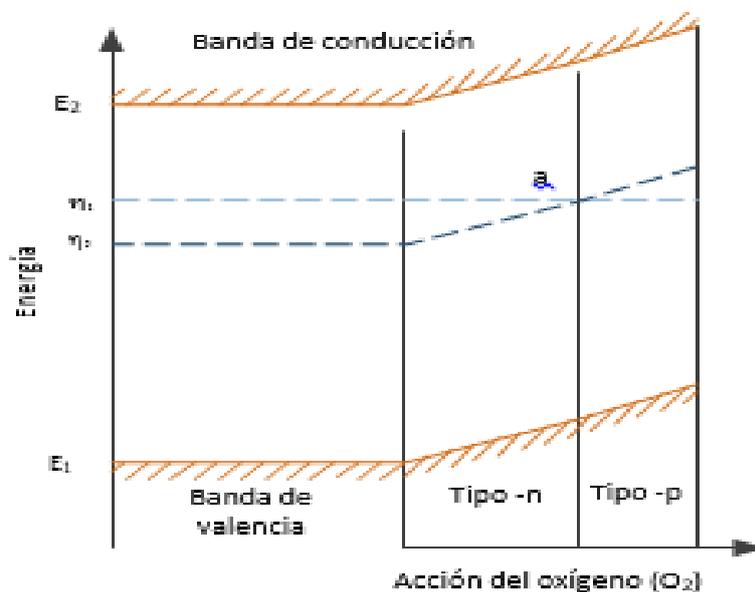
Esta teoría presenta una diferencia fundamental con la teoría química, puesto que, la hidrofobización se atribuye a la formación de una especie oxidada del colector, un disulfuro orgánico conocido como dixantógeno, el que se formaría directamente sobre la superficie mineral. (Astucuri, 1999)

El rol del oxígeno, que es un fuerte aceptor de electrones, se interpreta en el sentido que su adsorción tomaría los electrones libres de las capas superficiales del retículo cristalino del sulfuro semiconductor, de tal forma que de semiconductor tipo n pasaría a semiconductor tipo p. (Astucuri, 1999)

Cuando las bandas de conducción de un sulfuro semiconductor son electrones en exceso, se habla de semiconductores tipo n (negativos), mientras que, cuando las bandas están representadas por huecos, se tienen semiconductores

tipo p (positivos). Así, la adsorción de especies aniónicas, como xantato, estaría favorecida sobre una especie semiconductor tipo p. (Abarca, 2011)

La oxidación de xantato a dixantógeno se produciría por el paso de un electrón a la red cristalina, debido a la presencia de huecos (ausencia de electrones libres). El dixantógeno, por ser una molécula neutra, permanecería coadsorbido físicamente en la película de colector, confiriéndole a la superficie una fuerte hidrofobización. (Astucuri, 1999)



**Fig. N°01: Diagrama de la acción del oxígeno sobre los niveles de energía del mineral sulfurado (tipo n).**

**Fuente:** Astucuri, 1999

### c) Teoría electroquímica.

Esta teoría establece que el desarrollo de la hidrofobicidad de las partículas sulfuradas de mineral en la flotación de minerales se basa en el proceso anódico que involucra la descomposición del colector y que es completado en una reacción de celda con un proceso catódico que generalmente comprende la reducción del oxígeno. (Cyanamid, 1986)

Según la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica. Iones Xantatos son oxidados a dixantógeno o xantato del metal, de acuerdo con una de las siguientes reacciones:



Independientemente de la trayectoria de oxidación del xantato, este proceso anódico precisa ser balanceado por una reacción catódica. Uno de los papeles importantes del oxígeno en sistemas xantato/mineral sulfurado es entregar la reacción catódica. El producto real de la reducción de oxígeno en ambiente acuoso puede ser H<sub>2</sub>O o, OH<sup>-</sup> de acuerdo con una de las reacciones:



La primera de estas reacciones es más apropiada para describir el proceso en medio ácido (bajo acción catalítica de la superficie mineral). La segunda reacción es más realista en medio alcalino. (Cyanamid, 1986)

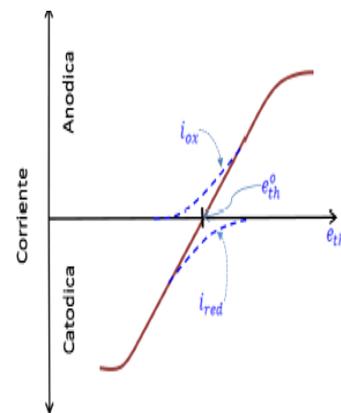
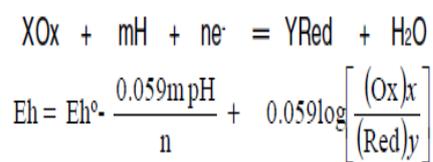
El mecanismo electroquímico es coherente con varias evidencias experimentales, tales como, la presencia de xantato de metal o dixantógeno, la adsorción no uniforme del colector en la superficie (debido a la diferencia de potencial entre varios puntos) y la necesidad de oxígeno para la flotación de sulfuros. (Abarca, 2011)

Esta teoría establece que el desarrollo de la hidrofobicidad de las partículas sulfuradas del mineral en la flotación de mineral se basa en el proceso anódico que involucra la descomposición del colector y que es completado a una reacción de celda con un proceso catódico que generalmente comprende la reducción del oxígeno. Cuando tiene lugar una reacción sobre un electrodo el potencial  $E$  queda determinado por la transferencia de carga entre el electrodo y la solución. Para una reacción única en el equilibrio el potencial está dado por la ecuación de Nernst. Así, por ejemplo, para una reacción redox cualquiera, el mecanismo de transferencia de  $e^-$  puede representarse a través de la siguiente ecuación general:

En una reacción Redox de la siguiente forma:  $Ox + ne^- \rightleftharpoons Red$  en la que aplicando la ecuación de NERST tenemos:

$$e_{th} = e_{th}^0 + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{Ox}{Red}\right)$$

Para esta reacción tendremos un gráfico corriente-potencial tal como se da a continuación:



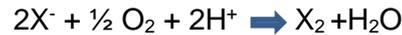
**Fig. N°02: Diagrama de corriente potencial.**

**Fuente:** Abarca Rodriguez, 2011

Para un potencial dado la oxidación ocurre a una velocidad finita  $i_{ox}$  y al mismo tiempo el producto oxidado se reduce a una velocidad finita  $i_{red}$ . De aquí se deduce que cuando la velocidad de oxidación es igual a la velocidad de reducción, tendremos una corriente igual a cero. (Sutulov, 1963)

$i = i_{ox} + i_{red} = 0$ , en este caso el potencial corresponde al potencial de equilibrio, este es el potencial que asume un electrodo sumergido en una solución, para tiempos suficientemente prolongados que permiten alcanzar la situación de equilibrio.

El Xantato por su parte reacciona formando el siguiente:



El cual toma lugar sobre la superficie del mineral vía dos procesos de electrodo separados y en forma simultánea. (Abarca, 2011)

#### **d) Teoría de la adsorción física.**

En la teoría física de la flotación se observa que la fijación del colector no va acompañada por una producción de otros iones en la solución, como ocurren con la adsorción del xantato butílico por la galena, donde el xantato es adsorbido molecularmente sobre la superficie de la galena después de la hidrólisis de su sal, o sea en forma de ácido xantático, otros investigadores han señalado que la reducida flotabilidad de la galena en un circuito de elevada alcalinidad se debe a la posibilidad cada vez menor de hidrólisis y formación de ácido xántico en una pulpa alcalina. (Sutulov, 1963)

Se considera finalmente que los minerales con cristales de estructura atómica favorecen la adsorción física y los minerales con la estructura iónica favorecen la fijación por intercambio iónico. En este último caso el potencial de la superficie del mineral no influirá la reacción, porque ella desarrollará según la afinidad de los iones para la formación del nuevo compuesto. (Sutulov, 1963)

Sin embargo, en el caso de una adsorción física el potencial de la superficie es de gran importancia y será más activa cuando este potencial sea igual a cero. Finalmente se puede señalar que los compuestos adsorbidos se mueven sobre la superficie del mineral tratando de recubrirlo en forma pareja y este movimiento está limitado sólo a la superficie del mineral sin disolución en agua y posterior re-adsorción. (Astucuri, 1999).

#### **e) Termodinámica de flotación de minerales.**

La flotación de minerales se basa en el contacto íntimo entre tres fases, una sólida, una líquida y una gaseosa. Las dos últimas están representadas casi siempre por el agua y aire respectivamente. El sólido está constituido por minerales, sin

embargo, existen experiencias recientes en las que se han utilizado SO<sub>2</sub>, o inclusive esferas de poliestireno, como medios para el transporte de las partículas de mineral que se desea separar, en el remplazo del aire. (Astucuri, 1999)

La Termodinámica en el Procesamiento de Minerales, el método de concentración por flotación de espumas es, indiscutiblemente, la técnica de separación de minerales valiosos de los no valiosos más importante y representa una de las aplicaciones más desafiantes de la química de superficies. El proceso de flotación está controlado por la termodinámica, la cinética y la hidrodinámica del sistema. En consecuencia, Incluye aspectos fundamentales, tales como: (Sutulov, 1963)

La creación de una superficie hidrofóbica en una especie mineral en particular (condición termodinámica). (Sutulov, 1963)

Previsión de tiempo suficiente para la adhesión de la partícula hidrofóbica con la burbuja de aire (condición cinética). (Sutulov, 1963)

La estabilización de los agregados partícula-burbuja bajo el flujo de pulpa prevaleciente (condición hidrodinámica). (Sutulov, 1963)

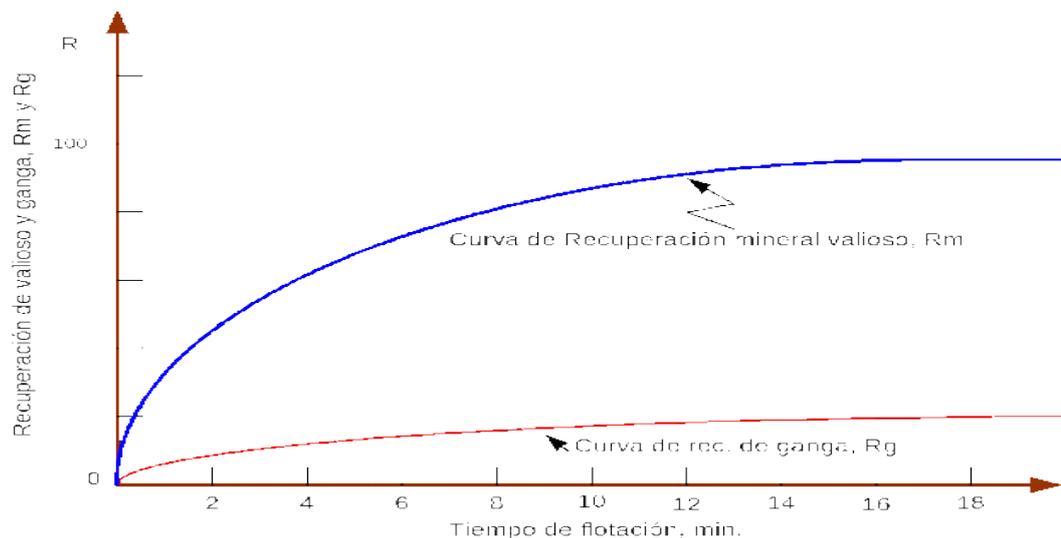
Las acciones conjuntas de estos principios hacen a la flotación de espumas, un proceso selectivo que se usa para llevar a cabo separaciones específicas de minerales de menas complejas tales como: Cu-Pb-Zn, Pb-Zn, Cu-Zn, menas menos complejas de Cu, Cu-Mo, Pb(Ag), Fe(Au), etc., menas de minerales óxidos y los no metálicos, incluyendo al carbón fino, al azufre y talco. Para tener un conocimiento ampliamente claro que nos conlleve a comprender, interpretar y evaluar los procesos metalúrgicos que intervienen en la concentración de minerales es necesario estudiar las principales propiedades físicas y químicas de las superficies de los minerales (sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos, sales solubles, etc.), es decir, la química de superficies, fases e inter fases, etc. puesto que es necesario también entender las relaciones que existen entre las fases masivas o condensadas sólida, líquida y gaseosa y las inter fases que ocurren entre ellas. La teoría de flotación de espumas es bastante compleja y aún no está estudiada en forma completa. Sin embargo, existen grandes avances en el estudio de este importante proceso de flotación de minerales. En nuestro estudio, trataremos dos aspectos que creemos son los más importantes. Ellos son: (Serrano, 1995)

Termodinámica de superficies, relacionada con el ángulo de contacto (mojabilidad de superficies minerales). (Serrano, 1995)

La cinética de los minerales, conviene tener presente que tanto las reacciones de acondicionamiento (mineral versus reactivos colectores/modificadores) como las de flotación propiamente tales (superficies acondicionadas de mineral versus burbujas de aire) tienen cinética definida, por ejemplo, requieren de un lapso de tiempo más o menos prolongado para llevarse a cabo. (Serrano, 1995)

En los dos casos, la cinética se expresa por la ley de acción de las masas (o principio de Gulderg y Waage). Que a su vez se basa en el concepto probabilístico de calcular la probabilidad de que una partícula de mineral se encuentre respectivamente con una molécula de reactivo colector, o con una burbuja de aire, según sea el caso. (Serrano, 1995)

Para apreciar la eficiencia del proceso de flotación es necesario determinar su velocidad y selectividad, con que flotan las partículas minerales o sea es la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo. . (Serrano, 1995)



**Figura N°03: Termodinámica de flotación de minerales**

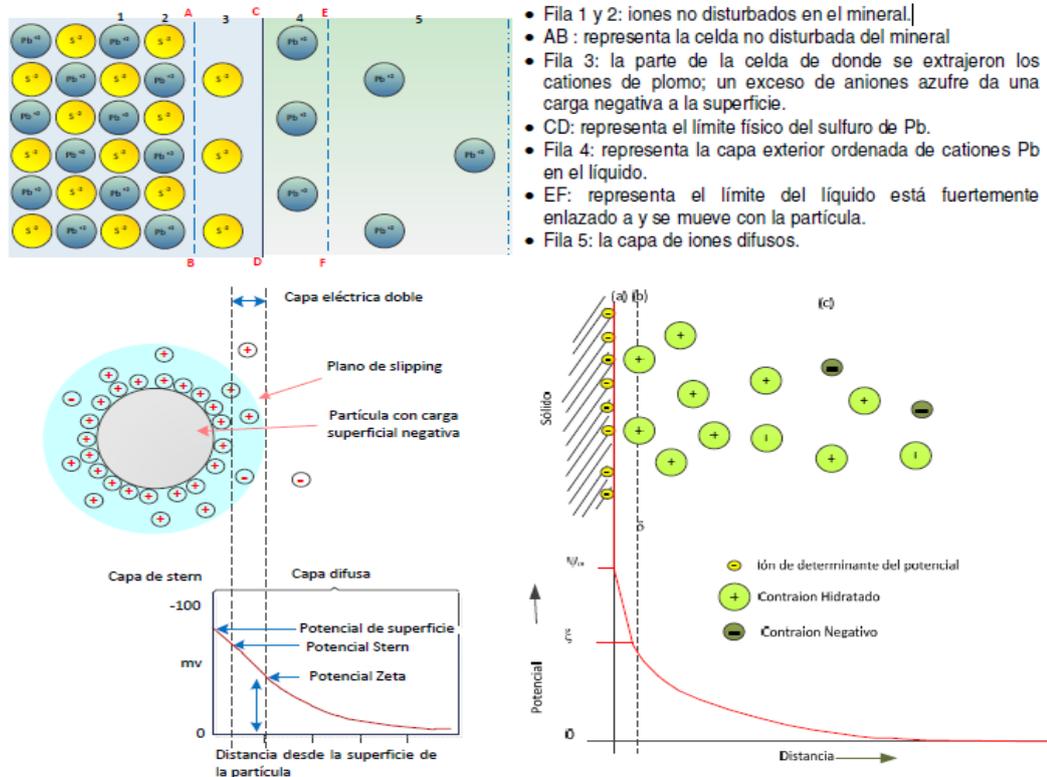
**Fuente: Serrano, 1995**

Uno de los procesos más precisos está basado en la determinación de la velocidad de flotación de resultados de flotación parcial, en que las espumas producidas se captan luego de intervalos de tiempo iguales y se transfieren a vasos separados. (<http://procesaminerales.blogspot.pe/2012/10/cinetica-flotacion.html>)

### **2.2.2.1. Fenómenos eléctricos en la interface mineral-agua.**

Cuando se pone en contacto un mineral finamente molido en un líquido polar como el agua, las regiones interfasiales de las dos fases cambian para ajustarse al nuevo ambiente y a partir de este momento, las propiedades que determinan su comportamiento son las propiedades superficiales determinadas por cada una de las fases presentes: sólida, líquida y gaseosa y las interfaces o intercaras generadas entre las fases. Entre estas propiedades superficiales están la carga superficial y el potencial eléctrico generado en la interface, es decir, se establece una doble capa eléctrica en la interface mineral-agua (más claramente, mineral-pulpa) la cual balancea la carga eléctrica global en el sistema. Esta afecta al comportamiento de la superficie mineral y su interacción con los reactivos químicos, un factor que es crucial en procesos de separación químico-superficial. (Cyanamid, 1986)

### 2.2.2.2. Esquema idealizado de la capa eléctrica doble.



**Fig. N°04: Capa eléctrica.**

**Fuente:** Abarca, 2011

### 2.2.2.3. Iones determinantes de potencial.

Generalmente, unos conjuntos de iones pueden ser identificados como determinantes de potencial, los primeros responsables por la carga superficial. Estos iones se denominan iones determinantes de potencial.

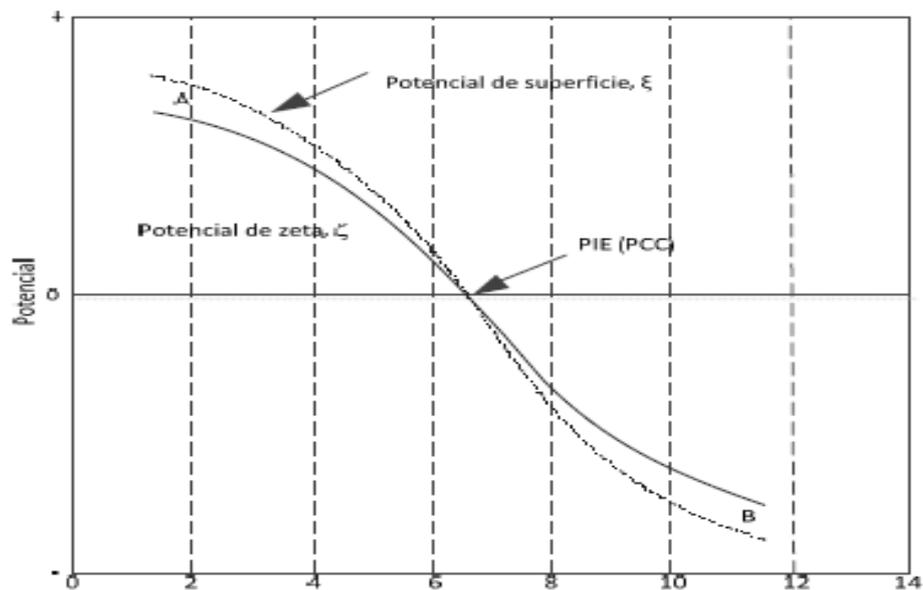
- 1) Son considerados como iones determinantes de potencial, tal como el caso del AgI, donde los iones determinantes de potencial son  $Ag^+$  e  $I^-$ . (Abarca, 2011)
- 2) En el caso de los minerales tipo óxidos, los iones determinantes de potencial son  $H^+$  y  $OH^-$ . (Abarca, 2011)
- 3) Para sólidos, del tipo "salt type", tales como, calcita,  $CaCO_3$ , los iones determinantes de potencial son  $Ca^{2+}$  y  $CO_3^{2-}$ , y también  $H^+$ ,  $OH^-$  y  $HCO_3^-$ . En

el caso de sólidos iónicos, tales como,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{AgI}$  y  $\text{Ag}_2\text{S}$ , los iones de la red cristalina. (Abarca, 2011)

- 4) En el caso de los minerales tipo silicatos, tales como arcillas y las micas, los cuales tienen estructuras de capas, son cargados negativamente en la mayoría de las condiciones naturales, debido a la sustitución de  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Si}^{4+}$  en la sílica tetraédrica, o,  $\text{Mg}^{2+}$  por  $\text{Al}^{3+}$  en la capa octohedral de la red del cristal. (Abarca, 2011)

#### 2.2.2.4. Puntos de carga cero.

La actividad de los iones determinantes del potencial al que la carga de superficie es igual a cero, se llama el punto de carga cero (PCC) del mineral, que influye directamente en la adsorción de los reactivos sobre la superficie de los minerales. Cuando los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  son determinantes del potencial, el punto de carga cero se expresa en función del pH.



**Fig. N°05: Punto de carga cero (PCC)**

**Fuente:** Abarca, 2011

#### 2.2.2.5. Termodinámica del mejoramiento o interfaces.

La superficie de un mineral desde el punto de vista fisicoquímico se puede caracterizar como:

Superficies escasamente energizadas, y Superficies altamente energizadas.

Esto se debe a que la superficie de un cuerpo cristalino se forma por la ruptura de los cristales de este compuesto, destruyendo cierta cantidad de uniones entre los átomos que lo constituyen. Entendiéndose entonces que cuanto mayores sean las fuerzas que actúan entre los átomos e iones del cristal, tanta más energía se necesita para romperlo y mejor será la instauración de la superficie recién creada, por ende, tanto más energizada. (Abarca, 2011)

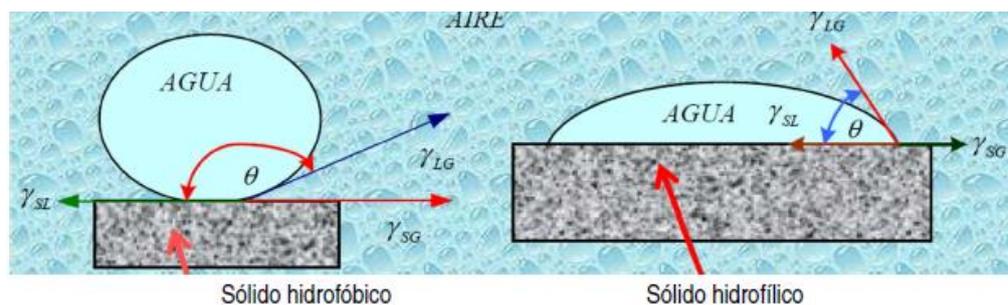
### a) Ángulo de contacto y ecuación de Young.

Thomas Young (1805) propuso tratar el ángulo de contacto de una gota de líquido colocada sobre una superficie sólida plana, como un equilibrio mecánico de las tensiones interfasiales sólido-líquido, sólido-vapor y líquido-vapor. (Astucuri, 1999)

La representación de la encontramos en la Figura N°6

$$\gamma_{s-v} \cos \theta = \gamma_{s-l} - \gamma_{s-g}$$

Esta ecuación puede aplicarse en a la figura siguiente.



**Fig. N°06 Ángulo de adhesión.**

**Fuente:** Abarca, 2011

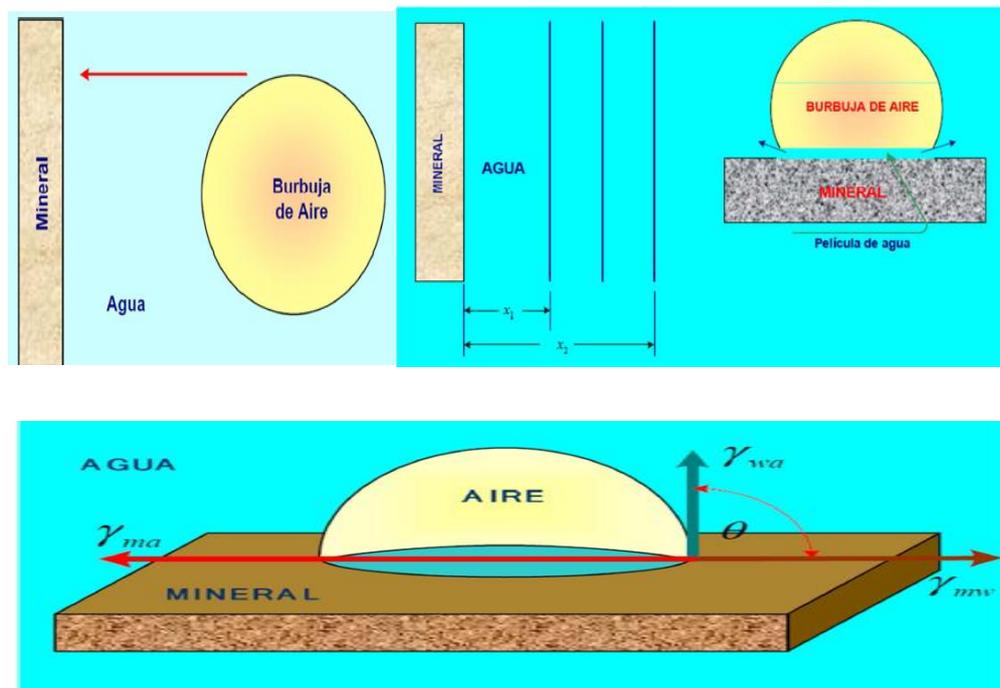
El concepto de ángulo de contacto y su equilibrio es valioso porque da una definición de la noción de mojabilidad e indica los parámetros superficiales que se necesitan medir. (Astucuri, 1999).

Así, se puede definir el ángulo de contacto como el ángulo  $\Theta$  formado por el plano tangente a la interfase líquido-gas y el plano formado por el sólido en un contacto trifásico sólido-líquido-gas. (Astucuri, 1999).

Se tendrá entonces, cuando un líquido moja completamente un sólido, el ángulo de contacto  $\Theta$  será igual a cero. Por otra parte, si el ángulo de contacto  $\Theta > 0^\circ$ , indica mojabilidad parcial y mientras mayor sea dicho ángulo menor será la mojabilidad y consecuentemente mayor el grado de hidrofobicidad. (Astucuri, 1999).

### b) Mecanismo de la mineralización de las burbujas de aire.

La adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire es la base del proceso de flotación de espumas. Esta adhesión se produce mediante dos actos: Primero, las partículas se ponen en contacto con las burbujas de aire que ya se encuentran formadas en la pulpa, que, dicho sea de paso, la función de esta burbuja será adherir el mineral. (Sutulov, 1963)



**Fig. N°07 Mecanismo de adhesión**

**Fuente:** Abarca, 2011

### **2.2.3. Reactivos de flotación.**

#### **2.2.3.1. Importancia de los reactivos de flotación.**

Los reactivos de flotación son sin duda alguna el componente y la variable más importante del proceso debido a que la flotación no se puede efectuar sin ellos. El número de materias de alta flotabilidad natural es tan restringido (grafito, talco, azufre y unos pocos más) y su importancia relativa tan limitada, que no es posible afirmar que la flotación contemporánea se pueda efectuar sin colectores. Por otra parte, hay que recordar que la flotación no se puede efectuar sin espumantes o modificadores del medio. De este modo queda establecido que los reactivos de flotación son absolutamente necesarios para cualquier flotación. (Sutulov, 1963)

Los reactivos al ser añadidos al sistema cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo, la aplicación adecuada de estos reactivos no siempre resulta una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso. En flotación el rendimiento de los reactivos, sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición y constitución mineralógica de la mena. Los reactivos utilizados para el acondicionamiento favorable del proceso, constituyen los llamados Agentes de Flotación. La selección y combinación apropiada de los mismos para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo de la operación. (Abarca, 2011)

#### **2.2.3.2. Clasificación de los reactivos.**

Son tres los grupos principales en los cuales se clasifican hoy los reactivos de flotación. Estos grupos son: Colectores, modificadores y espumantes. (Sutulov, 1963)

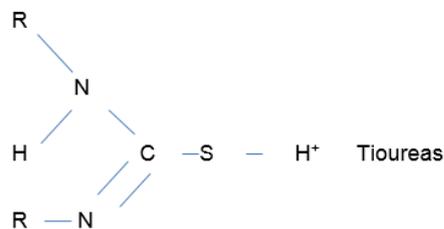
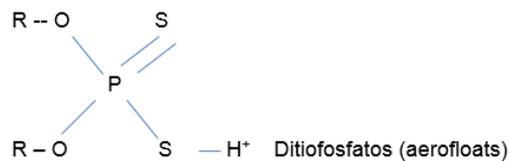
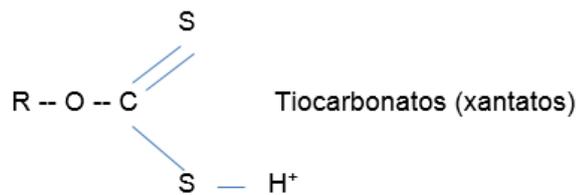
##### **a) Colectores:**

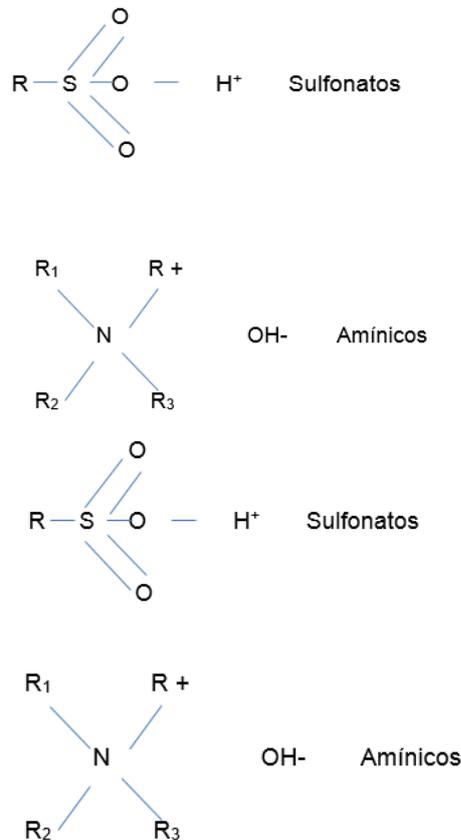
Su función principal es de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de minerales. Los colectores son compuestos orgánicos de carácter heteropolar. Su grupo polar es la parte activa que los une a la superficie de un mineral en base a un mecanismo de adsorción (química-física). (Sutulov, 1963)

Los colectores se distribuyen en dos grupos bastante dispares colectores aniónicos, que representan la gran mayoría de los reactivos y colectores catiónicos representados por un grupo muy reducido. (Sutulov, 1963)

Esta clasificación está basada sobre el criterio formal de si un colector al disociarse en agua, en su parte principal, o sea, el radical con una buena parte del grupo polar, es un catión o un anión. (Sutulov, 1963)

La clasificación anterior, aunque correcta formalmente, no es práctica porque deja casi todos los colectores encerrados en un solo grupo. Se podrían también clasificar según su grupo apolar o su grupo polar. (Sutulov, 1963)





**Fig. N°08 Clasificación de los colectores.**

**Fuente:** (Sutulov, 1963)

**b) Modificadores:**

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. La lista de modificadores o agentes reguladores usados en flotación es variada; y en general, el término regulador, es aplicado a todos aquellos reactivos, los cuales no tienen tareas específicas de colección o exhumación. (Abarca, 2011)

Los modificadores se dividen en varios tipos cada uno de ellos tienen diferentes propiedades, mencionaremos los siguientes.

1. **Depresores:** La función específica de los depresores es disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílica o impidiendo la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarla (inhibe de colección). (Abarca, 2011)
  - **Bisulfito de Sodio  $\text{NaHSO}_3$ :** Es un depresor para sulfuros de zinc y hierro. Se usa en reemplazo del cianuro de sodio particularmente en minerales con contenido de plata, la adición del agente reductor sulfito de sodio o bisulfito de sodio previene la oxidación y por consiguiente, la activación resultante de la esfalerita. (Abarca, 2011)
  - **Sulfato de Zinc  $\text{ZnSO}_4$ :** El  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , son cristales incoloros; es uno de los reactivos reguladores principales de acción depresoras, utilizada para la flotación selectiva de minerales de cobre y plomo de la esfalerita. (Abarca, 2011)
  - **Cianuro de sodio:** Depresor de sulfuro de hierro, pirita, pirrotita, marcasita, arsenopirita, escalerita. En combinación con el sulfato de zinc, deprime calcopirita, enargita, tenantita, bornita. (Abarca, 2011)
  - **Cal:** Deprime sulfuros de hierro, pirita, galena, zinc marmatítico y algunos minerales de cobre. (milpo 400gr/Tm). (Abarca, 2011)
  - **Dicromato de sodio o potasio:** deprime la galena. (Abarca, 2011)
  - **Permanganatos:** Deprime selectivamente la pirrotita y arsenopirita en presencia de pirita, Escalerita. (Abarca, 2011)
  - **Silicato de Sodio:** Depresor de la sílice, coagulación de lamas. (Abarca, 2011)

- **Hidróxido de Sodio:** Deprime Stibnita, iones de sales solubles contenidos en la pulpa. (Abarca, 2011)
- **Ácido Sulfúrico:** Deprime el cuarzo. (Abarca, 2011)
- **Dióxido de Azufre:** Uso conjuntamente con almidón deprime galena de sulfuros de cobre (Abarca, 2011)
- **Quebracho y ácido tánico:** depresión de calcita, dolomita. (Abarca, 2011)
- **Almidón y Goma:** Depresión de mica, talco, azufre. (Abarca, 2011)



**Fig. N°09 Reactivos depresores**

**Fuente.** Abarca, 2011

2. **Activadores o Reactivadores:** Estos aumentan la flotabilidad de ciertos minerales, mejorando o ayudando a la adsorción de un colector. Los reactivos reactivadores, restablece la flotabilidad de un mineral oxidado o que ha sido deprimido La función activante es contraria a la función depresora y los reactivos de este tipo sirven para aumentar la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace entre la superficie y el colector. (Abarca, 2011)

- **Sulfato de Cobre  $\text{CuSO}_4$ :** El  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ , sulfato de cobre con 5 moléculas de agua, forma cristales azules brillantes asimétricos del sistema triclinico con una densidad de 2.28 g/ml. Es un activador de la

esfalerita, también pirita, calcopirita, pirotita, arsenopirita y cuarzo. (Abarca, 2011)

- Bisulfito de Sodio: Mayor 10% controlan efectivamente la activación de zinc Depresor de la escalerita. (Abarca, 2011)
  - Acetato de plomo o nitrato de plomo: Activa la estibina y reactivar sulfuros de cobre previa mente deprimida con cianuro, activador de carbonatos y silicatos. (Abarca, 2011)
  - Sulfuro de Sodio: Activador menas oxidados, efectivas menas de sulfuros de cobre con óxidos superficial. (Abarca, 2011)
  - Sulfuro de Hidrógeno: Deprime oro, Ag y Cu-Fe en separación de molibdenita. (Abarca, 2011)
3. Reguladores de pH: Son los reactivos que controlan la acidez o alcalinidad de la pulpa. Es un reactivo que cambia la concentración del ion hidrógeno de la pulpa, lo cual tiene como propósito incrementar o decrecer la adsorción del colector como se desee salvo raras excepciones, la efectividad de todos los agentes de flotación, depende grandemente de la concentración de hidrógeno o ion hidroxilo en la pulpa. (Abarca, 2011)
- Cal: En la práctica se emplea cal cáustica  $\text{CaO}$  y cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  El hidróxido  $\text{Ca(OH)}_2$  pertenece a las bases fuertes. Con la cal pueden ser obtenidas soluciones acuosas con una concentración del 0.17% en peso a  $25^\circ \text{C}$ . Las soluciones de cal generalmente se denominan agua de cal, lechada de cal. (Abarca, 2011)
4. Floculantes: Reactivos que promueven la formación de coágulos en la pulpa. Superfloc 16, Superfloc 20, Aerofloat 3171, Magnafloc 990. (Abarca, 2011)

5. Reactivos Dispersantes: Son reactivos de variada estructura química que reducen las fuerzas que unen las partículas minerales o incrementan las fuerzas que las repelen. Silicato de sodio, almidón. (Abarca, 2011)
6. Sulfidizante: Proceso por la cual se cambian las propiedades químicas de un mineral hidrofílico, para convertirlo en una sustancia con carácter hidrofóbicas. Sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), sulfuro de bario (BaS). (Abarca, 2011)

**Tabla N°1: Reactivos.**

Reactivos	Exceso	Defecto
<b>ESPUMANTES</b> Aceite de Pino Frother 70 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 Ditiósfatos 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)	Despiifaro, 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>Sulfato de cobre</b> (Reactiva los sulfuros de zinc que han sido deprimidos por el sulfato de zinc)	Se espesan las espumas de los concentrados de zinc, y los concentrados se ensucian con pirita Producen pérdida de sulfuros en el relave Producen carga circulante innecesaria	No se reactivan completamente los sulfuros de zinc que vienen de la flotación bulk. 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

**Fuente. Abarca, 2011**

**c) Espumantes:**

El propósito principal del espumante es la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta que puedan ser removidas de la máquina de flotación. Este objetivo se logra impartiendo cierta dureza temporal a la película que cubre la burbuja. (Abarca, 2011)

Metil isobutil carbinol (MIBC), frother (F-70), Dowfloth (D-50), aceite de pino, el cresol o ácido cresílico. (Abarca, 2011)

Frother 210, Flother 250, Flother 700: Excelente Propiedad selectivas cuando se usa concentración óptima, en flotación diferencia Ag-Pb-Zn, Cu-Pb Ag-Zn, 10 – 70 gr/TM, cantidad en exceso produce efectos adversos. (Abarca, 2011)

Espumantes mejoradas: F-210D, F-250D, F-700D, F-800D, F-900D: Alto selectividad, ausencia de acción colectora y su efectividad en pequeñas concentraciones para minerales sulfurosos (Ag, Pb, Zn, Cu, Au). (Abarca, 2011)

Una vez sacada de la máquina de flotación, la espuma debe disgregarse rápidamente, a fin de evitar interferencias con las etapas posteriores del proceso. (Abarca, 2011)

Una característica primordial es la aptitud para reducir la tensión superficial del agua. También un espumante debe ser efectivo en concentraciones pequeñas y libres de propiedades colectoras. (Abarca, 2011)

### 2.2.3.3. Fórmula de preparación de reactivos.

a) Reactivos secos.

$$\frac{(\text{gr del reactivo/min})(1440 \text{ min/día})}{\text{Toneladas métricas/día}} = \frac{\text{gr de reactivo}}{\text{Toneladas métricas}}$$

b) Reactivos líquidos.

$$\frac{(\text{mL del reactivo/min})(1440 \text{ min/día})}{\text{Toneladas métricas de mineral/día}} = \frac{\text{gr de reactivo}}{\text{Toneladas métricas de mineral}}$$

c) Reactivos en solución

$$\frac{(\text{mL del solución/min})(\text{gr de react.}/\text{Lt. de sol})(1440 \text{ min/día})}{\text{Toneladas métricas de mineral/día (4000)}} = \frac{\text{gr de reactivo}}{\text{Toneladas métricas de mineral}}$$

## 2.2.4. Celdas de flotación.

La flotación de minerales se lleva a cabo en las llamadas celdas o máquinas de flotación, la que ha venido evolucionando en sus formas geométricas, en sus formas de agitación de la pulpa, así como en sus tamaños. La flotación de minerales puede ser analizada en términos de: (Arbiter & Collin, 1962)

- Las propiedades físicas y químicas del mineral, independiente al control del operador.
- Los efectos físicos y químicos del mineral, independiente al control del operador.
- Las características de los equipos de flotación selectiva en términos de ley de concentrado y recuperación. (Arbiter & Collin, 1962)

### 2.2.4.1. Función de las celdas de flotación.

La principal función es distribuir pequeñas burbujas de aire a través de la pulpa de mineral, de modo de asegurar que cada partícula entre en colisión con una burbuja.

En vista que la última etapa de la flotación es la formación y remoción de la espuma mineralizada, algunos procesos que se desarrollan serían: (Astucuri, 1999).

**Tabla N°2: Resumen de Manipuleo de la pulpa, efecto de la flotabilidad y Efecto de separación.**

<b>Manipuleo de la pulpa</b>	<b>Efecto de la flotabilidad</b>	<b>Efecto de separación</b>
-Medio de alimentación. -Sistema de descarga de relave. -Sistema de remoción de espuma.	-Disolución de los reactivos solubles. -Dispersión de los reactivos solubles. -Efecto de atrición en las partículas.	-Suspensión de partículas. -Dispersión y suministro de aire. -Creación de condiciones apropiadas para la permanencia de la partícula de burbuja.

**Fuente:** Astucuri, 1999

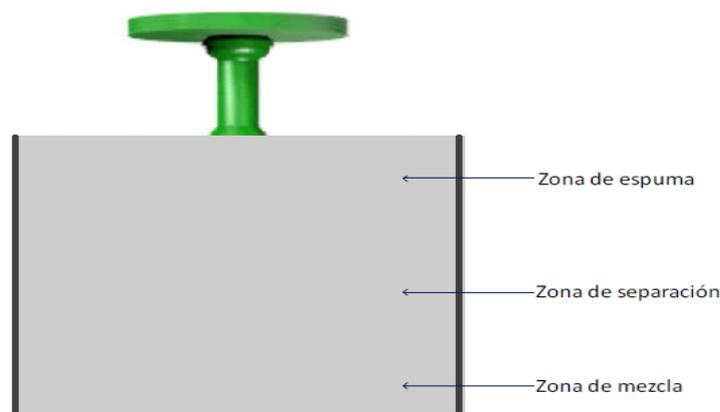
Las celdas de flotación deben desempeñar una amplia variedad de funciones todas al mismo tiempo, ya sea una celda o través de varias celdas (Harris, 1976)

Resumiendo, las funciones de las celdas de flotación más importantes son:

- Mantener en suspensión las partículas de la pulpa que ingresa a la celda de flotación.
- Formar y diseñar pequeñas burbujas de aire por toda la celda.
- Promover los choques entre partículas minerales y las burbujas de aire con el fin de que el conjunto mineral burbuja formado tenga una baja densidad y puede elevarse desde la pulpa a una zona de espumas.
- Mantener condiciones de quietud en la columna de espumas para favorecer su estabilidad. (Harris, 1976)

De acuerdo a lo anterior las celdas de flotación deberán tener zonas específicas:

- Zona de Mezcla: Aquella en la cual las partículas de minerales toman contacto con las burbujas de aire.
- Zona de Separación: En la que las burbujas de aire se condensan una con otra y eliminan partículas indeseables que pudieran haber sido arrastradas por atropamiento u otro motivo.
- Zona de Espumas: En la donde las espumas mineralizados deberán tener estabilidad y ser removidas de la celda conteniendo el concentrado. (Abarca, 2011).



**Fig. N°10 Partes de la separación.**

**Fuente:** Abarca, 2011

### 2.2.4.2. Tipos de celdas de flotación.

Las celdas de flotación comerciales pueden dividirse en cuatro tipos, muy pocas escapan a dicha clasificación. (Astucuri, 1999)

- a. **Mecánicas:** Las más comunes se caracteriza por que la agitación y la dispersión de aire en el interior de la celda lo produce un impulsor. Normalmente se tiene un número de impulsores en serie. Las celdas mecánicas pueden ser de dos tipos: (Astucuri, 1999)

Con flujo de pulpa, o máquinas “celda a celda”, las cuales tienen esclusas entre impulsores. No son máquinas de flujo abierto. (Astucuri, 1999)

Aireadas, las celdas “supercargadas” reciben aire de un soplador, “las aireadas así misma” usan la depresión causada por el depresor. (Astucuri, 1999)

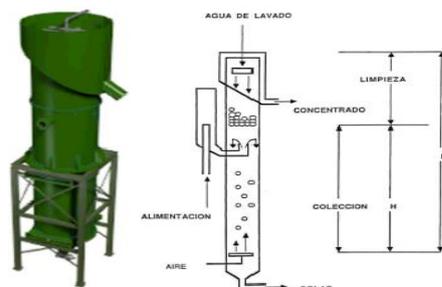
- b. **Neumáticas:** Las celdas no tienen impulsor y se airea y agita la pulpa por la acción de aire comprimido alimentada desde el exterior. (Astucuri, 1999)

- c. **Separadores de espuma:** En estas máquinas la alimentación de la pulpa es por la parte superior, sobre la capa de espuma y no en la zona de la pulpa. (Astucuri, 1999)

- d. **Columnas:** El principio fundamental de las celdas columna es el flujo en contracorriente de las burbujas de aire y la pulpa o de la pulpa y el agua de lavado. (Astucuri, 1999)



**Celda mecánica**

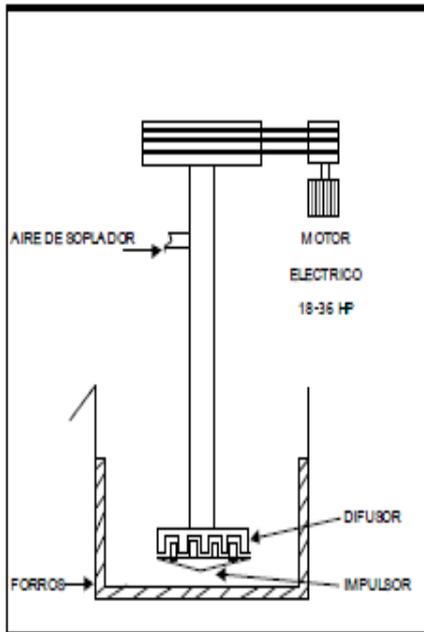


**Celda columna**

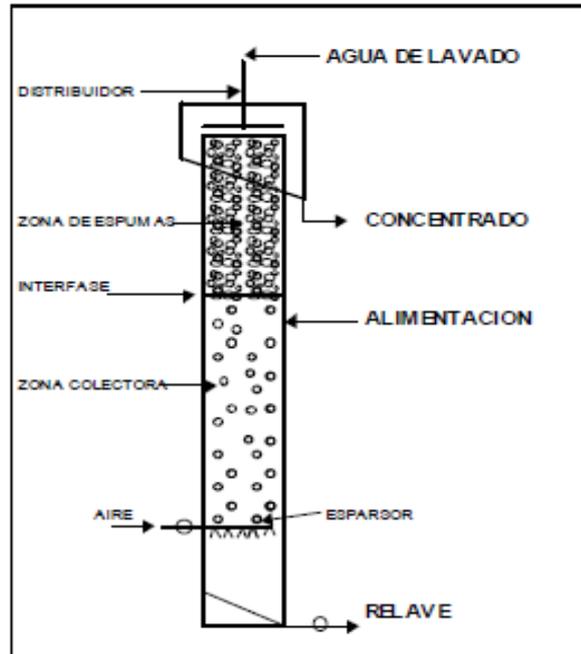
**Fig. N°11 Celda mecánica y celda columna.**

**Fuente:** Abarca, 2011

### PARTES DE UNA CELDA CONVENCIONAL



### PARTES DE UNA CELDA COLUMNA



**Fig. N°12 Celda mecánica y celda columna.**

**Fuente:** Abarca, 2011

#### 2.2.4.3. Circuitos de flotación:

Generalmente no es posible recuperar el mineral valioso y eliminar la ganga en forma simultánea en un solo paso, por lo que se adoptan circuitos para el tratamiento de los minerales. Circuito, es el término que se emplea para expresar los caminos que siguen las corrientes de flujo principal de la pulpa que se va empobreciendo y la de los géneros que se van concentrando con objeto de aumentar la diferencia de valor entre ellos. Todos los circuitos de flotación pueden referirse a los siguientes tipos de circuitos de flotación. (Abarca, 2011)

##### a) Circuitos Simples:

Son aquellos que en su operación sólo necesitan de la flotación para lograr la separación de los minerales valiosos, para lo cual se pueden establecer varias etapas de flotación. (Sutulov, 1963)

### **b) Circuitos Complejos:**

Son aquellos correspondientes a otras formas de operación que necesita la flotación y otros procedimientos diferentes, tales como remolienda; deslamado, precipitación, etc. para lograr la separación de los compuestos valiosos de la ganga.

La selección del tipo de circuito de flotación depende, principalmente, de la característica de disseminación del mineral valioso en la mena y la capacidad del conjunto a aglomerarse durante la trituración. (Sutulov, 1963)

### **c) Circuitos de acuerdo a la heterogeneidad del material:**

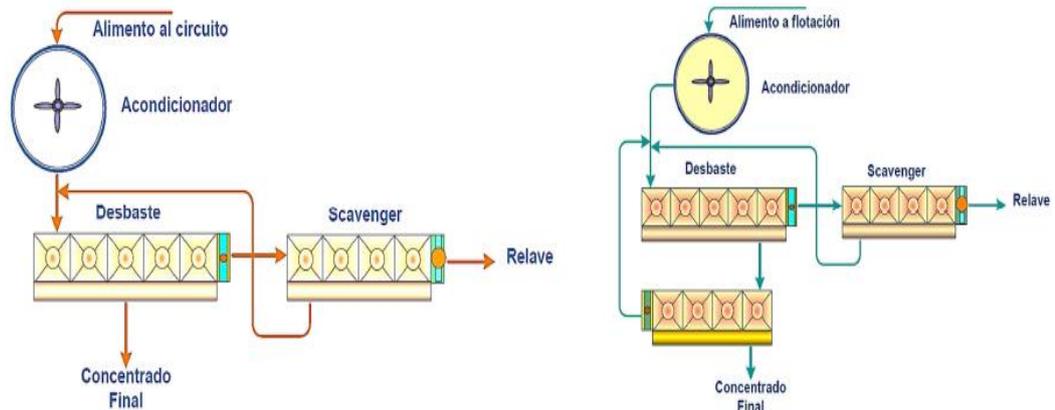
Los circuitos de flotación pueden ser de un solo producto valioso o de múltiples productos valiosos, los de un solo producto son adoptados para las menas mono metálicas y los circuitos multiproductos generalmente se adoptan para menas polimetálicas. (Abarca, 2011)

Las etapas de flotación que se adoptan dentro de los circuitos son:

La etapa Rougher o etapa de flotación de desbaste, en esta etapa se recupera una alta proporción de las partículas valiosas aún a costa de la selectividad. El concentrado Rougher no es un concentrado final y deberá pasar por una limpieza. (Abarca, 2011)

Etapas de flotación cleaner o flotación de limpieza, que tiene la finalidad de obtener un concentrado de alta ley aún a costa de una baja en la recuperación. Las colas de la etapa rougher generalmente todavía contienen una proporción recuperable del mineral valioso, por lo que a este flujo se le somete generalmente a un agotamiento. (Abarca, 2011)

Flotación Scavenger o flotación de agotamiento, esta etapa es la que recoge la última parte recuperable del mineral valioso, las colas de esta etapa son el relave final. Las colas de la etapa cleaner y el concentrado de la etapa Scavenger son bombeados a la alimentación de la etapa rougher. (Abarca, 2011)



**Fig. N°13 Circuito de flotación simple.**

**Fuente:** (Abarca, 2011)

#### 2.2.4.4. Criterios para seleccionar una celda de flotación:

Idealmente las celdas de flotación podrían seleccionarse para optimizar performances metalúrgicas al mínimo costo, tanto al costo de capital o la inversión como costo de operación. Complica su selección el hecho que la misma celda de flotación, se supone diseñada para separar minerales valiosos de menas de la más variada característica. Algunos criterios generales son los siguientes: (Astucuri, 1999)

##### a. La selección de la celda podría depender del tipo de flotación a ejecutarse.

Las funciones críticas de las celdas de flotación incluyen: la suspensión de la partícula y el transporte de la pulpa a través del circuito, la aireación de la pulpa, generar un gran número de choques entre las partículas y las burbujas para facilitar un enlace selectivo, remover las espumas. Para lograr estas funciones muchas celdas generan una zona de mezcla de muy baja turbulencia y aún mantienen una relativa quietud en la zona inmediatamente debajo de la columna de espuma. (Astucuri, 1999)

Para flotar partículas muy gruesas o partículas de alta densidad o ambas, a menudo se requieren de altas densidades de pulpa para proveer una baja velocidad de sedimentación de las partículas y aliviar los problemas de arenamiento. (Astucuri, 1999)

La aireación también es críticamente importante. Bajas proporciones de aireación, son relativamente suficientes para flotar menas de baja ley, como es el caso típico de muchas menas sulfuradas. Esto probablemente es una razón para el buen éxito de las celdas Maxwell para la flotación primaria de sulfuros. (Astucuri, 1999)

**b. Los costos de capital y los de operación son importantes.**

A menudo, ofertas muy bajas consiguen contratos de abastecimiento para celdas de flotación, pero esta práctica no siempre debe seguirse. La optimización de la performance metalúrgica es lejos, más importante que la vida de la planta.

En los últimos tiempos se han generado muchos paneles de discusión donde han participado varios usuarios y fabricantes de celdas para enfocar el tema de la operación de las máquinas de flotación. (Astucuri, 1999)

**c. Otros factores.**

Aspectos tales como la competencia y la calidad del servicio disponible en la localidad, la disponibilidad de repuestos, experiencia previa de los ingenieros de diseño y de los metalurgistas con equipo similar y las relaciones que se sostengan con los fabricantes de equipo puede afectar la selección de las celdas de flotación. (Astucuri, 1999)

#### 2.2.4.5. Balance y recuperación en la flotación:



**Fig. N° 14 Balance circuito de flotación.**

**Fuente:** Abarca, 2011

#### 2.2.5. Variables del proceso de flotación.

La flotación es un proceso de múltiples variables, cuya definición y descripción cuantitativa requiere todavía muchos estudios y la aclaración de distintos detalles. De este modo es conveniente señalar que actualmente tenemos conocimientos solamente de una parte de las variables. (Sutulov, 1963)

Las variables se clasifican según su origen, o sea, según las etapas que las originan.

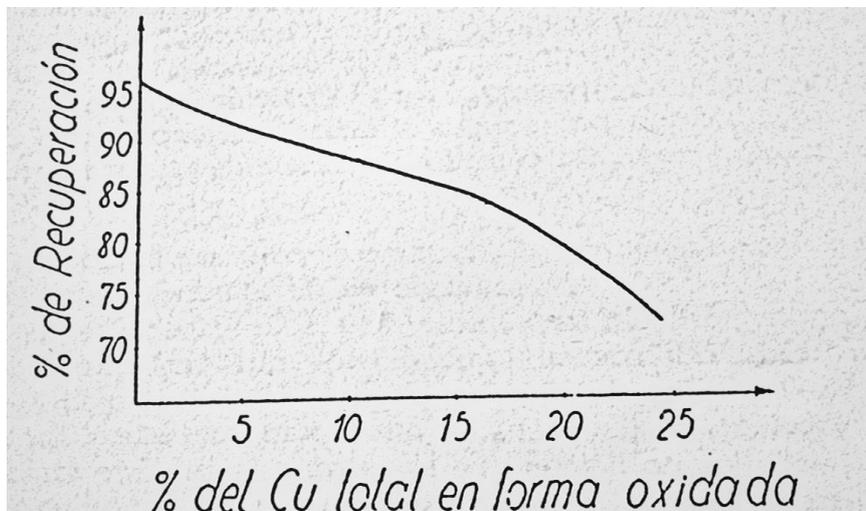
En primer lugar, hay que considerar un grupo de variables que corresponden a la naturaleza de la mena misma. La forma mineralógica del mineral, su asociación con otros componentes, la presencia de impurezas, su disseminación, su pH natural, procesos secundarios, como oxidación y otros factores que determinan el comportamiento del mineral en un circuito de flotación. (Wark, 1955)

A continuación, trataremos de analizar las variables según su orden cronológico e importancia que se les atribuye.

**Factor mineral:** Para una flotación es de primordial importancia la naturaleza del mineral y de sus acompañantes, o sea, de la mena misma. Aquí cuentan la composición química de los minerales útiles y de la ganga, su disseminación, dureza,

fenómenos secundarios de oxidación y meteorización; impurezas que acompañan las menas finalmente los antecedentes geológicos del yacimiento y su método de explotación. (Sutulov, 1963)

La figura 14 nos demuestra la dependencia de la recuperación de cobre de un mineral parcialmente oxidado del porcentaje de óxidos presentes en la mezcla, los sulfuros puros flotan con un rendimiento de más o menos 95% que empieza a decaer a medida que se oxidan por un proceso secundario. (Sutulov, 1963)



**Fig. N°15 Recuperación de sulfuros de cobre en función de su oxidación.**

**Fuente:** Sutulov, 1963

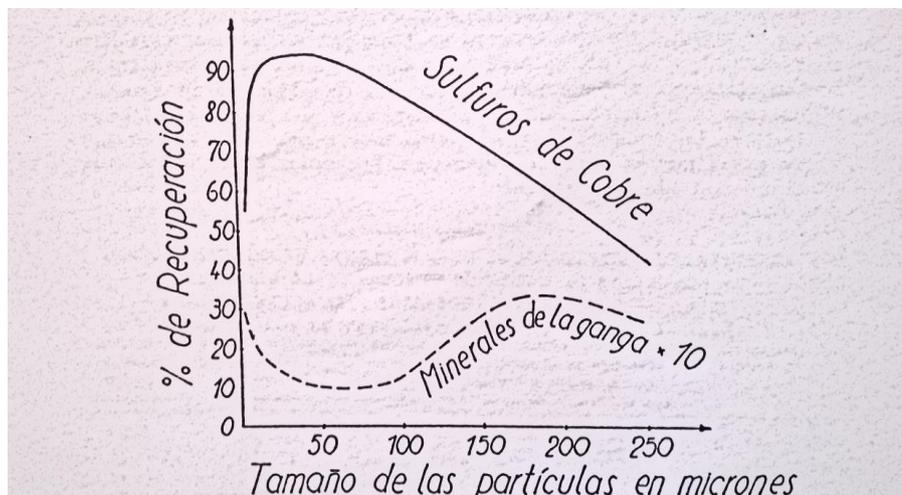
Muchos minerales que son recuperables por flotación están acompañados por gangas secundarias descompuestas como son, por ejemplo, la caolina o clorita. Estos acompañantes, en los circuitos de molienda se desintegran hasta tamaños micrónicos y forman unas lamas secundarias que pueden perjudicar seriamente el proceso de flotación. (Wark, 1955)

**Factor granulométrico:** Todo mineral para ser flotado tiene que ser reducido en su tamaño hasta tal punto que cada partícula represente una sola especie mineralógica, además su tamaño debe ser apropiado para que las burbujas de aire las puedan llenar hasta la superficie de las celdas de flotación. (Wark, 1955)

En la flotación de minerales metálicos las partículas son más pequeñas que en las de los minerales no metálicos. Sin embargo, el tamaño máximo conveniente para

la flotación se considera alrededor de 48 mallas, o sea, cerca de 0.3 m.m. (Wark, 1955)

El problema de la liberación de las partículas minerales para su flotación satisfactoria crea otro problema serio que es el de la sobremolienda. Las especies mineralógicas dentro de una mena no son de la misma dureza. Esto significa que en el proceso de reducción de tamaño las especies más blandas se desintegran en mayor proporción que las duras. (Sutulov, 1963)



**Fig. N°16 Recuperación del mineral en función de su tamaño granular.**

**Fuente:** Sutulov, 1963

**Influencia de las Lamas:** El problema de las lamas finas y el perjuicio que causan en el proceso de flotación se puede comparar sólo con el problema de la oxidación y en ambos casos el progreso hecho para solucionarlos es mínimo. (Sutulov, 1963)

El daño del material lamoso es de carácter doble: 1) las partículas de diámetro pequeño flotan mal, y 2) las lamas perjudican la flotación de las partículas de tamaño adecuado. Cuando hablamos del efecto dañino de las lamas, no nos referimos solamente a la menor flotabilidad de las partículas útiles de diámetros muy pequeños, sino que también a los perjuicios que las lamas causan a la flotación en general. (Sutulov, 1963)

Una consecuencia del pequeño tamaño de las partículas es el aumento desproporcionado del mineral. En primer lugar, esto significa un considerable aumento de la adsorción y consumo de reactivos de flotación; en segundo lugar,

significa una mayor solubilidad del mineral y exposiciones excesivas a fenómenos secundarios; finalmente, la gran dispersión de la materia se manifiesta en fenómenos como el aumento de la viscosidad de la pulpa, recubrimiento de la espuma con una película estable, etc. (Sutulov, 1963)

**Factor densidad de la pulpa:** La pulpa que llega al circuito de flotación generalmente es el rebalse de un clasificador que ha separado las partículas liberadas de las no liberadas de un circuito de molienda. (Sutulov, 1963)

La densidad de la pulpa en un proceso de flotación depende de varios factores. En primer lugar, influye el tamaño granulométrico del rebalse.

El porcentaje de sólidos que se empleará en un circuito de flotación, naturalmente, dependerá también de la disponibilidad del agua. Hay que tener presente que la mayoría de las minas están ubicadas en desiertos o en zonas montañosas con serias dificultades de abastecimiento de agua. En consecuencia, se tratará de trabajar con el mínimo posible de agua, aunque sacrificando con este, dentro de límites razonables, la granulometría del rebalse y las recuperaciones. (Sutulov, 1963)

En general lo que interesa a un metalurgista, es el efecto de la densidad de la pulpa sobre las recuperaciones. En este sentido es interesante analizar la relación entre los factores cinéticos de la expresión de García, considerado que: (Sutulov, 1963)

$$\ln = \frac{1}{1-R} = Kt$$

Resulta que: 
$$\frac{d \ln \frac{1}{1-R}}{dt} = t$$

Lo que significa que el proceso de flotación no depende de la cantidad del mineral flotado. Esto equivale a afirmar que los resultados de la flotación no dependen de la densidad de la pulpa. (Sutulov, 1963)

**Factor agua:** En el proceso de flotación cada tonelada de mineral consume entre 2.5 y 3 toneladas de agua.

Este enorme consumo de agua industrial lo hace un factor de primordial importancia y magnitud, porque no es solo el medio donde se realiza el proceso, sino la causa de muchos problemas metalúrgicos. (Sutulov, 1963)

En las flotaciones de minerales oxidados o no metálicos el problema de la dureza del agua puede también presentar serias dificultades, porque los iones de calcio y magnesio en estas flotaciones son de considerable importancia. Por ejemplo, la flotación selectiva de la schelita y andradita es imposible en un agua dura y el topacio no flota en aguas que contienen solo 1mg/Lt de calcio. (Sutulov, 1963)

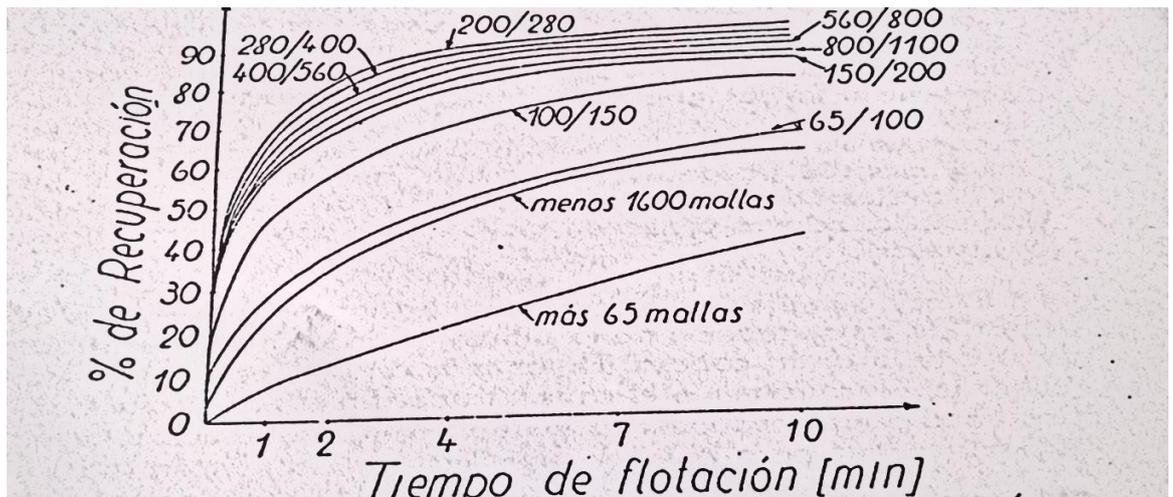
En general, es imprescindible que el factor agua sea considerado en las investigaciones que preceden a la instalación de una planta. Una de las causas de la instalación de plantas piloto en el lugar de la construcción de la futura planta industrial es, precisamente, la utilización del agua disponible en un proceso continuo. (Sutulov, 1963)

**Factor tiempo:** La flotación consta esencialmente de las siguientes etapas: 1) Adsorción de los reactivos sobre las superficies minerales; 2) Encuentro de las partículas preparadas con las burbujas de aire, también previamente preparadas.

Los reactivos que se distribuyen en la pulpa y se adsorben rápidamente o en forma instantánea se agregan inmediatamente antes de la flotación, y a veces, en la primera celda de flotación. Los reactivos que se consumen rápidamente y cuya acción se debilita con el tiempo debido a su descomposición o a cualquier otra causa, se agregan en las diversas etapas del proceso, según las necesidades. (Sutulov, 1963)

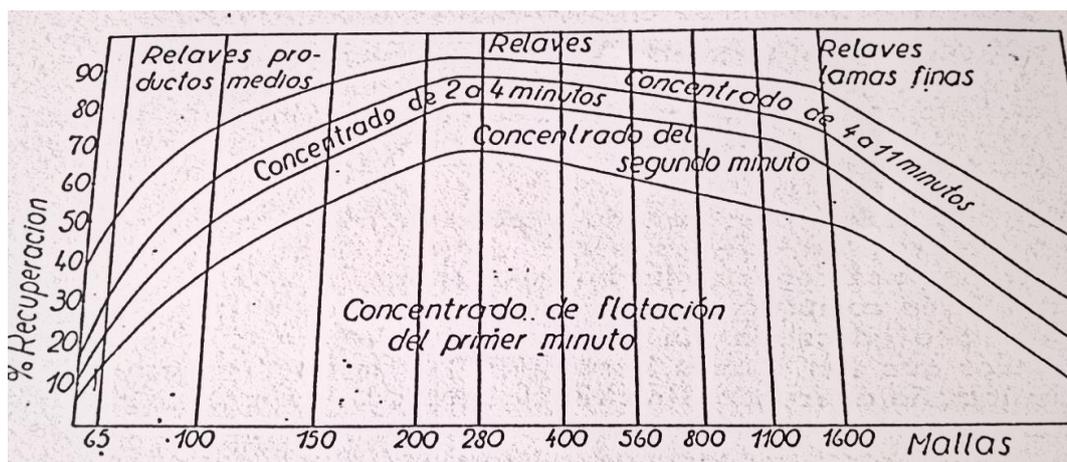
En una pulpa bien agitada y adecuadamente aireada no hay problemas para las partículas recubiertas con un colector apropiado se peguen a las burbujas en forma instantánea, siempre que estén completamente liberadas y sean de un tamaño granulométrico adecuado. (Sutulov, 1963)

Las figuras 16 y 17 ilustran la dinámica de la flotación recién descrita. En la figura 16 se señala la relación que existe entre la recuperación de un mineral de cobre y su tamaño granulométrico en función del tiempo y en la figura 17 las abscisas representan el porcentaje que corresponden a cada malla y las ordenadas el porcentaje de cada una de estas mallas. (Sutulov, 1963)



**Fig. N°17 Flotación de minerales de cobre según el tamaño granulométrico de las partículas en función del tiempo.**

Fuente: Sutulov, 1963



**Fig. N°18 Flotación de minerales de cobre en concentrado primario de acuerdo con el tamaño granulométrico en función del tiempo.**

Fuente: Sutulov, 1963

## 2.2.6. Flotación de sulfuros metálicos.

### 2.2.6.1. Importancia de los sulfuros.

Una parte de los minerales metálicos se encuentra en forma de sulfuros que son fuente importantísima de una serie de metales no ferrosos, tales como cobre, zinc, plomo, níquel, cobalto, molibdeno y otros. El proceso de flotación fue

precisamente descubierto y aplicado en forma industrial por primera vez con este grupo de minerales. (Sutulov, 1963).

Un problema de gran envergadura en la flotación de los sulfuros es la influencia de la oxidación sobre su flotabilidad. Esta oxidación produce óxidos, sulfatos y carbonatos sobre la superficie de los sulfuros, primero en forma de partículas finas y, posteriormente, de grosor considerable que se consumen y transforman en minerales oxidados. (Sutulov, 1963).

#### **2.2.6.2. Problemas de automatización:**

El problema de la automatización o mecanismo de las operaciones de beneficio de minerales y de flotación en partículas, es un problema antiguo, al que no se ha presentado hasta ahora una suficiente atención, por lo cual su progreso ha sido lento. Basta comparar la automatización de las industrias químicas y minerales en las últimas dos o tres décadas para poder darse cuenta del atraso de las segundas respecto a las primeras en este campo. (Abarca, 2011).

En la flotación se está lejos de una automatización completa, no solo por su gran número de variables sino también porque hay muchas que se desconocen o no se pueden controlar. Además, la automatización como cualquier otra operación tecnológica tiene que justificarse económicamente. (Abarca, 2011).

#### **2.2.6.3. Oxidación y flotabilidad de los sulfuros.**

Hace ya muchos años investigadores tales como Taggarl, Gaudin, Southerland y Wark se dieron cuenta de la importancia fundamental que el oxígeno tiene en la flotabilidad de sulfuros y en el mecanismo de fijación de los colectores sobre su superficie. (Abarca, 2011).

Glembotsky estudió la dependencia entre el tiempo necesario para que una partícula de un sulfuro forme la unión con una burbuja de aire y el tiempo de contacto entre la partícula y el agua. Como es lógico, la unión va a ser más rápida mientras más hidrofóbica es la partícula y viceversa y construyó un aparato electrónico con el que podía medir con gran precisión el tiempo que se realizaba la unión entre la partícula y la burbuja (tiempo de inducción) y que a veces no alcanzaba ni a algunas milésimas de segundo. (Sutulov, 1963)

#### 2.2.6.4. Flotación de los minerales sulfuros.

##### a) Oro Plata.

En la flotación de oro y plata se realiza cuando está asociado a minerales sulfurados refractarios donde se realiza una pre concentración como pirita aurífera en ello puede estar constituida por pirita, arsenopirita, pirotita y asociados, la flotación se realiza en pH ácido y neutro. (Abarca, 2011)

##### b) Plomo-Zinc

Los principales minerales son la galena PbS y la esfalerita o blenda ZnS. Otras especies: wurtzita, marmatita y formas oxidadas. Depósitos conteniendo galena finamente cristalizada en general contienen oro y plata disueltos, actuando como núcleos de cristalización. Metales preciosos pueden aún estar disueltos en otros sulfuros, por ejemplo, a pirita, o estar presente en los contornos de los granos. Los principales minerales de ganga son pirita (sulfuros), dolomita y calcita (básicos) y, cuarzo y silicatos (ácidos). (Abarca, 2011)

Las menas tratadas presentan en general una ley combinada de plomo y zinc de 3% a 20%. El procedimiento padrón es flotar secuencialmente el plomo y el zinc, a pesar de existir por lo menos un ejemplo de flotación “bulk”, seguida

##### 2.2.6.4.3. Plomo-Zinc-Fierro

En estos sistemas se emplea la flotación diferencial siendo los sulfuros de fierro los últimos a flotarse. En algunos casos son producidos concentrados separados de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y pirrotita ( $\text{FeS}_x$ ). (Abarca, 2011)

##### c) Cobre-Plomo-Zinc-Fierro.

Las menas complejas que contienen cobre, plomo, zinc y fierro finamente diseminados están entre los sistemas de más difícil beneficiamiento por flotación, especialmente cuando la oxidación superficial lleva a la disolución de iones cúpricos que activan la esfalerita, disminuyendo la selectividad del proceso. (Abarca, 2011).

El esquema de flotación es semejante a los anteriores, excepto la primera etapa la cual, generalmente, involucra la producción de un concentrado “bulk”

de cobre y plomo, cuya separación puede realizarse deprimiendo tanto uno como otro grupo de sulfuros. Existe por lo menos un ejemplo de producción de un concentrado “bulk” de cobre y zinc, seguido de desactivación y separación entre el cobre y el zinc. (Abarca, 2011)

**d) Cobre.**

Los sulfuros de cobre se dividen en tres tipos: a) sulfuros puros (calcosita y covelina); b) sulfuros de cobre y hierro (calcopirita y bornita); y c) sulfuros complejos (enargita, estanita y tetrahedrita). Es común la presencia de trazas de cobre nativo, siendo poco común su ocurrencia en cantidades significativas. Los sulfuros de cobre asociados a pirita y pirrotita son los de más difícil flotación, ya que el uso excesivo de depresor para los sulfuros de hierro puede llevar a la depresión de los sulfuros de cobre. (Abarca, 2011)

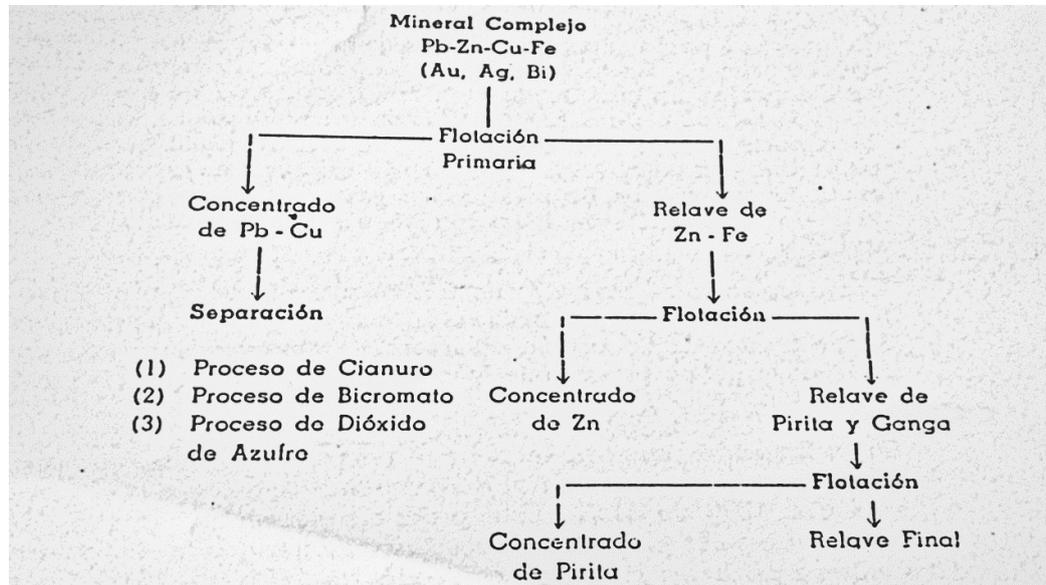
**e) Cobre-Molibdeno.**

La asociación de molibdenita,  $\text{MoS}_2$ , con sulfuros de cobre, especialmente la calcopirita, es bastante común. A pesar de que la molibdenita es uno de los pocos minerales que presenta hidrofobicidad natural, los sistemas industriales de flotación pueden presentar dificultades, tales como: liberación en granulometría muy fina, asociación con sulfuros de hierro (pirita y pirrotita), oxidación superficial de la molibdenita, asociación con otros minerales de hidrofobicidad natural, por ejemplo, grafito y talco. El esquema normal de flotación consiste en la producción de un concentrado “bulk” de Cu-Mo, y posteriormente la separación a través de la depresión de los minerales de cobre. (Abarca, 2011)

**f) Cobre-Níquel.**

La pentlandita,  $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$ , el principal sulfuro de níquel, ocurre en la naturaleza asociada frecuentemente a calcopirita y pirrotita. La llamada pirrotita niquelífera está constituida por diseminación extremadamente fina (del orden de algunos micrones) de pentlandita en una matriz de pirrotita. El tratamiento convencional involucra la producción de un concentrado “bulk”. La separación de pentlandita/calcopirita puede efectuarse tanto por flotación (depresión de pentlandita) como por vía pirometalúrgica. La obtención del concentrado de

pirrotita considera generalmente una combinación de flotación y separación magnética. (Abarca, 2011).



**Fig. N°19 Flotación selectiva de minerales.**

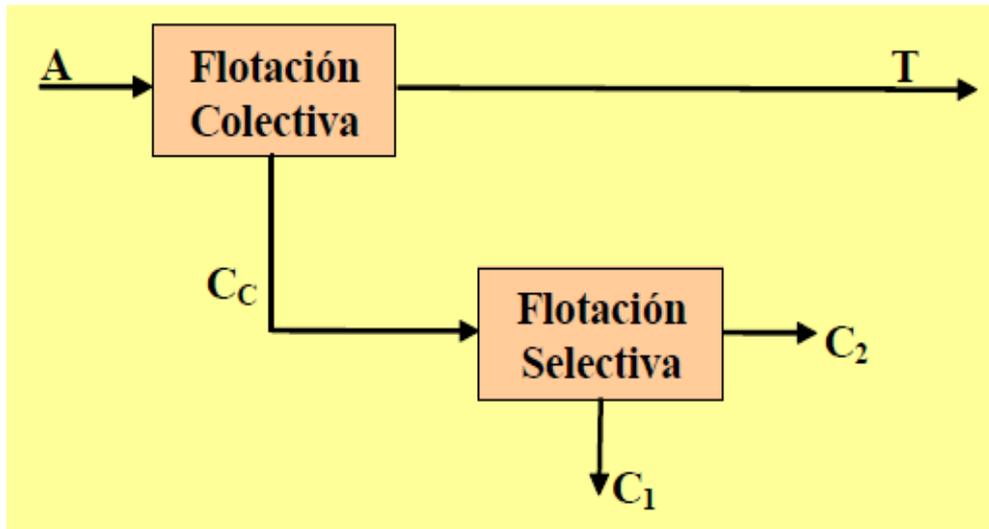
**Fuente: Sutulov, 1963**

### 2.2.7. Flotación Bulk y Flotación Selectiva de Minerales

Flotación bulk o colectiva, en la cual se obtiene en un concentrado todos los minerales valiosos contenidos en la mena y un relave con el material sin valor o ganga.

La flotación selectiva o diferencial se da cuando se tiene más de una especie mineralógica de interés, ya sea que se pretenda obtener diferentes productos comercializables o separar especies contaminantes, es además necesario introducir más de un circuito, con la finalidad de realizar una eficiente separación selectiva. Es habitual en estos casos y por razones obvias de eficiencias técnico económicas, el proceder primero a separar la o las especies más abundantes que normalmente constituyen el relave. Con este fin se procede primero a separar un concentrado colectivo o bulk (en el que se encuentran las especies de interés) del relave. Se habla en este caso de un circuito o planta de flotación colectiva, la que está constituida por las diferentes etapas de flotación. Tras sacar al relave (T) del circuito, el concentrado colectivo (CC) debe ser procesado en una o más plantas de flotación selectiva, constituidas también por diversas etapas, donde esta vez tanto

el concentrado como el relave final de cada una corresponden a un producto ( $C_i$ ) y no a un material sin valor. (Sutulov, 1963)



**Fig. N°20 Flotación selectiva de minerales.**

**Fuente: Sutulov, 1963**

Para una buena flotación selectiva se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar diagramas de flujo adecuados para la obtención de dos o más productos.
- Esquemas para el tratamiento de pórfidos de Cobre –molibdeno considerar el circuito de separación Cu-Mo.
- Esquemas para el tratamiento de Pb / Zn, Cu/Zn, considerar dos etapas rougher; una para el plomo y otra para el zinc, y una etapa para el cleaner
- Para recuperar tres concentrados bastará combinar los esquemas anteriores
- Selección de reactivos químicos que permita la máxima selectividad del proceso, en función de la respuesta de cada mineral a colectores, activadores, espumantes y depresores. (Sutulov, 1963)

### **2.2.8. Minera Occidental 2 De Cajamarca S.R.L**

Esta empresa minera opera el yacimiento minero que está ubicado a 4 kilómetros del pueblo de Chilete, jurisdicción de la provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca, la cual fue explorada y exportada por la empresa Northern Perú Mining

Co, desde el año 1950 al año de 1968 probablemente para obtener Zn, Pb y Ag. (Gallardy, 2005)

El mineral de sulfuros existentes en la actualidad en las canchas de superficie está compuesto principalmente por marmatita, galena que muestran que la mina explotaba Zn, Pb y Ag los tesisistas al haber ingresado a la galería principal de la mina sobre la veta murciélagos, comprobaron que ésta se encuentra empleada en una potente formación de rocas volcánicas andesíticas del Terciario Superior que probablemente súper yacen de las calizas, lutitas y cuarcitas del Cretáceo que se observan a ambos márgenes del río Magdalena subiendo de Pascasmayo antes de llegar a Chilete. La litología existente en la zona conforma una topografía irregular escarpada y fuertemente disectada por torrenteras de lecho seco. (Gallardy, 2005)

La mineralización en la veta murciélagos y en las otras vetas que afloran en la zona presentan oxidaciones y alteraciones vistas en superficie, son de origen hidrotermal, meteórica y de contacto, las vetas de relleno de fracturas con sulfuros podrían ser mesotermales, están representadas por mineralización de Zn, Pb, Ag, en gangas de cuarzo, encerradas en cajas de tipo andesítico. (Gallardy, 2005)

#### **2.2.8.1. Historia.**

La veta Murciélagos que es principal del yacimiento de minerales fue explotada desde la época incaica, y parte de la veta Pacasmayo, esta última se derrumbó, el yacimiento de minerales en el año de 1924 la tomó en oposición de compra la Northern Perú Mining Co. Testimonio del Ing. Hernán Castillo Díaz. Iniciando sus operaciones de explotación, extrayendo minerales sulfurados de plomo, zinc y plata, por el método de shrinkage o de almacenamiento de minerales, esta actividad fue favorecida por la competencia de las cajas andesíticas que encierra las vetas, operación realizada desde el año de 1950 hasta el año 1970. (Gallardy, 2005)

#### **2.2.8.2. Geología.**

Viendo la geología plasmaron la Carta Geológica Nacional, se concluye que, en la zona, sobre la margen izquierda del río Magdalena existe una secuencia de rocas cretáceas con rumbo Este Oeste, de buzamiento 60° Norte, estas son las rocas más antiguas de estudio, ya que las rocas en la zona del yacimiento de

minerales son volcánicas y del Terciario Medio a Superior las que han sido instruidas por las vetas de sulfuro. (Gallardy, 2005)

### 2.2.8.3. Mineralización de las vetas

El yacimiento de minerales de Chilete que ya fue explotado, es típico de relleno de fracturas, con soluciones mineralizantes cristalizadas que se formaron en aguas calientes, por debajo del punto crítico del agua 473° C, las soluciones mineralizantes fueron aportadas por las rocas intrusivas, las que subieron por las fracturas, grietas, planos de fallas y junturas pre existentes, posteriormente se solidificaron formando vetas de cuarzo, pirita, esfalerita, galena, marmatita diseminaciones de calcopirita, el conjunto integra la mena que tiene rendimiento económico, como lo atestigua el de mineral existentes en la actualidad en las canchas de superficie, también se observan minerales de sulfuros, dentro de brecha volcánica que indicaría fuerte dinámica estructural. (Gallardy, 2005)

El cuarzo es muy abundante, se observa en superficie en traza de la veta Pacasmayo, así indicó Hildebrando Terán Vigo indica que las principales vetas son Murciélago, Pacasmayo y Pilancones, en superficie se encuentra mineral de mena que contiene, los siguientes sulfuros (según la observación macroscópica efectuada a simple vista). (Gallardy, 2005)

Pirita ( $\text{Fe S}_2$ ), Se presenta diseminada en vetillas y esporádicos cristales cúbicos. Galena ( $\text{Pb S}$ ), se encuentra distribuido en todos los sulfuros existentes en mineral presente en la superficie, así como en el mineral de las vetas de Huayrapongo, la presencia de galena tipo acerillo en estas vetas. Calcopirita ( $\text{Fe Cu S}$ ) en las muestras de canchas. La arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), baritina ( $\text{BaSO}_4$ ), cálcica y dolomítica ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), se observaron muy raramente en cristales pequeños en las muestras de minerales existentes en superficie. El cuarzo ( $\text{Si O}_2$ ), constituye la ganga más abundante, se encuentra masivo y en bandas dentro de las muestras de mineral, parece que se depositó en toda la fase de mineralización de las vetas, el yeso existe sobre las canchas en forma de sales y cristalitos, ello implica que toda la mineralización existente en la zona la contiene. (Gallardy, 2005)

### 2.3. Definición de términos básicos

**Adhesión:** Es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Adhesi%C3%B3n>)

**Cabeza:** Es el mineral bruto que se alimenta a la planta de tratamiento o beneficio. <http://www.elmundo.es/diccionarios/>

**Catálisis:** Es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador y las que desactivan la catálisis son denominados inhibidores. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis>)

**Clivaje:** Propiedad de varios minerales con capacidad de separarlos fácilmente a lo largo de planos cristalográficos. <http://www.elmundo.es/diccionarios/>

**Concentrado:** Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Concentrado Bulk:** Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Disolución acuosa:** Se refiere cuando el mayor porcentaje de un disolvente se encuentra compuesto por agua, que dadas sus características este es muy polar gracias a su consistencia forma puentes de hidrógeno muy fuertes, dadas las características que tiene el agua se la usa para disolver innumerables sustancias, por la que en este ámbito se la conoce como el disolvente universal. Como dato el cloruro de sodio es uno de los elementos que más fácilmente se vuelve soluble con el agua, mientras que en el lado opuesto se encuentran los metales insolubles. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Dureza:** Resistencia de un mineral a la destrucción mecánica de su estructura; en la práctica, se dice que un mineral es más duro que otro si raya a este último. Esta resistencia depende de la dirección por la que discurra la raya, ya que es una propiedad muy relacionada con la estructura. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Flotabilidad natural:** Acción que se produce cuando la densidad de los elementos sólidos o líquidos son menores que las del agua. (Astucuri, 1999)

**Flotación:** Proceso de concentración mediante el cual las partículas de un mineral son inducidas a adherirse a las burbujas creadas por un agente espumante presente en la pulpa, que las hace flotar. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Ganga:** Esta constituida casi siempre por especies minerales terrosas o pétreas, principalmente cuarzo. La ganga también puede estar constituida por ciertos minerales metálicos sin valor como la Pirita, etc. y otros que son perjudiciales, como la Arsenopirita, Rejalgar, Oropimente, Estibina, etc. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Gravedad específica:** Peso relativo de un mineral comparado con el peso de un volumen igual de agua. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Hidrólisis:** Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3lisis>)

**Ley:** La Ley indica el grado de pureza que tiene el producto o el mineral, Ejemplo: Mineral de cabeza con 5% de plomo. Ley: 5% de plomo, Concentrado de plomo con 60% de plomo. Ley: 60% de plomo y Relave final con 0.7 % de plomo. Ley: 0.7% de plomo. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Mena:** Está constituida por especies mineralógicas valiosas y cuyo aprovechamiento constituye el motivo fundamental de la explotación minera. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Mineral:** En minería mineral, es el producto de la explotación de una mina, ya sea que este producto tenga o no valor comercial. El mineral está constituido por la mena (parte valiosa) y la ganga (parte estéril o inservible). (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Mineralogía:** Ciencia que estudia los minerales. La manera en que se combinan, cristalizan, presentan y distribuyen estos compuestos, sus diversas características físicas y químicas, su origen y su distribución en la corteza terrestre. Está ligada a la geología (que estudia los procesos físicos que determinaron la formación de la Tierra). (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Mixtos o Intermedios:** Son productos intermedios sobre el que no se ha podido realizar una buena separación de la mena y la ganga y que necesariamente debe ser sometido a un tratamiento adicional. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Molienda:** Operación de reducción de tamaño de un mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Molino de bolas:** Cilindro metálico cuyas paredes están reforzadas con material fabricado en aleaciones de acero al manganeso. Estas molduras van apernadas al casco del molino y se sustituyen cuando se gastan. El molino gira y la molienda se realiza por efecto de las bolas de acero al cromo o manganeso que, al girar con el molino, son retenidas por las ondulaciones de las molduras a una altura determinada, desde donde caen y pulverizan por efecto del impacto, el material mineralizado mezclado con agua. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Oxidación:** Es un proceso químico que produce la transformación de un cuerpo como consecuencia de la acción de oxígeno o de un oxidante, que es aquel elemento o material que oxida. (<http://www.definicionabc.com/ciencia/oxidacion.php>)

**pH:** Potencial de hidrógeno. Es un número que indica la concentración de iones hidrógeno de una disolución. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Reacción química:** Una reacción química es un proceso mediante el cual distintas sustancias cambian su composición formando sustancias nuevas (<http://definicion.mx/reaccion-quimica/>)

**Relave:** Es la parte sin valor que sale del tratamiento, está constituido fundamentalmente por ganga y lleva consigo algo de mena. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

**Tensión superficial:** Magnitud igual a la relación entre la energía necesaria para aumentar la superficie libre de un líquido y el aumento del área de esa superficie. (<http://www.elmundo.es/diccionarios/>)

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404, incrementa la recuperación de plomo y zinc por flotación selectiva de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

### 3.2. Operacionalización de variables

Variables independientes: Dosificación de los Colectores AP-3418  
Dosificación de los Colectores AR-404.

Variable dependiente: Recuperación de Pb.  
Recuperación de Zn.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMEN-SIONES	INDICADORES
VI: Colector AP-3418	Promotor AEROPHINE 3418 es un colector único, basado en fosfina originalmente desarrollado para la flotación de cobre, plomo y zinc activado y ahora reconocido por sus "propiedades selectivas en minerales de sulfuro complejos polimetálicos y masivas." ( <a href="http://www.cyttec.com/">http://www.cyttec.com/</a> )	Ayuda a mutar la condición del mineral hidrófila a hidrófobas. Provee hidrofobicidad a la superficie del mineral la cual permite al mineral unirse a una fase gaseosa, en forma de una burbuja (Taggart, 2000)	0	gr/TM
			10	gr/TM
			20	gr/TM
VI: Colector AR-404	Este colector es responsable para flotar metales preciosos en circuitos ácidos. Excelente colector para la pirita y pirita aurífera en circuitos ácidos y neutros ( <a href="http://www.cyttec.com/">http://www.cyttec.com/</a> )	Ayuda a mutar la condición del mineral hidrófila a hidrófobas. Provee hidrofobicidad a la superficie del mineral la cual permite al mineral unirse a una fase gaseosa, en forma de una	0	gr/TM
			10	gr/TM
			40	gr/TM

		burbuja (Taggart, 2000)		
VD: Recuperación de Pb	El porcentaje de Pb en el mineral que se recupera por medio de un tratamiento metalúrgico. ( <a href="http://www.southernperu.com/">http://www.southernperu.com/</a> ).	La recuperación de Pb es una variable dependiente cuantitativa de medición directa en % a través de análisis químico.	Recuperación	%
VD: Recuperación de Zn	El porcentaje de Zn en el mineral que se recupera por medio de un tratamiento metalúrgico. ( <a href="http://www.southernperu.com/">http://www.southernperu.com/</a> ).	La recuperación de Zn es una variable dependiente cuantitativa de medición directa en % a través de análisis químico.	Recuperación	%

## **CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **4.1. Tipo de diseño de investigación.**

Exploratorio

### **4.2. Material.**

#### **4.2.1. Unidad de estudio.**

Las pruebas de esta investigación se enfocan principalmente en la recuperación de Pb y Zn por flotación selectiva con la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 en un mineral polimetálico. Dichas muestras son tomadas desde el stock de mina del nivel 2 de la veta Murciélagos de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

#### **4.2.2. Población.**

Las formaciones rocosas forman parte de las rocas volcánicas andesíticas del terciario superior a las que súper yacen a calizas y lutitas, composición por Pirita ( $\text{Fe S}_2$ ), Se presenta diseminada en vetillas y esporádicos cristales cúbicos. 20% de Galena ( $\text{Pb S}$ ), se encuentra distribuido en todos los sulfuros existentes en mineral presente en la superficie, la presencia de galena tipo acerillo en estas vetas. Calcopirita ( $\text{Fe Cu S}$ ) en las muestras de canchas. La arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), baritina ( $\text{BaSO}_4$ ), cálcica y dolomítica ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), se observaron muy raramente en cristales pequeños en las muestras de minerales existentes en superficie. El cuarzo ( $\text{Si O}_2$ ), constituye la ganga más abundante, se encuentra masivo y en bandas dentro de las muestras de mineral, parece que se depositó en toda la fase de mineralización de las vetas, el yeso existe sobre las canchas en forma de sales y cristalitos.

#### **4.2.3. Muestra.**

Las muestras para esta investigación se enfocan a obtener el porcentaje de recuperación de plomo y zinc por flotación selectiva de un mineral polimetálico de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L. puesto que la mayoría de los minerales sulfurosos están sujetos a cambios en la

respuesta a la flotación, debido al empañamiento y a la oxidación; es importante que las muestras tomadas sean de tamaño tan grueso. Por la misma razón las muestras deben ser suficientemente grandes y el peso adecuado de manera que se pueda completar una investigación. Las leyes de plomo, zinc y plata contenidos en la muestra. (ver anexo 6).

**Tabla N°3: Sistema de coordenadas U.T.M. de la extracción de la muestra.**

PUNTO	DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE
1	Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca	741177	9204446

Fuente. Elaboración Propia

### 4.3. Métodos

#### 4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

Los instrumentos que se utilizaron para recopilar y analizar la información, de los resultados de la flotación selectiva con las diferentes proporciones de colectores son tablas de Excel, gráficos y Cálculos para el análisis de varianza.

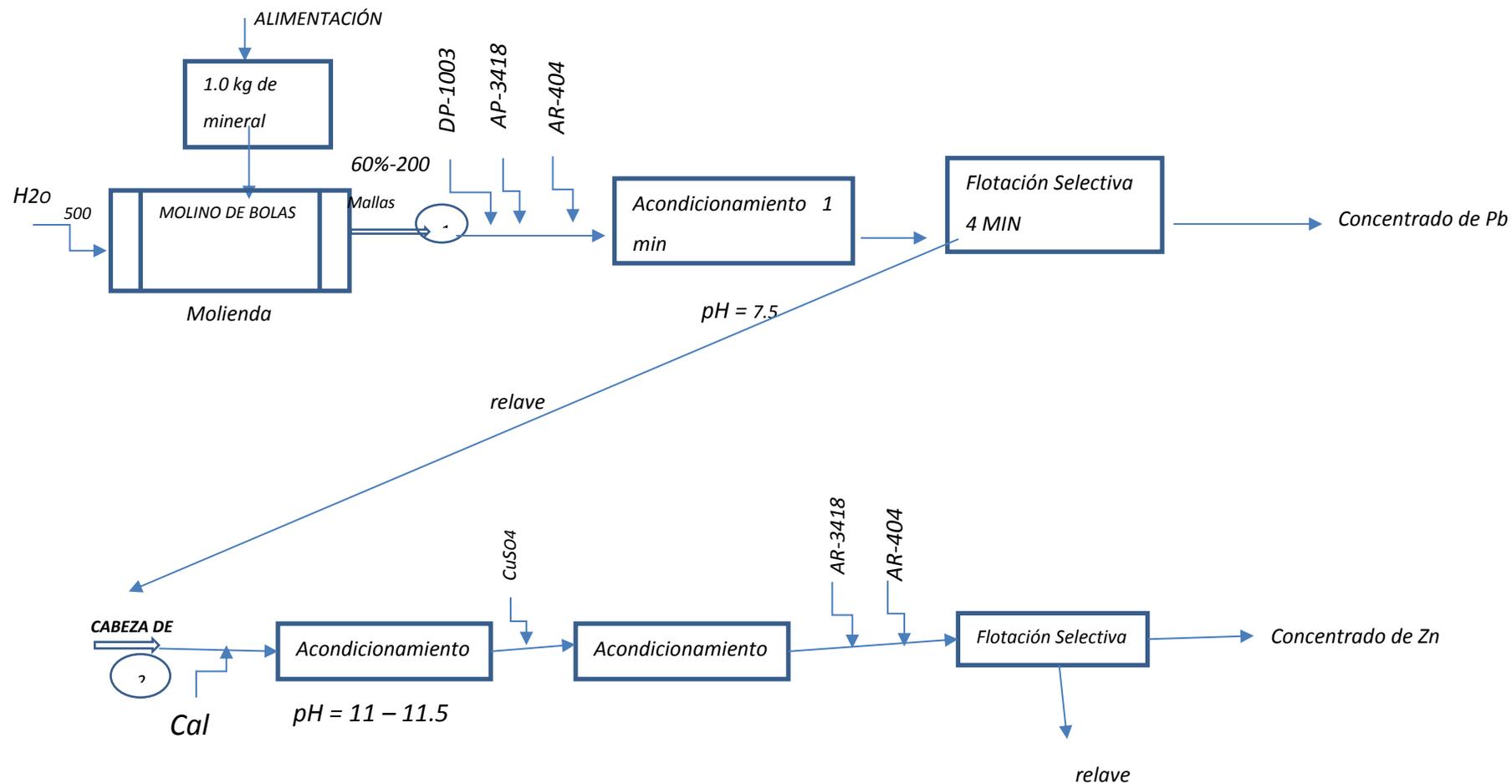
#### 4.3.2. Procedimiento

##### a) Preparación de las muestras.

El mineral grueso, es transportado al laboratorio tan pronto como sea posible y secado por aire. Para la molienda, la muestra debe ser quebrada a un grado de tamaño manejable para facilitar una división representativa. La reducción de tamaño se realizó:

1. El mineral es sometido a un chancado gradual en el laboratorio,
2. La molienda se realiza en el molino de bolas. Con una carga de 1.0 Kg de mineral.
3. Seguidamente se agrega 1.0 Kg (60%-200 mallas) y 500 ml de agua, tiempo de molienda 15 minutos. Hasta obtener una pulpa
4. La muestra es retirada, lavando las paredes de molino.
5. La pulpa es tamizada húmeda, en una malla 200 y un 60% de finos.

Esquema de Laboratorio en flotación de plomo y de zinc



## CAPÍTULO 5. DESARROLLO

### 5.1. Protocolo de flotación.

#### 1. Primer Etapa.

En esta primera etapa se ha considerado realizar 03 flotaciones considerando sola las etapas Rougher Bulk de Pb y Zn para evaluar las recuperaciones de los valores metálicos.

#### Prueba de Flotación N° 1

Esta prueba de flotación se realizó a 60% - 200 mallas. Con una flotación selectiva.

#### Molienda

Peso del mineral	:	1.0 kg
Líquido /Sólido	:	½
Tiempo de molienda	:	15 minutos
Granulometría	:	60% - 200 mallas
Cal Hidratada	:	1500 gr/TM
MIX	:	600 gr/TM
ZnSO <sub>4</sub>	:	800 gr/TM
DP-1003	:	200 gr/TM
AP-3418	:	10 gr/TM
AR-404	:	10 gr/TM

#### FLOTACION

#### Flotación Rougher Pb

Acondicionamiento	:	1´
pH	:	7.0
Z-11	:	20 gr/TM
Flotación	:	25 gr/TM

#### Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento	:	7'
pH	:	10.5
CuSO <sub>4</sub>	:	1000 gr/TM
Z-6	:	300 gr/TM
MIBC	:	10 gr/TM
Flotación	:	4'

### Prueba de Flotación N° 2

Esta prueba de flotación se realizó a 60% - 200 mallas. Con una flotación selectiva

#### Molienda

Peso del mineral	:	1.0 kg
Líquido /Sólido	:	½
Tiempo de molienda	:	15 minutos
Granulometría	:	60% - 200 mallas
Cal Hidratada	:	1500 gr/TM
ZnSO <sub>4</sub>	:	800 gr/TM
DP-1003	:	200 gr/TM
AP-3418	:	20 gr/TM
AR-404	:	40 gr/TM

#### Flotación Rougher Pb

Acondicionamiento	:	4'
pH	:	6.5
Z-11	:	20 gr/TM
MIBC	:	25 gr/TM
Flotación	:	4'

#### Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento	:	7'
pH	:	11'

CuSO <sub>4</sub>	:	1500 gr/TM
Z-6	:	30 gr/TM
MIBC	:	40 gr/TM
Flotación	:	5´

### Prueba de Flotación N° 3

Esta prueba de flotación se realizó a 65% -200 mallas. Con una flotación selectiva

#### Molienda

Peso del mineral	:	1.0 kg
Líquido /Sólido	:	½
Tiempo de molienda	:	15 minutos
Granulometría	:	60% - 200 mallas
Cal Hidratada	:	1500 gr/TM
MIX	:	600 gr/TM
		ZnSO <sub>4</sub> : 400 gr/TM
		NaHSO <sub>3</sub> : 200 gr/TM
ZnSO <sub>4</sub>	:	800 gr/TM
DP-1003	:	300 gr/TM
AP-3418	:	00 gr/TM
AR-404	:	00 gr/TM

#### FLOTACION

#### Flotación Rougher Pb

Acondicionamiento	:	1´
pH	:	7´
Z-11	:	10 gr/TM
MIBC	:	15 gr/TM
Flotación	:	2´

### Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento	:	7´
pH	:	11´
CuSO <sub>4</sub>	:	2000 gr/TM
Z-6	:	60 gr/TM
MIBC	:	40 gr/TM
Flotación	:	5´

## RESULTADOS

Después de haber realizado las pruebas experimentales con niveles de grado de molienda y niveles de contenido de mineral en la mezcla mineral en estudio, con un tiempo de flotación promedio de 5 minutos aproximadamente y luego del análisis respectivo, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en el cuadro de resumen de balance metalúrgico.

### Resultados de la recuperación de plomo

**TABLA N° 4.** Porcentaje de Recuperación de Plomo con dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404.

Factor	Dosificación AR-404								
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM		
<b>Dosificación</b>									
<b>AP-3418</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0 gr/TM</b>	33.98	30.01	32.89	36.37	36.40	36.29	37.05	37.54	37.16
<b>10 gr/TM</b>	33.99	34.56	34.60	37.00	36.95	37.00	48.67	48.81	48.77
<b>20 gr/TM</b>	34.91	34.89	35.03	38.67	39.00	38.75	50.49	49.87	50.51

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 5.** Promedio de la sumatoria de las tres pasadas de flotación en la recuperación de Plomo de un mineral polimetálico por la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404.

Dosificación AP-3418	Dosificación AR-404		
	0 gr/TM	10 gr/TM	40 gr/TM
<b>0 gr/TM</b>	32.29	36.35	37.25
<b>10 gr/TM</b>	34.38	36.98	48.75
<b>20 gr/TM</b>	34.94	38.81	50.29

**Fuente:** Elaboración Propia

En el resultado de la flotación de plomo podemos observar que sin el uso de ningún colector se recuperó un promedio de 32.29 %. Y la mayor recuperación fue de un promedio de 50.29 % de plomo con una dosificación de colectores de 20 gr/TM de AP-3418 y 40 gr/TM de AR-404. Aumentando un 18%

## Resultados de la recuperación de zinc

**TABLA N° 6.** Porcentaje de Recuperación de Zinc con dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404.

Factor	Dosificación AR-404								
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM		
<b>Dosificación</b>									
<b>AP-3418</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0 gr/TM</b>	49.17	50.02	48.95	49.57	50.37	50.40	54.71	54.82	54.69
<b>10 gr/TM</b>	50.08	51.00	50.29	56.37	56.70	56.42	48.27	48.36	47.99
<b>20 gr/TM</b>	52.61	51.87	52.55	52.28	51.88	52.31	43.65	43.59	43.50

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 7** Recuperación de zinc de un mineral polimetálico por la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404.

Dosificación AR-404			
Dosificación AP-3418	0 gr/TM	10 gr/TM	40 gr/TM
<b>0 gr/TM</b>	49.38	50.11	54.74
<b>10 gr/TM</b>	50.46	56.50	48.21
<b>20 gr/TM</b>	52.34	52.16	43.58

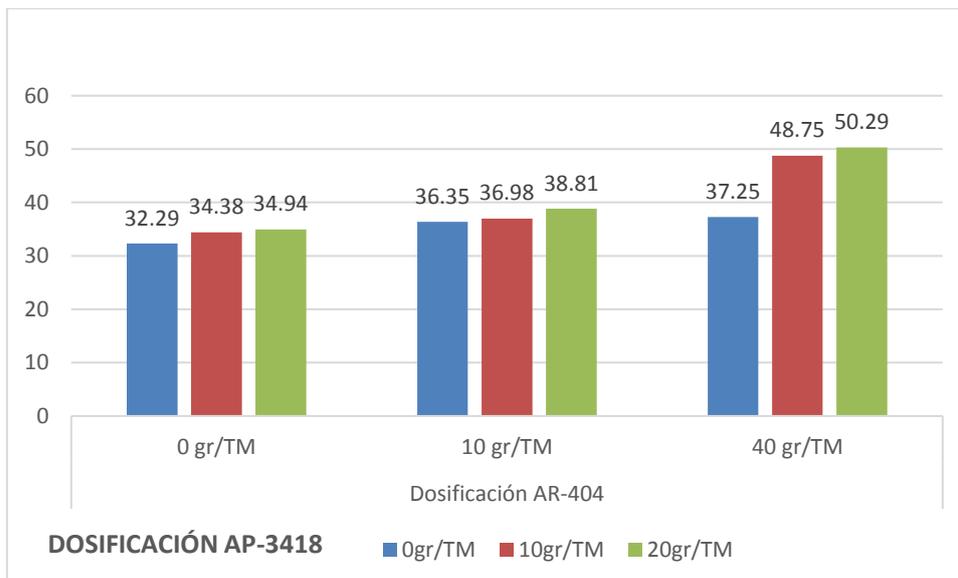
Fuente: Elaboración Propia

En el resultado de la flotación de zinc podemos observar que sin el uso de colectores se recuperó un promedio de 49.38 %. y la mayor recuperación fue de un promedio de 56.50 % de zinc con una dosificación de colectores de 10 gr/TM de AP-3418 y 10 gr/TM de AR-404. Aumentando un 7.12%

## CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos experimentalmente se observa que existientes variables que son posibles de manipular de tal manera que se obtiene altos niveles de recuperación de plomo está directamente relacionado con la utilización de los colectores AP-3418 Y AR-404.

Tabla N°8. Resultados de la recuperación de plomo por flotación selectiva con la influencia de los colectores AP-3418 Y AR-404.

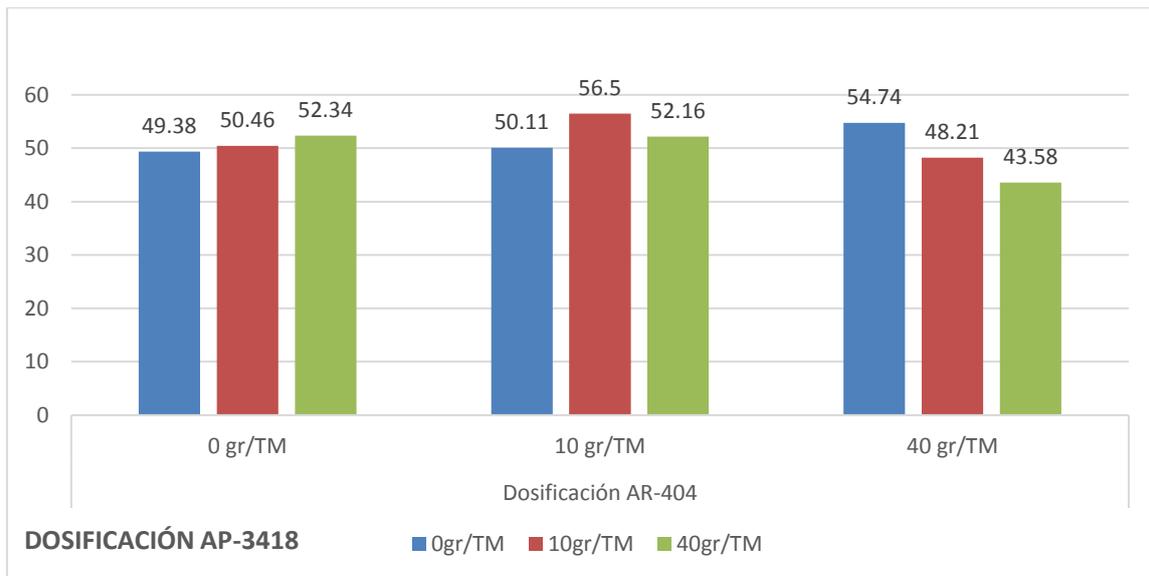


En este estudio podemos observar la recuperación de plomo por flotación selectiva está directamente relacionada con la dosificación de los colectores. ya que la recuperación de plomo sin la utilización de ningún colector fue la mínima y obteniendo mayor recuperación con la utilización de los colectores.

Las variables que son posibles de manipular de tal manera de obtener mayor recuperación de plomo son los colectores AP-3418 Y AR-404. A mayor gr/TM de colector mayor recuperación de plomo.

De los resultados obtenidos experimentalmente se observa que existientes variables que son posibles de manipular de tal manera que se obtiene altos niveles de recuperación de plomo está directamente relacionado con la utilización de los colectores AP-3418 Y AR-404.

Tabla N°9. Resultados de la recuperación de Zinc por flotación selectiva con la influencia de los colectores AP-3418 Y AR-404



En este estudio podemos observar la recuperación de Zinc por flotación selectiva está relacionada con la dosificación de los colectores. ya que la recuperación de zinc sin la utilización de ningún colector fue de 49.38% y obteniendo 56.5 % en la dosificación con los colectores AP-3418 y AR-404.

## CONCLUSIONES

Se concluye que experimentalmente la recuperación de plomo aumenta en un porcentaje de 18% y un 7.12% en la recuperación de zinc por flotación selectiva con la influencia de la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 de un mineral polimetálico del nivel 2 de la veta murciélagos de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Se determinó el parámetro dosificación con una proporción de colectores de 20 gr/TM de AP-3418 y 40 gr/TM de AR-404 se recuperó un promedio de 50.29% de concentrado de plomo.

Se determinó el parámetro dosificación con una proporción de colectores de 10 gr/TM de AP-3418 y 10 gr/TM de AR-404 se recuperó un promedio de 56.50% de concentrado de zinc

## RECOMENDACIONES

Cada uno de los flujos minerales, presenta diferentes recuperaciones para plomo y zinc y por lo tanto diferentes rendimientos económicos, siendo la mejor opción para mayor recuperación la utilización de los colectores AP-3418 y AR-404, del mineral de la Empresa Minera occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Realizar estudios utilizando otras etapas de flotación la Scavenger, Cleaner y Recleaner para obtener datos de mayores porcentajes de recuperación de estos minerales.

Realizar estudios para evaluar parámetros de granulometría, dosificación de otros colectores, así como espumantes.

## REFERENCIAS

- Abarca, R. J (2011). Flotación de Minerales. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Huacho.
- American Cyanamid: (1986); Manual de Productos Químicos para la Minería, Edit. America Cyanamid Company.
- Astucuri, V. (1999). Introducción a la flotación de minerales. Lima, Perú.
- Arbiter (1962). Flotación Machines. New York, Estados Unidos.
- Gallardy, B. T. (2005). Informe técnico de la zona Huayrapongo, área superficial sobre la mina Paredones, ubicada cerca al pueblo de Chilete. Cajamarca, Perú.
- Harris, C. C. (1976). Flotation Machines and Scale-up.
- Sutulov, A. (1963). Flotación De Minerales. Concepción, Chile.
- Venancio, A. T. (1999). Introducción a la flotación de minerales. Lima, Perú.
- Wark, K. L. (1955). Principales of Flotación. Melbourne.
- Zimmerman V. (2008); Manual de Minería Lima – Perú. Edit Klaus Zimmermann.
- Taggart, A.F. (2000); Manual De Minería.

## LINKOGRAFÍA

<http://procesaminerales.blogspot.pe/2012/10/cinetica-flotacion.html>

<http://procesaminerales.blogspot.pe/2012/10/cinetica-flotacion.html>

<https://spanish.alibaba.com/product-gs/best-quality-denver-d12-laboratory-flotation-machine-1953959403.html>

<https://spanish.alibaba.com/product-gs/best-quality-denver-d12-laboratory-flotation-machine-1953959403.htm>

[http://www.southernperu.com/.](http://www.southernperu.com/)

<http://www.definicionabc.com/ciencia/oxidacion.php>

<http://www.elmundo.es/diccionarios/>

<http://definicion.mx/reaccion-quimica/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3lisis>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis>

[http://www.southernperu.com/.](http://www.southernperu.com/)

<http://www.cyttec.com/>

## APÉNDICE

### Apéndice I: Resultados de la recuperación de plomo por flotación selectiva de un mineral polimetálico de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

**Tabla I.** Recuperación de Plomo por flotación selectiva de un mineral polimetálico por la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404

Factor	Dosificación AR-404								
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM		
Dosificación AP-3418	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0 gr/TM	33.98	30.01	32.89	36.37	36.40	36.29	37.05	37.54	37.16
10 gr/TM	33.99	34.56	34.60	37.00	36.95	37.00	48.67	48.81	48.77
20 gr/TM	34.91	34.89	35.03	38.67	39.00	38.75	50.49	49.87	50.51

## Procesamiento estadístico de datos

### 1. Cálculos para el análisis de varianza (ANVA)

Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

#### 1.1. Datos previos

##### 1.1.1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Nula ( $T H_0$ ): A medida que aumenta la dosificación del colector AP-3418, no afecta el incremento de la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alternativa ( $T H_1$ ): A medida que aumenta la dosificación del colector AP-3418, afecta en el incremento la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Nula ( $\beta H_0$ ): A medida que aumenta la dosificación del colector AR- 404, no afecta en el incremento de la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alternativa ( $\beta H_1$ ): A medida que aumenta la dosificación del colector AR- 404, afecta en el incremento de la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Nula ( $T\beta H_0$ ): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404, no afecta el incremento de la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alternativa ( $T\beta H_1$ ): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404, afecta en el incremento de la recuperación de plomo de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

### 1.1.2. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ( $\alpha=0.05$ )

### 1.1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ , donde el  $F_0$  se obtiene experimentalmente y el  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  se obtiene de tablas (Anexo 5: cuadro 1).

## 1.2. Cálculos para el ANVA de la recuperación de plomo

### 1.2.1. Presentación de datos

En la Tabla II se presentan los datos individuales de la concentración de plomo en la medida de mg/TM, que permiten realizar el análisis de varianza respectivo.

**Tabla II.** Recuperación de plomo por flotación selectiva por la influencia de los colectores AP-3418 y AR- 404.

Factor	Dosificación AR-404									$\sum Y_i$	$Y_{i, prom}$
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM				
Dosificación AP-3418	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 gr/TM	33.98	30.01	32.89	36.37	36.40	36.29	37.05	37.54	37.16	317.69	35.30
10 gr/TM	33.99	34.56	34.60	37.00	36.95	37.00	48.67	48.81	48.77	360.35	40.04
20 gr/TM	34.91	34.89	35.03	38.67	39.00	38.75	50.49	49.87	50.51	372.12	41.35
$\sum Y_j$	304.86			336.43			408.87				
$\sum Y_{ij}$	96.88	103.15	104.83	109.06	110.95	116.42	111.75	146.25	150.87		

### 1.2.2. Cálculo del término de corrección

$$C = \frac{Y^2}{N} = \frac{(1.59+1.05+1.48+\dots+0.48)^2}{(a)(b)(r)}$$

$$\frac{Y^2}{N} = \frac{[(33.98)^2 + (30.01)^2 + (32.89)^2 \dots + (50.51)^2]}{27.00}$$

$$\frac{Y^2}{N} = 40845.77873$$

### 1.2.3 Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST)

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2_{ijk} - \frac{y^2}{N}$$

$$SST = [(33.98)^2 + (30.01)^2 + (32.89)^2 \dots + (50.51)^2] - 40845.77873$$

$$SST = 967.17827$$

### 1.2.4. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSA)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{br} - \frac{y^2}{N}$$

$$SSA = \frac{(317.69)^2 + (360.39)^2 + (372.12)^2}{3 * 3} - 40845.77873$$

$$SSA = 182.2605$$

### 1.2.5. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSB)

$$SS_B = \sum_{j=1}^a \frac{y_j^2}{ar} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{(304.16)^2 + (336.43)^2 + (408.87)^2}{3 * 3} - 4084577873$$

$$SS_B = 631.93699$$

### 1.2.6. Cálculo de (SSSub totales)

$$SS_B = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y^2 i}{r} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Sub\ totales} = \frac{(96.88)^2 + (103.15)^2 + (104.83)^2 \dots + (150.87)^2}{3} - 40845.77873$$

$$SS_{Sub\ totales} = 40255.1954$$

### 1.2.7. Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE)

$$SSE = SST - SS_{sub\ totales}$$

$$SS_E = 967.17827 - 658.04467$$

$$SS_E = 9.1336$$

### 1.2.8. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSAB)

$$SS_{AB} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_E$$

$$SS_{AB} = 967.17827 - 182.2605 - 631.93699 - 9.1336$$

$$SS_{AB} = 143.84719$$

### 1.2.9. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MSA)

$$MS_A = \frac{SS_A}{A - 1}$$

$$MS_A = \frac{182.2605}{3 - 1}$$

$$MS_A = 91.13024815$$

### 1.2.10. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSB)

$$MS_B = \frac{SS_B}{B - 1}$$

$$MS_B = \frac{631.937}{3 - 1}$$

$$MS_B = 315.9684926$$

### 1.2.11. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSAB)

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{((A - 1)(B - 1))}$$

$$MS_{AB} = \frac{143.847}{((3 - 1)(3 - 1))}$$

$$MS_{AB} = 35.96179815$$

### 1.2.12. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido al error (MSE)

$$MS_E = \frac{SS_E}{(AB(r - 1))}$$

$$MS_E = \frac{9.134}{((3-1))(3-1)}$$

$$MS_E = 0.50742222$$

### 1.2.13. Cálculo de la función Fo

$$F_{0A} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{0A} = \frac{91.1302485}{0.50742222}$$

$$F_{0A} = 179.59452$$

$$F_{0B} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_{0B} = \frac{315.9684926}{0.50742222}$$

$$F_{0B} = 35.9684926$$

$$F_{0AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$$

$$F_{0AB} = \frac{35.9617985}{0.50742222}$$

$$F_{0AB} = 70.871548$$

**Tabla III.** Cuadro resumen del análisis de varianza para la recuperación de plomo.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F <sub>o</sub>	F <sub>α</sub> , v1,v2
Tratamiento A	2.0	182.260	19739.70559	179.59452	3.55
Tratamiento B	2.0	631937	19964.54384	622.69345	3.55
Interacción AB	4.0	143.847	9788.325874	70.871548	2.93
Error	18.0	9.134	0.507422222		
<b>Total</b>	<b>26.0</b>	<b>967.178</b>			

### 1.3. Decisión

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de plomo por la influencia del colector AP-3418 y el  $F_0 = 179.59452$  es mayor a  $F_{0.05,2,18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del colector AP-3418 si afecta significativamente en la recuperación de plomo.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de plomo con la influencia del colector AR-404 y el  $F_0 = 622.69345$  es mayor a  $F_{0.05,2,18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del colector AR-404 si afecta significativamente en la recuperación de plomo.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de Recuperación de plomo por la influencia de los colectores AP-3418 y AR- 404 y el  $F_0 = 70.871548$  es mayor a  $F_{0.05,4,18} = 2.93$ , afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 si afectan significativamente en la recuperación de plomo.

**Apéndice II: Resultados de la recuperación de Zinc por flotación selectiva de un mineral polimetálico de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.**

**Tabla IV.** Recuperación de Zinc de un mineral polimetálico con la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404

Factor	Dosificación AR-404								
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM		
Dosificación AP-3418	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0 gr/TM	49.17	50.02	48.95	49.57	50.37	50.40	54.71	54.82	54.69
10 gr/TM	50.08	51.00	50.29	56.37	56.70	56.42	48.27	48.36	47.99
20 gr/TM	52.61	51.87	52.55	52.28	51.88	52.31	43.65	43.59	43.50

## Procesamiento estadístico de datos

### 1. Cálculos para el análisis de varianza (ANVA)

Permite determinar si las medias de cada tratamiento son estadísticamente diferentes.

Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

#### 1.1. Datos previos

##### 1.1.1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Nula (T H0): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418, no afecta el incremento de la recuperación de zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alterna (T H1): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418, afecta en el incremento la recuperación de zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Nula ( $\beta$  H0): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AR-404, no afecta en el incremento de la recuperación de zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alterna ( $\beta$  H1): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AR-404, afecta en el incremento de la recuperación de Zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Nula (T $\beta$  H0): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404, no afecta el incremento de la recuperación de zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

Hipótesis Alterna (T $\beta$  H1): A medida que aumenta la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404, afecta en el incremento de la recuperación de Zinc de la Compañía Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.

##### 1.1.2. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ( $\alpha=0.05$ )

##### 1.1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ , donde el  $F_0$  se obtiene experimentalmente y el  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  se obtiene de tablas (Anexo 5).

## 1.2. Cálculos para el ANVA de la recuperación de zinc

### 1.2.1. Presentación de datos

En la Tabla V. se presentan los datos individuales y totalizados de la concentración de plomo en la medida de mg/TM, que permiten realizar el análisis de varianza respectivo.

**Tabla V.** Recuperación de zinc con la influencia de los colectores AP-3418 y AR- 404.

Factor	Dosificación AR-404									$\sum Y_i$	$Y_{i, prom}$
	0 gr/TM			10 gr/TM			40 gr/TM				
Dosificación AP-3418	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 gr/TM	49.17	50.02	48.95	49.57	50.37	50.40	54.71	54.82	54.69	462.70	51.41
10 gr/TM	50.08	51.00	50.29	56.37	56.70	56.42	48.27	48.36	47.99	465.48	51.72
20 gr/TM	52.61	51.87	52.55	52.28	51.88	52.31	43.65	43.59	43.50	444.24	49.36
$\sum Y_j$	456.54			476.30			439.58				
$\sum Y_{ij}$	148.14	151.37	157.03	150.34	169.49	156.47	164.22	144.62	130.74		

### 1.2.2. Cálculo del término de corrección

$$C = \frac{Y^2}{N} = \frac{(1.59 + 1.05 + 1.48 + \dots + 0.48)^2}{(3)(3)(3)}$$

$$\frac{Y^2}{N} = \frac{[(49.17)^2 + (50.29)^2 + (52.55)^2 \dots + (43.50)^2]}{27.00}$$

$$\frac{Y^2}{N} = 69760.6169$$

### 1.2.3. Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST)

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2_{ijk} - \frac{y^2}{N}$$

$$SST = [(49.17)^2 + (50.08)^2 + (52.61)^2 \dots + (43.50)^2] - 69760.6169$$

$$SST = 343.1067$$

### 1.2.4. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSA)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{br} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{(462.70)^2 + (465.48)^2 + (444.24)^2}{3 * 3} - 69760.6169$$

$$SS_A = 29.661621$$

### 1.2.5 Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS<sub>B</sub>)

$$SS_B = \sum_{j=1}^a \frac{y_j^2}{ar} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{(456.54)^2 + (476.30)^2 + (439.58)^2}{3 * 3} - 2697606169$$

$$SS_B = 75.05399$$

### 1.2.6. Cálculo de (SS<sub>Sub totales</sub>)

$$SS_B = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y^2 i}{r} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{\text{Sub totales}} = \frac{(148.14)^2 + (151.37)^2 + (157.03)^2 \dots + (130.74)^2}{3} - 2596.434207$$

$$SS_{\text{sub totales}} = 67505.1306$$

### 1.2.7 Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE)

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{sub totales}}$$

$$SS_E = 343.1067 - 340.9479$$

$$SS_E = 2.1588$$

### 1.2.8 Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS<sub>AB</sub>)

$$SS_{AB} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_E$$

$$SS_{AB} = 343.1067 - 29.61621 - 75.05399 - 21588$$

$$SS_{AB} = 236.2777$$

### 1.2.9 Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MSA)

$$MS_A = \frac{SS_A}{A-1}$$

$$MS_A = \frac{343.1067}{3-1}$$

$$MS_A = 14.8081037$$

### 1.2.10. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSB)

$$MS_B = \frac{SS_B}{B-1}$$

$$MS_B = \frac{75.05399}{3-1}$$

$$MS_B = 37.52699259$$

### 1.2.11. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSAB)

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{((A-1)(B-1))}$$

$$MS_{AB} = \frac{236.2777}{((3-1))(3-1)}$$

$$MS_{AB} = 59.06942593$$

### 1.2.12. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido al error (MSE)

$$MS_E = \frac{SS_E}{(AB(r-1))}$$

$$MS_E = \frac{2.159}{((3*3))(3-1)}$$

$$MS_E = 0.119933333$$

### 1.2.13 Cálculo de la función Fo

$$F_{0A} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{0A} = \frac{14.8081037}{0.119933333}$$

$$F_{0A} = 123.4695$$

$$F_{0B} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_{0B} = \frac{37.5269929}{0.119933333}$$

$$F_{0B} = 312.8988$$

$$F_{0AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$$

$$F_{0AB} = \frac{59.0694258}{0.119933333}$$

$$F_{0AB} = 492.5188$$

**Tabla V.2.** Cuadro resumen del análisis de varianza de la recuperación de zinc.

Fuente	de Grados	de Suma	de Media	de	
Variación	Libertad	Cuadrados	Cuadrados	Fo	F $\alpha$ ,v1,v2
<b>Tratamiento A</b>	2.0	29.616	14.8081037	123.4695	3.55
<b>Tratamiento B</b>	2.0	75.054	37.52699259	312.8988	3.55
<b>Interacción AB</b>	4.0	236.278	59.06942593	492.5188	2.93
<b>Error</b>	18.0	2.159	0119933333		
<b>Total</b>	26.0	343.107			

### 1.3. Decisión

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de la recuperación de zinc por la influencia del colector AP-3418 y el  $F_0 = 123.4695$  es mayor a  $F_{0.05,2,18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del colector AP-3418 si afecta significativamente en la recuperación de zinc.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de Zinc por la influencia de los colectores AR-404 y el  $F_0 = 312.8988$  es mayor a  $F_{0.05,2,18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del colector AR-404 si afecta significativamente en la recuperación de zinc.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de Recuperación de zinc por la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 y el  $F_0 = 492.5188$  es mayor a  $F_{0.05,4,18} = 2.93$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de los colectores AP-3418 y AR-404 si afecta significativamente en la recuperación de

## ANEXOS

### Anexo N° 1.- Fotos de la de Ubicación Geográfica de empresa Minera Occidental 2 de la Cajamarca S.R.L

Foto N°01 Ubicación del distrito de San Bernardino en Google Earth.



Fuente: Elaboración Propia, 2016

## Anexo N°02 Ubicación del mineral de la veta murciélago

Foto N°02 Mineral polimetálico del nivel 2 de la veta murciélago de la Empresa Minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L



Fuente: Elaboración Propia, 2016

### Anexo N° 03. Muestreo

Foto N°03 Cabando para la toma de muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°04: El Ingeniero Gary Farfán en la Empresa minera occidental 2 de Cajamarca S.R. L



Fuente: Elaboración Propia, 2016

### Anexo N°04 Procedimiento en el laboratorio

Foto N°05. El mineral



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°06: Toma del peso del mineral



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°07: Lavado de la muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°08: Secado del mineral



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°09: Trabajo en el Laboratorio UPN Cajamarca



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°10: Molino de Bolas



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°11: Molienda de la muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°12: Tamizado del concentrado del plomo



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°13 Tamizado de la muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°14: Proceso de flotación



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°15. El Ing. Gary Farfán realizando el proceso de Flotación



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°16: Formación de espuma



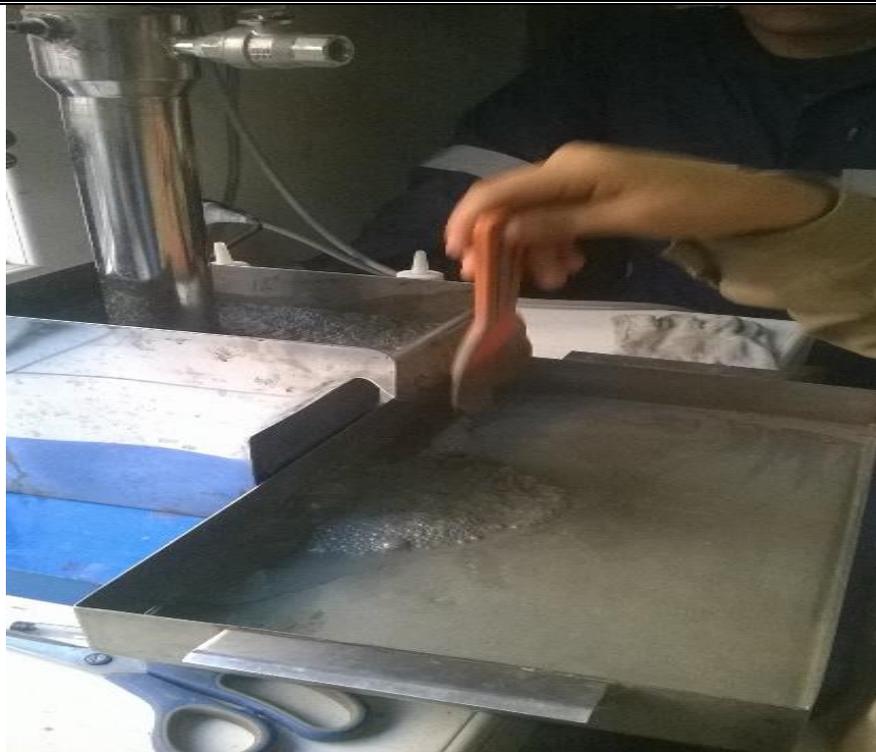
Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°17: Extracción del concentrado de plomo



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°18: Extracción del concentrado de zinc



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°19: Lavado para obtener el concentrado de plomo



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°20: Recuperación de Plomo en el concentrado de zinc



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°21: Recuperación de Zinc en el concentrado



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°22: Procesamiento de datos



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Foto N°23: Procesamiento de datos



Fuente: Elaboración Propia, 2016

### Anexo N°05: Puntos porcentuales de la distribución F0.05, v1, v2

V <sub>2</sub> \ V <sub>1</sub>	Grados de libertad del numerador (V <sub>1</sub> )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

**Anexo N°06: LEYES DE CABEZA MINERAL POLIMETÁLICO VETA MURCIELAGO**

Codigo de Muestra	Ensaye por				CONTENIDO METALICO (FINOS)			% RECUPERACIÓN			RATIO
	Peso	Ag Oz/TM	% Pb	% Zn	Ag Oz	TM Pb	% Zn	Ag Oz/TM	% Pb	% Zn	
Cabeza	1000	5.95	4.48	14.82	5950.000	44.800	148.200				

Fuente: Ing. Metalurgista Wilmer Villavicencio Espinoza