



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

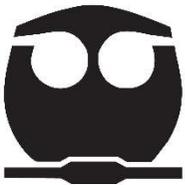
FACULTAD DE QUÍMICA

Activación-depresión en la flotación selectiva de sulfuros de zinc-plomo en presencia de reactivos naturales (taninos quebracho).

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

PRESENTA:

Christian Alejandro Ruíz González



MÉXICO, Ciudad de México

AÑO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Antonio Huerta Cerdán**

VOCAL: **Profesor: Faustino Juárez Sánchez**

SECRETARIO: **Profesor: Juan Manuel de la Rosa
Canales**

1er. SUPLENTE: **Profesor: Vianey Torres Mendoza**

2º SUPLENTE: **Profesor: David Turcio Ortega**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: LABORATORIO 212,
EDIFICIO D. FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM**

ASESOR DEL TEMA: M EN C ANTONIO HUERTA Cerdán

SUSTENTANTE: CHRISTIAN ALEJANDRO RUÍZ GONZÁLEZ

DEDICATORIAS

A mi mamá Lulu, por haberme dado el don de la vida, su apoyo, su ejemplo y sobre todo su amor, que me han servido para formarme como hombre.

A mis Abuelos Conchita y Felipe, por su incansable cariño, su ejemplo de superación y su gran ejemplo de vida.

A mi amada esposa, que ha estado a mi lado en todos los proyectos que me he propuesto, su paciencia, confianza y amor han sido indispensables para poder alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos Marcos, Monse y Sandra, por su apoyo y cariño, que este trabajo sirva de ejemplo para darse cuenta que el pasado no siempre influye en el futuro.

A mi asesor M.en C. Antonio Huerta Cerdán, gracias por su tiempo y su vocación, que gracias a ella, lo han convertido en un excelente guía en el andar de la vida, espero que yo alcance a amar con la misma pasión mi profesión.

A mis asesores Dr. Faustino Juárez Sánchez y M. en C. Juan de la Rosa Canales, quienes fueron piezas fundamentales para concluir este trabajo, gracias a sus lecciones y orientación, de igual manera tengo que agradecerles que sus enseñanzas sobrepasaran el aula y llegaran a la escuela de la vida.

A mi Tío Pablo y Gustavo, gracias por sus consejos y apoyo, gracias por ser tíos, amigos y en muchas ocasiones padres.

A mis amigos que me acompañaron a lo largo de la carrera (Marco, Toño, Manuel, Roberto, Dianita, Ray y Jardon), gracias por su apoyo, motivación y múltiples aventuras.

Al P. Miguel por su gran apoyo, orientación y consejos, me han servido para crecer en la vida.

A mis suegros Alfredo y Salome por su constante apoyo y cariño.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Capítulo I | i |
| RESUMEN | i |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 2 |
| HIPÓTESIS | 2 |
| Capítulo II | 3 |
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| Flotación | 3 |
| Minerales Hidrofílicos | 4 |
| Minerales Hidrofóbicos | 4 |
| Fases involucradas en el proceso de Flotación | 5 |
| Colectores | 8 |
| Adhesión del colector a la superficie del mineral | 9 |
| Activadores | 10 |
| Depresores | 10 |
| Espumante | 14 |
| Modificadores de pH | 15 |
| Mecanismos de Flotación de la Galena y Esfalerita | 15 |
| Activación de la esfalerita | 16 |
| Equipo de Flotación | 17 |
| Factores a evaluar en una celda de flotación | 17 |
| Capítulo III | 18 |
| DESARROLLO EXPERIMENTAL | 18 |
| Circuito de Flotación | 28 |
| Capítulo IV | 29 |
| RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 29 |
| Resultados De Los Mejores Parámetros De Flotación | 62 |
| Capítulo V | 64 |
| CONCLUSIONES | 64 |
| Capítulo VI | 65 |
| Capítulo VII | 68 |

| | |
|---|----|
| ANEXO A..... | 68 |
| Análisis Químico de las Flotaciones. | 68 |
| Anexo B | 71 |
| Anexo C | 77 |
| Anexo D | 90 |
| Análisis vía Absorción Atómica..... | 90 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Molécula del agua..... | 7 |
| Figura 2.2 Interacción partícula-colector | 8 |
| Figura 2.3 Comportamiento de una gota de agua en una superficie hidrofóbica y superhidrofóbica..... | 9 |
| Figura 2.4 Estructura molecular de XEP..... | 10 |
| Figura 2.5 Estructura de Quebracho T5..... | 12 |
| Figura 2.6 Estructura de Quebracho M3..... | 12 |
| Figura 2.7 Interacción de Aire y el Agua en el espumante..... | 14 |
| Figura 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo experimental..... | 18 |
| Figura 3.2 Cono para cuarteo de mineral | 20 |
| Figura 3.3 Molino de Bolas..... | 20 |
| Figura 3.4 Partidor Jones para muestreo | 21 |
| Figura 3.5 Equipo Pekín Elmer 310 | 21 |
| Figura 3.6 Rop tap Rx-29..... | 22 |
| Figura 3.7 Microscopio Estereoscópico American Optica AO 570... | 23 |
| Figura 3.8 Balanza Analítica..... | 25 |
| Figura 3.9 Celda de flotación Denver..... | 27 |
| Figura 3.10 Circuito de flotación selectiva. Celda 1 circuito primario de Plomo, celda 2 circuito primario de Zinc..... | 28 |

Figura 4.1. Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 10mg/L y evaluado a diferentes valores de Ph.....32

Figura 4.2. Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 15mg/L y evaluado a diferentes valores de pH.....33

Figura 4.3. Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 20mg/L y evaluado a diferentes valores de pH.....35

Figura 4.4. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 10mg/L y evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.....36

Figura 4.5. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 15mg/L y evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.....38

Figura 4.6. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 20mg/L, evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.....39

Figura 4.7. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 9.1 para el concentrado de Pb y de 11 para la flotación de Zn.....41

Figura 4.8. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 9.5 para el concentrado de Pb.....42

| | |
|---|----|
| Figura 4.9. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 10.1 para el concentrado de Pb..... | 44 |
| Figura 4.10. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 10.5 para el concentrado de Pb..... | 45 |
| Figura 4.11. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 9.1 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn | 48 |
| Figura 4.12. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 9.5 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn | 49 |
| Figura 4.13. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 10.1 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn..... | 51 |
| Figura 4.14. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 10.5 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn..... | 52 |
| Figura 4.15. Prueba 4, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L..... | 54 |
| Figura 4.16. Prueba 15, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.17. Prueba 6, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L..... | 57 |
| Figura 4.18. Prueba 20, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L..... | 59 |
| Figura 4.19. Prueba 10, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L..... | 60 |
| Figura 4.20. Prueba 21, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 20mg/L..... | 61 |
| Figura 4.21. Condiciones más favorables para los procesos de flotación de menas sulfuradas complejas Pb-Zn, en presencia de reactivos naturales Taninos Quebrachos T5 y M3..... | 62 |
| Figura 1C. Prueba 1. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 10mg/L..... | 77 |
| Figura 2C. Prueba 2. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 10mg/L..... | 78 |
| Figura 3C. Prueba 3. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 10mg/L..... | 78 |
| Figura 4C. Prueba 4. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 10mg/L..... | 79 |
| Figura 5C. Prueba 5. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 15mg/L..... | 79 |
| Figura 6C. Prueba 6. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 15mg/L..... | 80 |
| Figura 7C. Prueba 7. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 15mg/L..... | 80 |

| | |
|---|----|
| Figura 8C. Prueba 8. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 15mg/L..... | 81 |
| Figura 9C. Prueba 9. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 20mg/L..... | 81 |
| Figura 10C. Prueba 10. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 20mg/L..... | 82 |
| Figura 11C. Prueba 11. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 20mg/L..... | 82 |
| Figura 12C. Prueba 12. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 20mg/L..... | 83 |
| Figura 13C. Prueba 13. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 10mg/L..... | 83 |
| Figura 14C. Prueba 14. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 10mg/L..... | 84 |
| Figura 15C. Prueba 15. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 10mg/L..... | 84 |
| Figura 16C. Prueba 16. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 10mg/L..... | 85 |
| Figura 17C. Prueba 17. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 15mg/L..... | 85 |
| Figura 18C. Prueba 18. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 15mg/L..... | 86 |
| Figura 19C. Prueba 19. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 15mg/L..... | 86 |

| | |
|--|----|
| Figura 20C. Prueba 20. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 15mg/L..... | 87 |
| Figura 21C. Prueba 21. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 20mg/L..... | 87 |
| Figura 22C. Prueba 22. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 20mg/L..... | 88 |
| Figura 23C. Prueba 23. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho M3 a 20mg/L..... | 88 |
| Figura 24C. Prueba 24. Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia de depresor Quebracho T5 a 20mg/L..... | 89 |
| Figura 1D. Curva de calibración para la determinación de zinc en los productos de flotación por espectroscopía de absorción atómica | 90 |
| Figura 2D. Curva de calibración para la determinación de plomo en los productos de flotación por espectroscopía de absorción atómica | 90 |
| Figura 3D. Figura 3D. Diagrama pH-potencial de Pb-S-H ₂ O a 25°C..... | 91 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 Clasificación de los minerales polares..... | 6 |
| Tabla 3.1 Cribas empleadas en el análisis granulométrico..... | 22 |
| Tabla 3.2 Condiciones experimentales de flotación (concentración del depresor T5 y M3 y el pH en el circuito de plomo y Zinc)..... | 24 |
| Tabla 3.3 Concentraciones empleadas en los reactivos de experimentación..... | 25 |
| Tabla 3.4 Condiciones de acondicionamiento y velocidad de agitación para los circuitos de Pb y Zn..... | 26 |
| Tabla 4.1 Composición Química en cabeza, del mineral proveniente de la Unidad Charcas, Grupo México, SLP..... | 29 |
| Tabla 4.2 Resultados obtenidos durante las flotaciones a diferentes valores de pH, usando como depresor el quebracho (T5), a concentraciones de 10, 15 y 20mg/L, en los concentrados de Pb y Zn..... | 29 |
| Tabla 4.3 Resumen de los resultados obtenidos durante las flotaciones a diferentes valores de pH, usando como depresor el quebracho (M3), a concentraciones de 10, 15 y 20mg/L..... | 30 |
| Tabla 1A Análisis Químicos realizados en Ing. Metalúrgica..... | 68 |
| Tabla 1B. Balance Metalúrgico prueba 1..... | 71 |
| Tabla 2B. Balance Metalúrgico prueba 2..... | 71 |
| Tabla 3B. Balance Metalúrgico prueba 3..... | 71 |
| Tabla 4B. Balance Metalúrgico prueba 4..... | 71 |
| Tabla 5B. Balance Metalúrgico prueba 5..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Tabla 6B. Balance Metalúrgico prueba 6..... | 72 |
| Tabla 7B. Balance Metalúrgico prueba 7..... | 72 |
| Tabla 8B. Balance Metalúrgico prueba 8..... | 72 |
| Tabla 9B. Balance Metalúrgico prueba 9..... | 73 |
| Tabla 10B. Balance Metalúrgico prueba 10..... | 73 |
| Tabla 11B. Balance Metalúrgico prueba 11..... | 78 |
| Tabla 12B. Balance Metalúrgico prueba 12..... | 73 |
| Tabla 13B. Balance Metalúrgico prueba 13..... | 74 |
| Tabla 14B. Balance Metalúrgico prueba 14..... | 74 |
| Tabla 15B. Balance Metalúrgico prueba 15..... | 74 |
| Tabla 16B. Balance Metalúrgico prueba 16..... | 74 |
| Tabla 17B. Balance Metalúrgico prueba 17..... | 75 |
| Tabla 18B. Balance Metalúrgico prueba 18..... | 75 |
| Tabla 19B. Balance Metalúrgico prueba 19..... | 75 |
| Tabla 20B. Balance Metalúrgico prueba 20..... | 75 |
| Tabla 21B. Balance Metalúrgico prueba 21..... | 76 |
| Tabla 22B. Balance Metalúrgico prueba 22..... | 76 |
| Tabla 23B. Balance Metalúrgico prueba 23..... | 76 |
| Tabla 24B. Balance Metalúrgico prueba 24..... | 76 |

RESUMEN

La concentración por flotación en espuma es un proceso físico-químico de separación de minerales, mediante la modificación de sus propiedades superficiales, este tiene la característica de concentrar selectivamente a menas complejas de sulfuros. Actualmente se requiere de procesar a dichos minerales a través de reactivos limpios (que no contaminen la naturaleza). El Quebracho, reactivo empleado como modificador de superficies minerales, ha sido estudiado, sin embargo se cuenta aún con pocas publicaciones. Este reactivo presenta ventajas adicionales por ser no tóxico además de ser efectivo en niveles razonables de pH para una conveniente selectividad en comparación a cal y cianuro. En México no se han realizado investigaciones y aplicaciones con este tipo de reactivo dado que la materia prima tiene su fuente principal de producción en América del Sur. En un trabajo previo se realizaron estudios de potencial zeta en el cual soporto mi estudio para proponer las condiciones de trabajo bajo las cuales tenemos la factibilidad para flotar o deprimir a menas complejas de Pb-Zn. [14]

En el desarrollo de este trabajo se presentan flotaciones cuya ley de cabeza promedio es de 1.29%Ley Pb y 4.86%Ley Zn, alcanzando después del proceso de flotación 26.87%Ley Pb en el circuito de Plomo y 33.82%Ley Zn en el circuito de Zn, en presencia de quebracho *Schinopsis Lorentzii* (T5) como depresor, en el circuito donde se ocupó el quebracho *Schinopsis Balansae* (M3) como depresor se obtuvo una ley de 28.83%Ley Pb en el circuito de plomo y 38.39%LeyZn en el circuito de Zn.

INTRODUCCIÓN

El beneficio de minerales es una de las principales actividades del sector minero-metalúrgico, siendo el proceso de flotación el más utilizado en la concentración de menas complejas sulfuradas de Pb-Zn. Este tipo de procesos conllevan retos y responsabilidades enfocadas al uso de reactivos amigables con el medio ambiente, que reduzcan el impacto ecológico asociados a esta actividad. [1]

El compromiso como profesionalista de la química, es buscar métodos y reactivos alternos que nos permitan desarrollar nuestros procesos con el menor impacto ecológico posible, esta misión ha llevado a proponer el uso de quebrachos como reactivos depresores en los procesos de flotación de menas sulfuradas. Los reactivos quebrachos usados en el desarrollo de este proyecto son *Schinopsis Lorentzii* (T5) y *Schinopsis Balansae* (M3).

Actualmente las menas complejas de Pb-Zn son separadas por procesos de flotación selectiva, utilizando en la flotación primaria del Pb el cianuro para deprimir al Zn y posteriormente en una flotación primaria de Zn se utiliza el sulfato de cobre para activar el Zn. [15]

El uso del cianuro tiene desventajas por ser un reactivo difícil en su manejo y tóxico en algunos valores de pH. El Quebracho, es poco empleado en la industria como modificador de superficie, debido a que existen pocos estudios que validen su capacidad depresora en los minerales. Este reactivo presenta ventajas adicionales por ser no tóxico además de ser efectivo en niveles razonables de pH para una conveniente selectividad en comparación a la cal y el cianuro. [2]

OBJETIVOS

- a) Determinar los efectos de la concentración, tipo de quebrachos y pH, bajo los cuales un mineral complejo de sulfuros de plomo y zinc pueda flotar o ser deprimido a través de pruebas de flotación.

- b) Obtener las condiciones de máxima flotabilidad de la Galena y de la Esfalerita a través del empleo de diferentes tipos de quebrachos asistiendo a un xantato.

HIPÓTESIS

Es posible obtener las condiciones más favorables para la flotación selectiva de menas sulfuradas de Pb-Zn, a través del uso de reactivos naturales (quebrachos), que posean características diferentes a ciertos valores de pH, y concentración.

MARCO TEÓRICO

Los minerales del tipo sulfurados constituyen un área importante en la aplicación de los procesos de flotación selectiva debido a las mezclas complejas que presentan estos minerales (Esfalerita y Galena).

La esfalerita o blenda está compuesta por sulfuro de zinc, es la principal mena de zinc. El sulfuro de zinc es incoloro, pero la blenda contiene siempre sulfuro de hierro que la oscurece, ésta aparece combinada con galena, pirita, calcopirita, marcasita, fluorita, barita y cuarzo entre otros.

La galena es un sulfuro de plomo aunque puede tener cantidades variables de impurezas. La fórmula PbS contiene 86,6% de plomo con pequeñas cantidades de cadmio, antimonio, bismuto y cobre.

Flotación

La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales o compuestos finamente molidos, basados en las propiedades superficiales de los minerales (mojabilidad), que hace que un mineral o varios se queden en una fase o pasen a otra. Las propiedades superficiales pueden ser modificadas a voluntad con ayuda de reactivos.

El proceso de flotación se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales.

Minerales Hidrofílicos

Son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, generalmente estos representan la mayoría de los minerales del tipo estéril o ganga haciendo en el proceso de concentración que estos se mojen y permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse.

Minerales Hidrofóbicos

Son aquellos que no son mojables o son poco mojables por el agua tales como; metales nativos o sulfuros de metales, también pueden ser especies como; grafito, carbón bituminoso, talco, entre otros, evitando el mojado de las partículas minerales, éstas en el proceso de concentración pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender.

Existen tres tipos de flotación; flotación de espuma, flotación por película y flotación por aceites. [15]

La introducción del proceso de flotación de espumas en los albores del siglo XX revolucionó la industria de los minerales que por su versatilidad se usa y aplica para procesar tonelajes cada vez más grandes y de más baja ley, su importancia radica en que desde su invención ha permitido el tratamiento de menas complejas de muy baja ley, que de otro modo no se habrían considerado menas económicas.

En cuanto al aspecto tecnológico-científico actualmente el proceso de flotación de espumas es utilizado para concentrar minerales sulfuros complejos de Cu-Mo, Cu-Pb-Zn, Pb-Zn, Pb-Zn-Fe, etc.,

minerales oxidados de Cu, Pb, Zn, Fe, W, Sn, etc., minerales sulfuros que contienen Oro, minerales de Plata, minerales industriales no metálicos, azufre, talco, y carbón mineral. [13]

Fases involucradas en el proceso de Flotación

- Fase Sólida: Está representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen generalmente una estructura cristalina. Los minerales presentan una estructura cristalina, ésta es una consecuencia de la composición química de las moléculas, iones y átomos componentes que son, cada uno, un cuerpo complejo.

Minerales Apolares: Son hidrofóbicos (no reaccionan con los dipolos del agua).

Minerales Polares: Son hidrofílicos (los sólidos tienen la capacidad de hidratarse).

Las superficies polares reaccionan fuertemente con las moléculas del agua y estos minerales son hidrofílicos. Los minerales polares se subdividen en varias clases, dependiendo de la magnitud de la polaridad, que se incrementa de los grupos 1 a 5, como se muestra en la Tabla 2.1. [13]

Tabla 2.1 Clasificación de los minerales polares [13]

| Clasificación de los minerales polares. | | | | |
|---|-----------|-----------------|------------|-------------|
| Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3a | Grupo 4 | Grupo 5 |
| Galena | Barita | Cerusita | Hematita | Zircón |
| Covelita | Anhidrita | Malaquita | Magnetita | Willemita |
| Bornita | Yeso | Azurita | Geotita | Hemimorfita |
| Chalcosita | Anglesita | Wolfenita | Cromita | Berilio |
| Calcopirita | | | Ilmenita | Feldespatos |
| Estibnita | | Grupo 3b | Corindón | Silimanita |
| Argentita | | Flourita | Pirolusita | Granate |
| Bismutita | | Calcita | Limonita | Cuarzo |
| Milerita | | Widerita | Bórax | |
| Cobaltita | | Magnesita | Wolframita | |
| Arsenopirita | | Dolomita | Columbita | |
| Pirita | | Apatita | Tantalita | |
| Esfalerita | | Scheelita | Rutilo | |
| Oropimente | | Smithsonita | Casiterita | |
| Pentlandita | | Rodocrosita | | |
| Rejalgar | | Siderita | | |
| Au,Pt,Ag yCu | | Monazita | | |

- Fase Líquida: El agua debido a su abundancia, bajo precio y debido a sus propiedades específicas, constituye un medio ideal para dichas separaciones.

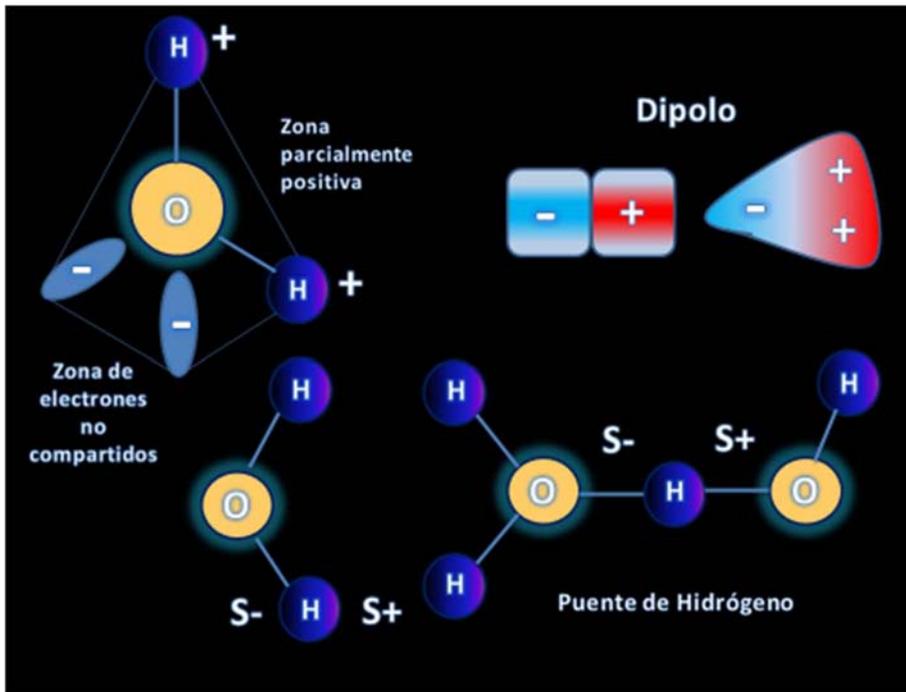


Figura 2.1 Molécula del agua. [8]

- Fase Gaseosa: Es el aire que se inyecta en la pulpa ya sea de manera neumática o mecánica, con el fin de formar las burbujas que son los mecanismos de transporte sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas para poder flotar. La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son:

- a) El aire influye químicamente en el proceso de flotación.
- b) Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.

Como ya comentamos la flotación de minerales depende de las propiedades de los minerales que le permite adherirse a la burbuja de aire y ser llevados a la superficie de la pulpa. A los reactivos que se adiciona a la pulpa (mineral-agua) para crear una superficie hidrófoba, se denominan colectores. Para facilitar la adhesión del colector al mineral útil y para impedir esta adhesión al mineral

estéril se agregan otros reactivos denominados activadores y depresores.

Colectores

Son moléculas o iones orgánicos heteropolares que se absorben selectivamente sobre las superficies minerales, haciendo que éstas se vuelvan hidrófobas (aerófilas). Los colectores tienen dos extremos funcionales, uno iónico, puede ser adsorbido en la superficie mineral ya sea por reacción química con los iones de la superficie del mineral (quimiadsorción) o por atracción electrostática a la superficie del mineral (adsorción física), y el otro una cadena o grupo orgánico que proporciona la superficie hidrofóbica al mineral, como se muestra en la Figura 2.2.

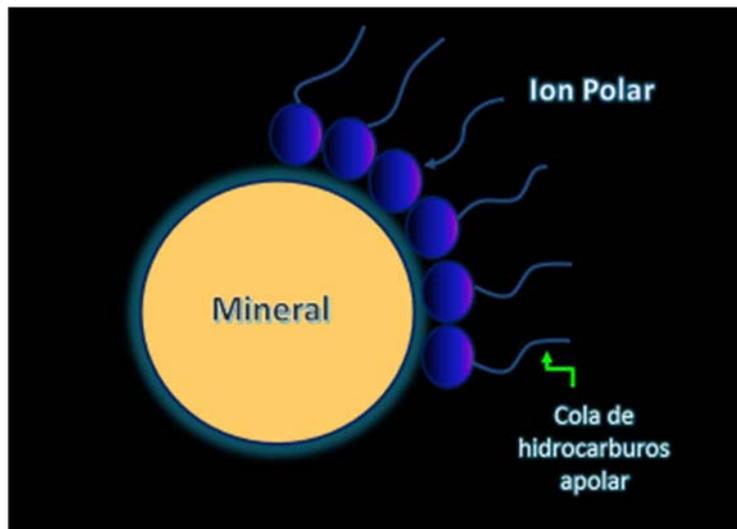


Figura 2.2 Interacción partícula-colector. [9]

Adhesión del colector a la superficie del mineral

El ángulo de contacto, no es una característica inherente del mineral, sino del grupo apolar (cadena hidrocarburos) del agente colector, por lo tanto; Mientras más larga sea la cadena de hidrocarburos mayor será el ángulo de contacto y, por lo tanto, mayor será la hidrofobicidad adquirida por el mineral. Se ha comprobado que las cadenas de tipo "iso" (iso-propil, iso-butil) forman ángulos de contacto mayores que las cadenas de tipo normal.

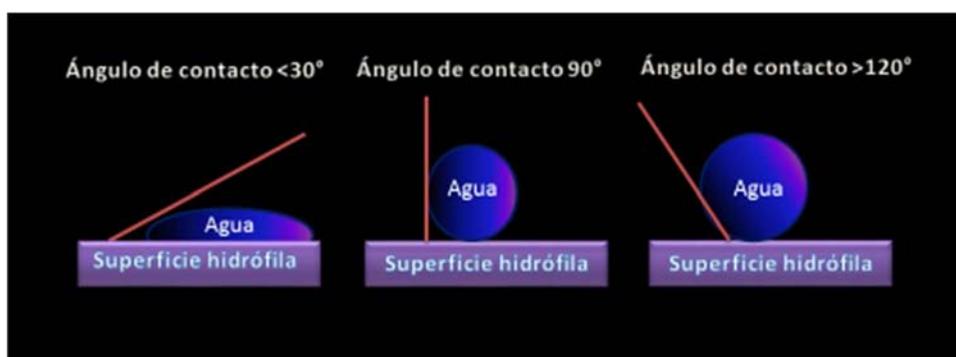


Figura 2.3 Comportamiento de una gota de agua en una superficie hidrofóbica y superhidrofóbica. [10]

Los xantatos son los principales colectores ocupados en la flotación de Sulfuros, estos forman parte de los colectores aniónicos y se caracterizan porque su parte polar posee una carga negativa la cual se absorbe a una superficie con carga positiva. El xantato etílico de potasio es el reactivo de mayor selectividad por su corta cadena carbonada, es usado generalmente en menas complejas de Ag/Pb o Zinc. El XEK es el mejor colector para la recuperación de los sulfuros que son relativamente hidrofóbicos como la galena. En la Figura 2.4 se muestra la estructura molecular del XEK. [11]

Fórmula:

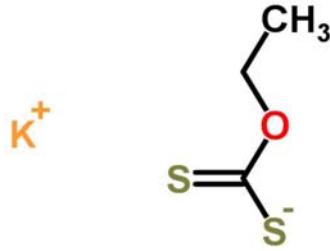


Figura 2.4 Estructura molecular de XEK. [11]

Activadores

Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que ayudan al colector a adsorberse en la superficie del mineral a flotar.

El Sulfato de Cobre (CuSO_4) es un ejemplo de un activador, éste activa a la esfalerita, pirita, calcopirita, pirotita, arsenopirita y cuarzo.

Depresores

Son reactivos químicos, orgánicos o inorgánicos que impiden la acción del colector en la superficie del mineral. Para el desarrollo de este proyecto se ocuparon depresores orgánicos del tipo quebracho (T5 y M3).

El nombre Quebracho proviene de la expresión “quebra-hacha” debido a la gran dureza de su madera. Los extractos de Quebracho son una compleja combinación de polifenoles obtenidos por extracción acuosa del duramen del árbol de Quebracho Colorado

que crece en la región denominada Chaco, que comprende el noreste de Argentina y el sur de Paraguay. Estos polifenoles son compuestos naturales que tienen las siguientes características:

- Origen catequínico: por lo que se les clasifica en la familia de los taninos condensados.
- Un amplio rango de pesos moleculares (que van desde 200 hasta 15,000) que pueden ser separados o bien reaccionados químicamente de acuerdo con el uso final deseado.
- Presencia de importante cantidad de trímeros y tetrámeros de polímeros C15 con una gran cantidad de grupos oxhidrilos (OH⁻) que le confieren un importante nivel de reactividad.
- Baja concentración de azúcares y ácidos.
- Alta estabilidad a la hidrólisis y resistencia a los microorganismos.

Quebracho T5 (*Shinopsis Lorentzii*): presenta la siguiente estructura (Figura 2.6), es un pentagalolglucosa. Estos quebrachos son compuestos de carácter aromático con predominantes grupos fenólicos polihídricos, los cuales le brindan una alta adsorción en la superficie mineral. Presenta estabilidad en un medio ácido y básico. [3]

Quebracho M3 (*Schinopsis Balansae*): presenta la siguiente estructura (Figura 2.7), este árbol es rico en el astrigente tanino, razón por la cual era usado para curtir, es posible extraer 1200 a 1250kg/m³ de taninos, con un rendimiento de 38%. [16]

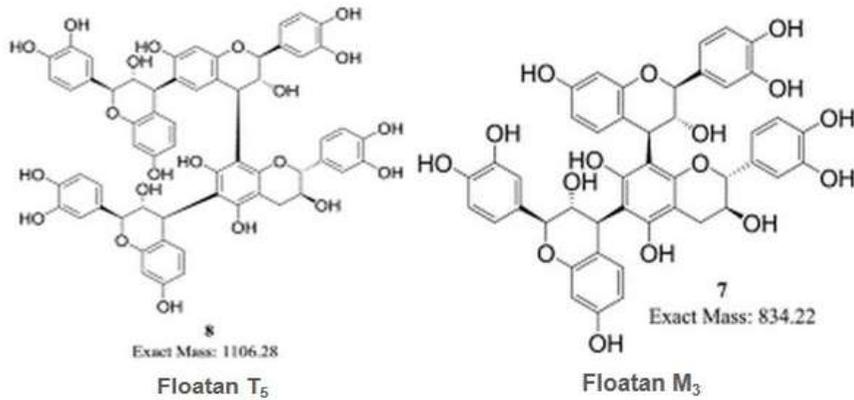


Figura 2.5 Estructura de Quebracho T5. Figura 2.6 Estructura de Quebracho M3. [12]

Otro reactivo utilizado en la depresión de los minerales es el cianuro, el cual se utiliza en la flotación selectiva de menas de Pb-Cu-Zn, como depresor de la esfalerita. Los estudios establecen que la esfalerita pura y limpia no absorbe los xantatos, hasta que la superficie sea activada por los iones de Cu. Sin embargo, los iones resultantes de la disolución muy ligera de los minerales de Cu presentes en la mena ocasionan una activación no intencional y evitan la flotación selectiva. El cianuro se agrega a la pulpa para desadsorber el cobre de la superficie y reaccionar con el cobre en la solución formando complejos solubles en cianuro. El cianuro de sodio es el más utilizado; se hidroliza en solución acuosa para formar un álcali libre y ácido cianhídrico relativamente insoluble.



La producción aun de pequeñas trazas de ácido cianhídrico es extremadamente peligrosa, los cianuros siempre se deben usar en medio alcalino, ya que el álcali libre en solución forzaría la reacción de hidrólisis hacia la izquierda.

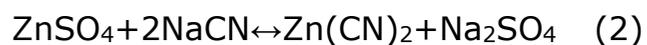
Los cianuros son, extremadamente tóxicos y se deben manejar con gran cuidado. Además tienen la desventaja de ser costosos y

también deprimen y disuelven el oro y la plata, reduciendo la extracción de esos metales. A pesar de estas desventajas, los cianuros se usan mucho debido a su alto grado de selectividad en la flotación.

Además de las reacciones del cianuro con los iones metálicos en solución, este puede reaccionar con los xantatos metálicos para formar complejos solubles, impidiendo la adsorción del xantato sobre la superficie del mineral. Mientras más grande sea la solubilidad del xantato metálico en el cianuro, tanto menos estable será la adhesión del colector en el mineral.

El efecto depresivo de cianuro depende de su concentración y de la longitud de la cadena del hidrocarburo de xantato. Mientras más grande sea la cadena, tanto más grande será la estabilidad del xantato metálico en las soluciones de cianuro y tanto más alta la concentración de cianuro necesaria para deprimir el mineral. Los xantatos de hidrocarburo de cadena corta se usan por tanto, para la flotación selectiva en la que los cianuros se usan como depresores. [13]

En algunos procesos se agrega sulfato de zinc, para asegurar la depresión satisfactoria de la esfalerita. Si están presentes iones de Cu, la introducción de Zn, evita la depositación de cobre sobre la superficie de la esfalerita, se considera que el cianuro reacciona con el sulfato de zinc para formar cianuro de zinc, el cual es relativamente insoluble y se deposita sobre la superficie de la esfalerita, volviéndola hidrofílica y evitando la adsorción del colector.



En una pulpa alcalina, también se forma hidróxido de zinc el cual adsorbe los iones cobre y se deposita sobre la superficie de esfalerita, impidiendo la adsorción del colector.

El uso del sulfato de zinc reduce de este modo el consumo de cianuro y se sabe de casos en los que la depresión de la esfalerita se logra solo usando sulfato de zinc. [13]

Otros reactivos utilizados en la flotación de minerales son los Espumantes y Modificadores de pH, los cuales se explican a continuación.

Espumante

Son agentes tensoactivos que se adicionan a la flotación con objeto de:

1. Estabilizar la espuma
2. Disminuir la tensión superficial del agua
3. Mejorar la cinética de interacción burbuja – partícula
4. Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia).

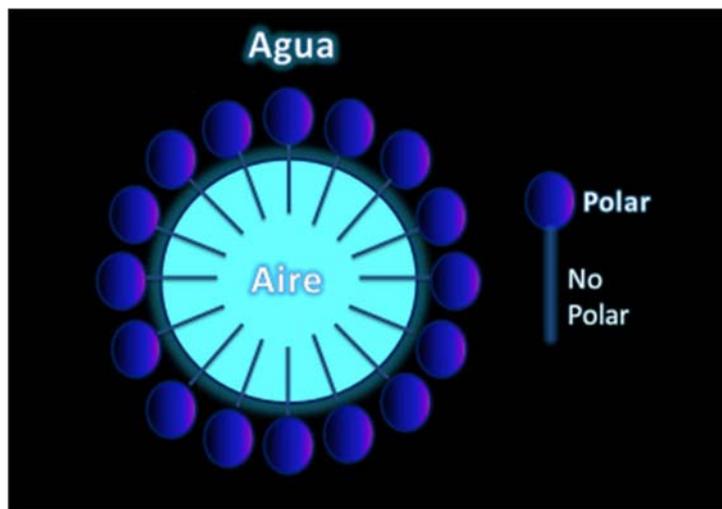


Figura 2.7 Interacción de Aire y el Agua en el espumante. [11]

Modificadores de pH

La efectividad de todos los reactivos o agentes de flotación dependen en gran medida del grado de alcalinidad (OH^-) o acidez (H^+) de la pulpa. Por lo tanto, un objetivo primario de una prueba de flotación es encontrar el valor óptimo de pH para una combinación dada de reactivos y mena.

El pH es uno de los pocos factores que se pueden medir fácilmente en una pulpa de flotación. La mayoría de plantas concentradoras que tratan sulfuros operan con una pulpa alcalina, debido a que produce resultados metalúrgicos óptimos y previene la corrosión de los equipos metálicos. Pocas Plantas usan todavía pulpas ácidas, localizadas donde la mena es muy ácida y la cal es difícil de conseguir o donde los minerales son flotados después de haber lixiviado la pulpa con ácido.

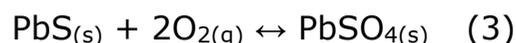
Los reguladores de alcalinidad más comúnmente utilizados en flotación son la cal (CaO o $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y el hidróxido de sodio (NaOH), siendo la cal la más económica, pero cuando el ion calcio causa problemas se utiliza el hidróxido.

El control del pH ácido es generalmente con ácido sulfúrico (H_2SO_4) por ser de más bajo costo. Moderadamente concentrado el ácido sulfúrico es también utilizado para destruir los colectores adsorbidos, principalmente xantatos y ácidos grasos, con el fin de hacer hidrofílicos a los minerales flotados.

Mecanismos de Flotación de la Galena y Esfalerita

La galena y la esfalerita son minerales en los cuales se lleva a cabo un mecanismo de quimiadsorción del colector en la superficie del mineral. Esta ocurre mediante los siguientes pasos:

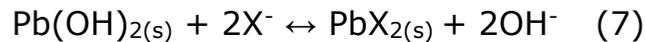
1. Oxidación del sulfuro de la superficie del mineral a sulfato, esto por medio del oxígeno disuelto en la pulpa como se ejemplifica en la siguiente reacción:



2. Reemplazamiento por intercambio de iones del ion sulfato de la superficie por el ion carbonato.



3. Reemplazamiento por intercambio de iones de los iones carbonato y sulfato de la superficie por el ion xantato (indicado por X^-), dependiendo del pH puede existir el ion hidroxilo. El xantato de plomo es más estable que el carbonato y sulfato del mismo, por lo que se formarán en la superficie de la galena mediante las siguientes reacciones:



Activación de la esfalerita

La esfalerita (ZnS) en general no se hidrofobiza de manera importante cuando se ponen en contacto con colectores del tipo xantato, por lo que se hace necesario su activación con cobre con el propósito de formar una capa de sulfuro de cobre sobre la esfalerita, el cual sí posee afinidad por dichos colectores.



La activación de esfalerita con Cu (II) da lugar a la formación de una capa conductora de calcosina (Cu_2S), mientras que la esfalerita es naturalmente aislante, permitiendo así que los colectores formen complejos insolubles del tipo CuX en la superficie de la esfalerita, de acuerdo a reacciones como la siguiente. [1]



Equipo de Flotación

La función principal que debe cumplir una celda de flotación es permitir que todas las partículas que se han convertido en hidrofóbicas entren en contacto y se adhieran a las burbujas de aire para formar una espuma en la superficie para ser removida.

Para lograr esta función, una celda de flotación debe:

- Mantener todas las partículas en suspensión, para lo cual se requiere que la velocidad ascendente de la pulpa sobrepase a la de asentamiento.
- Asegurar que todas las partículas que entren en la celda tengan la oportunidad de ser flotadas. Debe minimizarse el desvío de corrientes y la formación de cortos circuitos en el interior de la celda.
- Dispersar burbujas finas de aire en el seno de la pulpa.
- Promover el contacto partícula-burbuja de manera que las partículas hidrofóbicas puedan adherirse a las burbujas.
- Proporcionar una región de pulpa en quietud inmediatamente debajo de la espuma para minimizar el arrastre de pulpa hacia la espuma.
- Proporcionar suficiente espesor de espuma para permitir que ocurra el drenaje de las partículas arrastradas. [1]

Factores a evaluar en una celda de flotación

Los factores a evaluar en una celda de flotación son:

- Rendimiento metalúrgico, representado por la ley y la recuperación.
- Capacidad (en toneladas métricas por hora de alimentación y por unidad de volumen) [13]

DESARROLLO EXPERIMENTAL

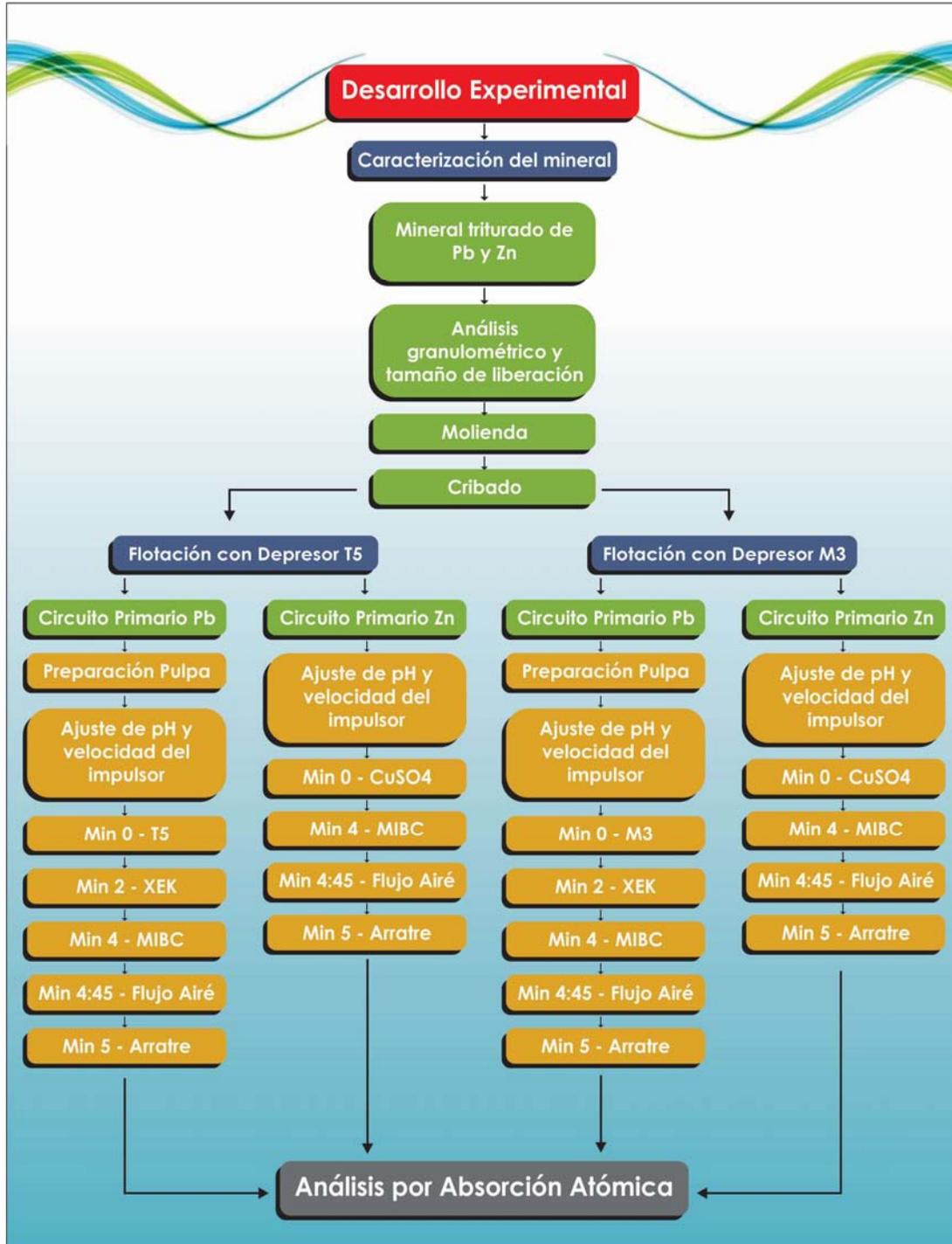


Figura 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo experimental.

En la Figura 3.1 se muestra el desarrollo experimental realizado en este trabajo, el cual consta de 3 etapas a) Caracterización del mineral, b) Preparación del mineral y c) Flotación en presencia del depresor *Schinopsis Lorenzii* y *Schinopsis Balansae*.

Etapas a) Caracterización del mineral.

Como etapa inicial se realizó una caracterización del mineral, la cual consistió en tomar una muestra representativa de los 200Kg de mineral proveniente de Grupo México, Unidad de Charcas, San Luis Potosí, dicho mineral fue caracterizado mediante un análisis de absorción atómica, siguiendo el siguiente proceso.

Se realizó un muestreo, con la finalidad de tener una muestra representativa, el mineral proveniente de la planta ya había pasado por dos etapas de trituración, por lo que se procedió a apilar el mineral sobre un plástico colocado en el piso del laboratorio y apilarlo de manera cónica, esta operación se realizó 3 veces con la finalidad de dar a las partículas una distribución homogénea, posteriormente se realizó una división por cuadrantes, uniéndose solo dos de los extremos del cuadrante, este proceso se realizó nuevamente hasta alcanzar una muestra con un peso aproximado de 18Kg.

Los 18 kg de mineral fueron divididos, utilizando un cuarteador como se muestra en la Figura 3.2, tomando nuevamente dos cuadrantes opuestos y desechando los restantes, este paso se repitió hasta obtener una muestra de aproximadamente 0.5 Kg, la cual se utilizó en el proceso de molienda con la finalidad de obtener el tamaño de liberación de las partículas con valor.



Figura 3.2 Cono para cuarteo de mineral

Molienda

La conminución del mineral fue realizada en un molino de bolas cuyas dimensiones son de 20.7 cm de diámetro y 15.7 de longitud, se utilizó 8.2 Kg de bolas de hierro como medio molurante y una carga de 0.5Kg de mineral por 10 minutos de molienda. Figura 3.3



Figura 3.3 Molino de bolas

El producto de la molienda fue cribado por debajo de la malla 325 ($44\mu\text{m}$), posteriormente se realizó un muestreo del producto mediante un partidor Jones (Figura 3.4) hasta obtener 5g de muestra para el análisis de espectroscopia de absorción atómica.



Figura 3.4 Partidos Jones para muestreo

Espectroscopia de absorción atómica

Se realizó en un equipo Pekín Elmer 3100, para determinar la concentración de Pb y Zn en la cabeza del mineral. Las longitudes de onda utilizadas fueron $\lambda_{Pb}=283.3\text{nm}$ y $\lambda_{Zn}=213.9\text{nm}$, establecidas mediante patrones certificados. Figura 3.5



Figura 3.5 Equipo Pekín Elmer 3100

Etapa b) Preparación de mineral.

La preparación del mineral consta de los siguientes pasos:

- Análisis granulométrico.
- Tamaño de liberación
- Molienda

Análisis Granulométrico.

Del mineral producto del muestreo se consideraron 40 Kg, los cuales llevaron un proceso de molienda, tal cual se describió en la etapa a), este mineral se introdujo en un sistema de cribas, considerando que la primera criba no retuviera más del 10% de la muestra, posteriormente se seleccionaron las cribas subsecuentes con una progresión geométrica de raíz cuadrada de dos, como se muestra en Tabla 3.1, el cribado del mineral se llevó a cabo con un Rot tap Rx-29, como el que se muestra en la Figura 3.6 hasta su tamaño de liberación.

Tabla 3.1 Cribas empleadas en el análisis granulométrico.

| No. de Malla | Tamaño (μm) |
|--------------|--------------------------|
| 35 | 500 |
| 45 | 355 |
| 60 | 250 |
| 80 | 180 |
| 120 | 125 |
| 170 | 90 |
| 250 | 63 |
| 325 | 45 |



Figura 3.6 Rot tap Rx-29

Tamaño de liberación.

Para determinar el tamaño de liberación del mineral de Pb-Zn, se hizo con ayuda de un microscopio estereoscópico American Óptica AO 570, se colocó una cuadrícula de un centímetro cuadrado y se realizó el conteo de las partículas valiosas con respecto a la ganga, hasta obtener el 100% de partículas liberadas. Figura 3.7



Figura 3.7 Microscopio Estereoscópico American Óptica AO 570.

El mineral que no alcanzó el tamaño de liberación se retornó al molino de bolas, siguiendo la misma secuencia de carga que se explicó en la etapa a), hasta alcanzar 40 Kg de mineral, de donde se tomaron las muestras para realizar las flotaciones, que se presentan en este trabajo.

Etapa c) Flotación en presencia de depresor Schinopsis Lorenzii y Schinopsis Balansae

Se realizaron flotaciones selectivas para evaluar dos depresores orgánicos quebracho T5 (Schinopsis Lorenzii), y M3 (Schinopsis Balansae). Tomando la siguientes condiciones de experimentación Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Condiciones experimentales de flotación (concentración del depresor T5 y M3 y el pH en el circuito de plomo y Zinc).

| Quebracho T5 (Schinopsis Lorenzii) | | | Quebracho M3 (Shinopsis Balansae) | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| [T5] mg/L | pH en el circuito de Pb | pH en el circuito de Zn | [M3] mg/L | pH en el circuito de Pb | pH en el circuito de Zn |
| 10 | 9,1 | 11 | 10 | 9,1 | 11 |
| | 9,5 | 11 | | 9,5 | 11 |
| | 10,1 | 11 | | 10,1 | 11 |
| | 10,5 | 11 | | 10,5 | 11 |
| 15 | 9,1 | 11 | 15 | 9,1 | 11 |
| | 9,5 | 11 | | 9,5 | 11 |
| | 10,1 | 11 | | 10,1 | 11 |
| | 10,5 | 11 | | 10,5 | 11 |
| 20 | 9,1 | 11 | 20 | 9,1 | 11 |
| | 9,5 | 11 | | 9,5 | 11 |
| | 10,1 | 11 | | 10,1 | 11 |
| | 10,5 | 11 | | 10,5 | 11 |

Con la finalidad de evaluar el efecto de las variables (pH y concentración del depresor), en la flotación primaria de galena y esfalerita, se realizaron los siguientes pasos:

- Preparación del mineral.
- Preparación de reactivos.
- Flotación de minerales (galena y esfalerita).

Preparación de mineral.

Este proceso se describe en la etapa b), hasta alcanzar el tamaño de liberación del mineral, que corresponde a un tamaño de 45µm o malla 325. El mineral fue pesado en una balanza analítica de 4 cifras, y puesta en bolsas de plástico para evitar la oxidación del mineral, el peso del mineral registrado para cada flotación fue 198g.

Preparación de reactivos.

La medición de los reactivos se efectuó en una balanza analítica con 4 cifras significativas, como se muestra en la Figura 3.8, los reactivos (Tabla 3.3), fueron colocados en recipientes de plástico con tapa, para evitar la contaminación.

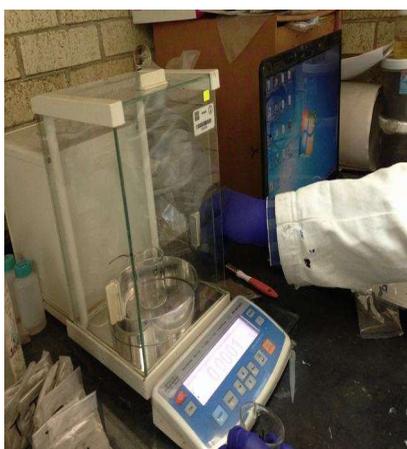


Figura 3.8 Balanza analítica.

Tabla 3.3 Concentraciones empleadas en los reactivos de experimentación.

| Reactivos | Concentración |
|-------------------------------------|------------------------|
| Colector (XEK) | 1.5×10^{-4} M |
| Quebracho (T5) | 10,15 y 20 mg/L |
| Quebracho (M3) | 10, 15 y 20 mg/L |
| Activador (CuSO₄) | 1.5×10^{-4} M |
| Espumante (MIBC) | 0.32 mL/L |
| Espumante (MIBC) | 0.16mL/L |

Flotación de minerales (galena y esfalerita).

Para realizar las pruebas de flotación se ocupó una celda de laboratorio marca Denver (Figura 3.9), cuya capacidad es de 1100mL de agua y 18% sólidos en peso, así como un medidor de pH marca Oakton pH 2100 para monitorear el pH durante el proceso de flotación. En la tabla 3.4 se observa la metodología empleada durante las flotaciones del mineral de plomo y el de zinc.

Tabla 3.4 Condiciones de acondicionamiento y velocidad de agitación para los circuitos de Pb y Zn

| Acondicionamiento, orden de adición y velocidad de agitación para la flotación primaria de Pb y Zn. | | | |
|---|--|--------------|----------------|
| Circuito | Etapas | Tiempo (min) | Vel. Agitación |
| Flotación primaria de Plomo | Acondicionamiento de la pulpa | 0-5 | 1250 RPM |
| | Adición de depresor a la celda (T5 o M3) | 0 al 1 | 1250 RPM |
| | Ajuste de pH en la celda | 1 al 3 | 1250 RPM |
| | Adición de colector (XEK) | 3 | 1250 RPM |
| | Ajuste de pH en celda | 3 al 4 | 1250 RPM |
| | Adición 0.032ml/L de Espumante (MIBC) | 4 | 1250 RPM |
| | Apertura de válvula de Flujo de Aire | 4.45 al 5 | 1250 RPM |
| | Colección de concentrado de Pb | 5 al 7 | 1250 RPM |
| Flotación primaria de Zinc | Cierre de válvula de Flujo de Aire | 7 | 1250 RPM |
| | Ajuste de cronómetro a 0 | 0 | 1250 RPM |
| | Ajuste del Volumen de la celda | 0 al 1 | 1250 RPM |
| | Adición del Activador CuSO_4 | 1 | 1250 RPM |
| | Ajuste de pH en celda | 1 al 4 | 1250 RPM |
| | Adición 0.016ml/L de Espumante (MIBC) | 4 | 1250 RPM |
| | Apertura de válvula de Flujo de Aire | 4.45 al 5 | 1250 RPM |
| | Colección de concentrado de Zn | 5 al 10 | 1250 RPM |

*Cuando se inició el flujo de aire se retiró el pH-metro, para evitar incidentes con el equipo.

Los productos de flotación fueron analizados mediante un equipo de absorción atómica (Figura 3.5), de acuerdo al diagrama propuesto de la Figura 3.8, analizando el concentrado de Plomo,

estériles de Plomo, concentrado de Zinc y estériles de Zinc. Para ello se pesaron aproximadamente 0.1g de cada uno de los flujos antes mencionados, en cada una de las flotaciones, posteriormente se realizó una limpieza con acetona, que tiene como objetivo retirar cualquier producto proveniente del proceso, se agregaron 20mL de HCl en una solución 1:1, esta solución se calentó a una temperatura de 70°C, cubriéndola con un vidrio de reloj y dentro de una campana de extracción, por último se adicionaron 3 gotas HNO₃, para asegurar tener todo el metal libre en la solución, se aforó a 100mL y finalmente se tomó 1mL de esta solución y se aforó a 100mL para poder realizar la lectura en el equipo de absorción atómica, ya que la concentración era muy alta para poder realizar la lectura después de la digestión.

El equipo de absorción atómica modelo Pekín Elmer 3100, fue calibrado mediante estándares certificados, con los cuales se realizaron las curvas de calibración (Anexo D Figura 1D y Figura 2D), respectivamente para la determinación de Zn, en la que se obtuvieron correlaciones de $R^2=0.99986$ para Pb y $R^2=0.99131$ para Zn.



Figura 3.9 Celda de flotación Denver.

Circuito de Flotación

A continuación se muestra en la figura 3.10 el circuito propuesto para la flotación selectiva de menas complejas de Pb-Zn. Este circuito se realizó para cada una de las flotaciones, donde se estudió la concentración de los dos depresores naturales quebracho T5 y M3 a las concentraciones de 10, 15 y 20mg/L, además de evaluar el efecto del pH en la depresión de la esfalerita dentro del circuito de plomo. Los pH que se evaluaron fueron 9.1, 9.5, 10.1 y 10.5.

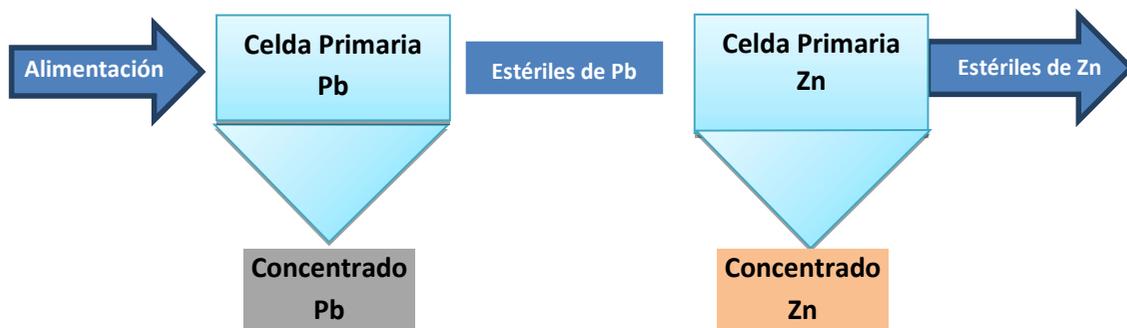


Figura 3.10 Circuito de flotación selectiva. Celda 1 circuito primario de Plomo, celda 2 circuito primario de Zinc.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Tabla 4.1. Composición Química en cabeza, del mineral proveniente de la Unidad Charcas, Grupo México, SLP.

| Grupo México Unidad Charcas | Composición Química (Absorción Atómica) | |
|--------------------------------|---|----------------|
| | Pb (% en peso) | Zn (% en peso) |
| | 1.16 ± 0.03 | 4.76 ± 0.04 |

Tabla 4.2 Resultados obtenidos durante las flotaciones a diferentes valores de pH, usando como depresor el quebracho (T5), a concentraciones de 10, 15 y 20mg/L, en los concentrados de Pb y Zn.

| Quebracho T5 (Schinopsis Lorentzii) | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| [T5] mg/L | pH en el circuito de Pb | pH en el circuito de Zn | Concentrado de Pb | | Concentrado de Zn | |
| | | | %Ley Pb | %Rec Pb | %Ley Zn | %Rec Zn |
| 10 | 9,1 | 11 | 14,76 | 83,84 | 24,69 | 46,77 |
| | 9,5 | 11 | 19,70 | 87,13 | 26,60 | 34,07 |
| | 10,1 | 11 | 18,76 | 77,67 | 30,60 | 35,38 |
| | 10,5 | 11 | 21,62 | 42,94 | 21,65 | 12,72 |
| 15 | 9,1 | 11 | 19,70 | 71,76 | 26,24 | 24,65 |
| | 9,5 | 11 | 26,87 | 57,81 | 20,90 | 8,96 |
| | 10,1 | 11 | 16,82 | 51,73 | 22,75 | 11,84 |
| | 10,5 | 11 | 13,97 | 41,84 | 21,96 | 9,37 |
| 20 | 9,1 | 11 | 20,59 | 81,11 | 27,45 | 26,74 |
| | 9,5 | 11 | 24,95 | 62,15 | 23,95 | 12,72 |
| | 10,1 | 11 | 19,74 | 34,44 | 22,70 | 7,91 |
| | 10,5 | 11 | 14,90 | 27,03 | 20,85 | 7,54 |

Tabla 4.3 Resultados obtenidos durante las flotaciones a diferentes valores de pH, usando como depresor el quebracho (M3), a concentraciones de 10, 15 y 20mg/L, en los concentrados de Pb y Zn.

| Quebracho M3 (Schinopsis Balansae) | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| [M3] mg/L | pH en el circuito de Pb | pH en el circuito de Zn | Concentrado de Pb | | Concentrado de Zn | |
| | | | %Ley Pb | %Rec Pb | %Ley Zn | %Rec Zn |
| 10 | 9,1 | 11 | 20,19 | 83,09 | 30,77 | 43,29 |
| | 9,5 | 11 | 20,83 | 70,41 | 23,81 | 22,55 |
| | 10,1 | 11 | 16,70 | 30,09 | 23,58 | 9,49 |
| | 10,5 | 11 | 17,73 | 59,86 | 22,66 | 15,68 |
| 15 | 9,1 | 11 | 17,72 | 87,70 | 25,59 | 42,26 |
| | 9,5 | 11 | 19,40 | 69,20 | 22,31 | 26,97 |
| | 10,1 | 11 | 28,83 | 77,14 | 21,87 | 21,96 |
| | 10,5 | 11 | 24,25 | 62,91 | 24,25 | 15,77 |
| 20 | 9,1 | 11 | 24,13 | 74,17 | 24,13 | 19,59 |
| | 9,5 | 11 | 17,70 | 84,52 | 19,67 | 36,17 |
| | 10,1 | 11 | 16,54 | 80,19 | 29,18 | 33,68 |
| | 10,5 | 11 | 18,98 | 86,59 | 29,97 | 46,62 |

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el circuito primario de plomo con respecto a la ley y recuperación del plomo y zinc.

Como puede ser observado en la Figura 4.1, la recuperación de Pb en presencia de quebracho T5 (*Schinopsis Lorentzii*) muestra un caída lineal con el incremento del pH, y a su vez se observa el incremento de % ley de Pb, este tipo de comportamiento es común fundamentalmente en una operación ley-recuperación de un proceso de flotación; esta caída en la pendiente de la recuperación de Pb se debe a la posible formación de un hidróxido de plomo ($Pb(OH)_2$), como se observa en la Figura 3D (Anexo D) . Dentro de los puntos que se vuelven interesantes está el obtenido a un pH de 9.5, ya que se tiene el máximo en la recuperación de Pb de 87.13% y el segundo valor más alto en ley, 19.7 % Pb. La línea roja claro representa la recuperación de Zn que está flotando dentro del concentrado de Pb, ésta también tiende a decaer al aumentar el pH. Con respecto al %Rec Zn y %Ley Zn, los valores más bajos fueron obtenidos a un pH de 10.5, en el circuito donde se utilizó el quebracho *Schinopsis Lorentzii*.

La línea verde oscura representa la recuperación de Pb en presencia de quebracho M3 (*Schinopsis Balansae*), la cual tiene un máximo de 83.09%Pb a pH 9.1 y decrece al aumentar el pH, por otro lado la ley presenta un comportamiento casi constante aunque su máximo se encuentra a pH 9.1, en la línea color crema que representa la ley de Zn en el concentrado de Pb, esta tiene un comportamiento casi constante y relativamente alto, sin embargo lo que ayuda es la recuperación del Zn la cual se encuentra en valores bajos y decrece al aumentar el pH, comportamiento que se observa en la Figura 4.1 en pH 10.5.

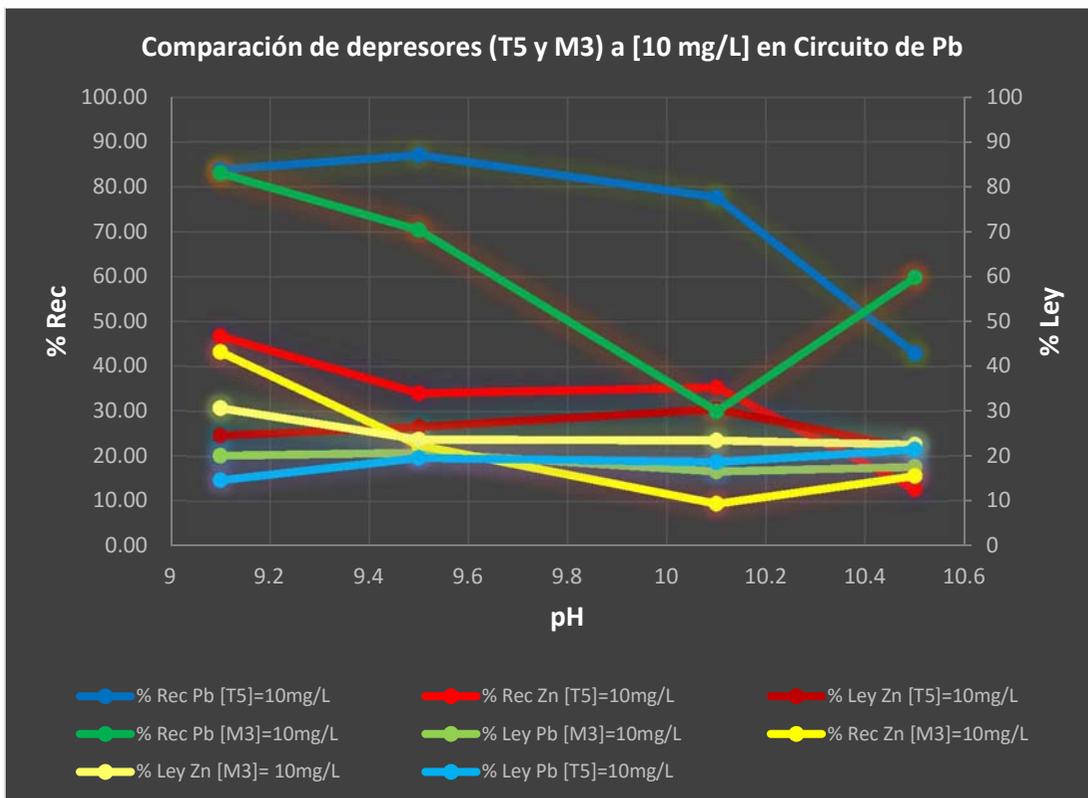


Figura 4.1 Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 10mg/L y evaluado a diferentes valores de pH.

En la Figura 4.2, se observa que la recuperación de Pb en presencia de quebracho T5, tiende a disminuir conforme se aumenta el pH, sin embargo, existe un comportamiento interesante con respecto a la ley de Pb ya que también tiende a disminuir con el aumento del pH; a pH 9.5 se encuentra el valor más alto en la ley de Pb y a su vez se encuentra el valor más bajo para la recuperación de Zn en el concentrado de Pb, esto es un punto muy importante ya que, la ley de Zn dentro del concentrado de Pb es casi constante con valores de alrededor de 25.59% Ley de Zn en el concentrado de Pb. Lo cual indica que la ley de Zn no fue afectada por el depresor T5; sin embargo, la recuperación de Zn (línea rojo claro) disminuye conforme aumenta el pH a una concentración constante de 15 mg/L.

El comportamiento que tiene el concentrado de Pb en presencia del quebracho M3, (*Schinopsis Balansae*), es el comportamiento más común en un proceso ley-recuperación, este comportamiento también se observa en la línea de color amarillo que representa la recuperación de Zn, y la línea de color crema que hace referencia al %Ley Zn dentro del concentrado de Pb; Con lo anterior se afirma que a pH 10.1 se tuvo la mejor condición de trabajo para la flotación de Pb con valores bajos de Zn.

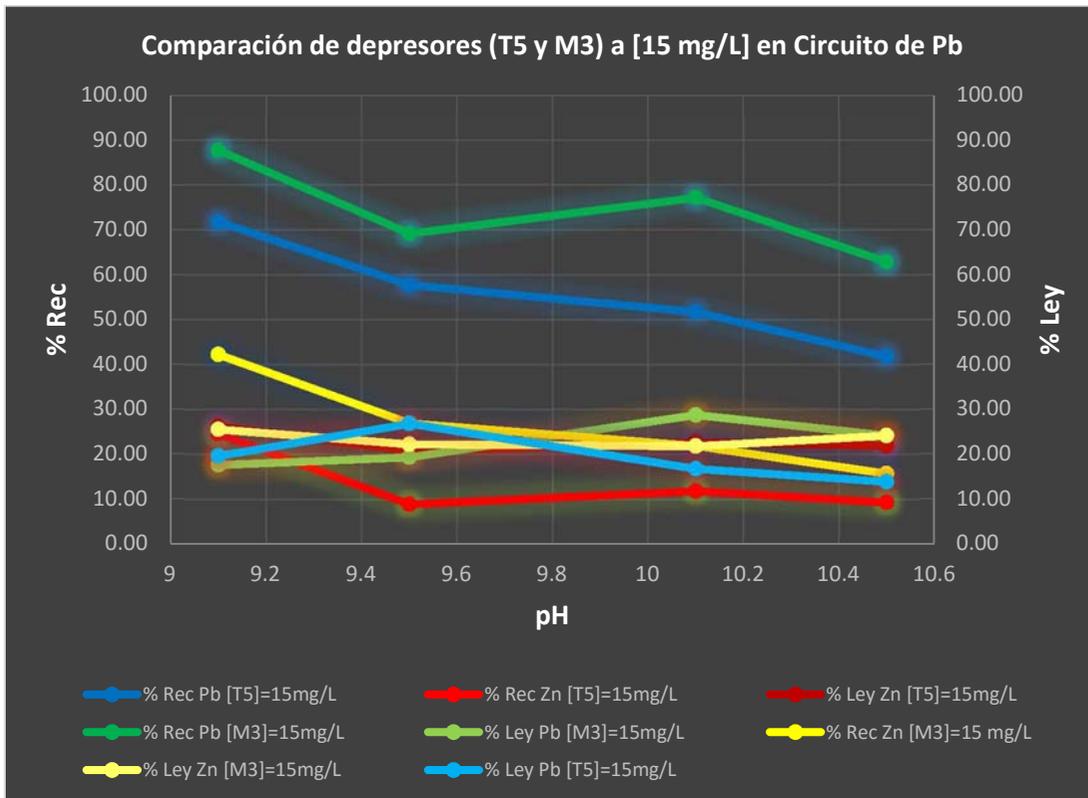


Figura 4.2. Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 15mg/L y evaluado a diferentes valores de pH.

En la Figura 4.3, la línea azul fuerte representa la recuperación de Pb, ésta tiende a disminuir a medida que se incrementa el pH, la ley de Pb presenta el mismo comportamiento. En las tres figuras anteriores es fácil darse cuenta que la recuperación de Pb en presencia del quebracho T5 (*Schinopsis Lorentzii*) es más

susceptible a sufrir cambios significativos con respecto al incremento de pH. Así mismo, se observa que el Zn no se deprimió en su totalidad dentro del circuito de Pb, lo que ayuda al concentrado de Plomo es la recuperación de Zn la cual disminuye hasta valores de 7.54% Rec Zn en el concentrado de Pb.

Con respecto a la recuperación de Pb en presencia del depresor M3 (Schinopsis Balansae), en la Figura 4.3 hay un crecimiento lineal, que se encuentra en función al incremento del pH, este comportamiento no se asemeja al que se obtuvo en las figuras anteriores (4.1 y 4.2). Esto puede deberse a la concentración de 20mg/L de quebracho Schinopsis Balansae la cual modificaría la polaridad del mineral, debido a que posiblemente se llegó a la concentración micelar crítica, convirtiendo al mineral hidrofóbico.

La ley de Pb no muestra variaciones muy significativas al cambio de pH, sin embargo lo que respecta al contenido de Zn en el concentrado de Pb (línea color rojo fuerte), el %Ley de Zn es prácticamente invariable al cambio de pH, en cambio la recuperación de Zn (línea color rojo claro) decrece al incrementar el pH.

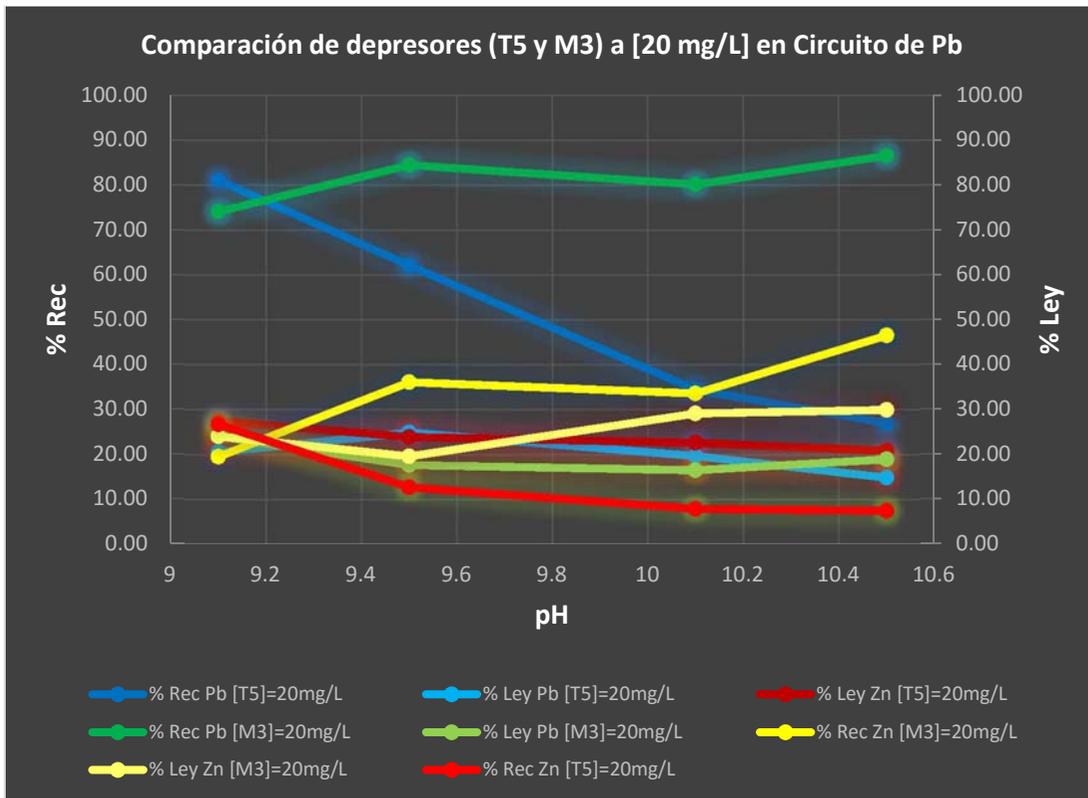


Figura 4.3. Efecto de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo la concentración de los depresores a 20mg/L y evaluado a diferentes valores de pH.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el circuito de plomo y el circuito de Zn, mencionando tanto al concentrado de plomo como al concentrado de zinc, con el objeto de evaluar el efecto del pH en cada una de las concentraciones del depresor T5 Schinopsis Lorenzii y el M3 Schinopsis Balansea.

Las líneas azules de la Figura 4.4, indican la recuperación y la ley de Pb del concentrado de Pb en presencia del depresor T5, estas líneas concuerdan con los comportamientos reportados en los procesos de flotación de menas sulfuradas, donde al aumentar la ley disminuye la recuperación como se observa a pH 10.5. Por otro lado las líneas rojas muestran la recuperación de Zn y la ley de Zn para el concentrado de Zn. Después de ser activado el Zn con el sulfato de cobre, en la Figura 4.4 se observa que no hay cambios

tan significativos en la recuperación de Zn con respecto a la variación de pH como los hubo en el circuito de Pb.

La línea verde oscuro que se observa en la Figura 4.4, representa la recuperación de Pb en presencia del depresor M3 (*Schinopsis Balansae*), presenta cambios significativos a la variación de pH teniendo un mínimo a pH 10.1, a diferencia de la ley que no se ve afectada por el cambio de pH. Con lo que respecta al comportamiento de Zn después de haber sido activado con sulfato de cobre, presentó un mejor rendimiento y una mejor ley que la obtenida en el circuito donde se ocupó el quebracho T5 (*Schinopsis Lorentzii*) como depresor.

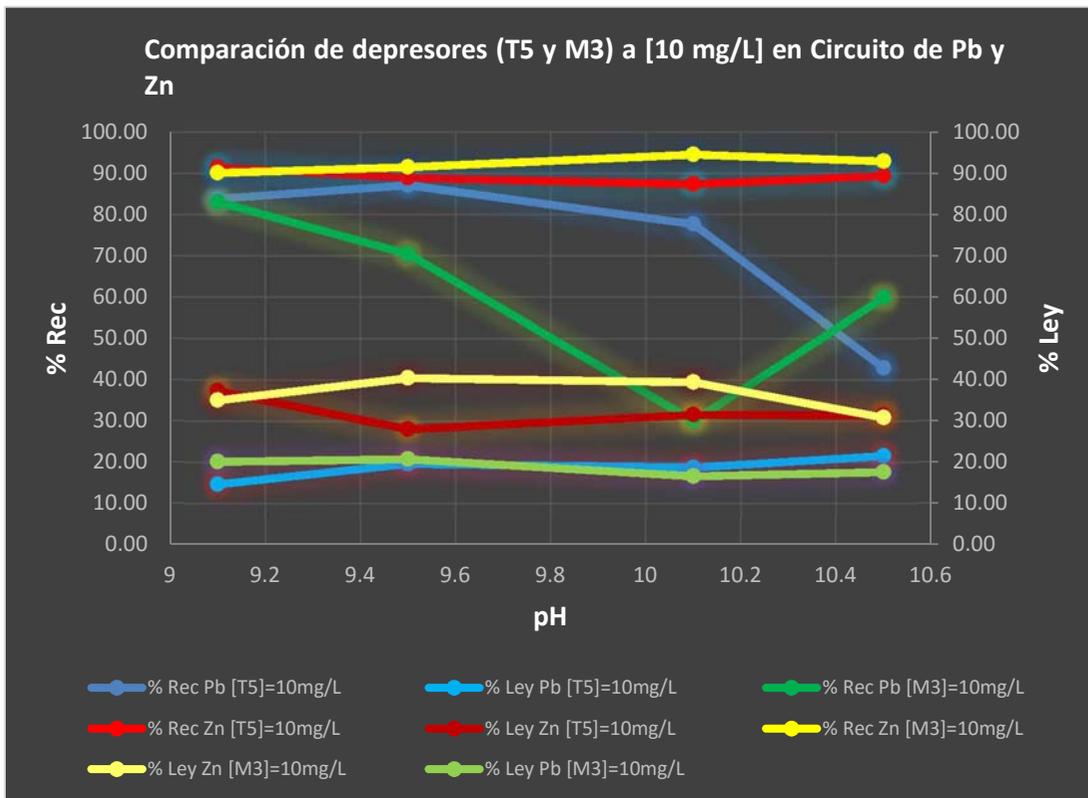


Figura 4.4. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 10mg/L y evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.

En Figura 4.5 se observa que la recuperación de Pb en presencia del depresor T5 mantiene la misma tendencia a disminuir conforme aumenta el pH, de igual manera la recuperación de Pb en presencia del quebracho M3, sin embargo se observa notablemente que las recuperaciones son mayores para el circuito donde se empleó el quebracho M3 como depresor con un valor de 87.7%Rec Pb. Con lo que respecta a las leyes, se observa en la línea azul (parte inferior de la Figura) la cual corresponde al circuito con T5 (*Schinopsis Lorentzii*) como depresor, éste no presentó un comportamiento común con las gráficas de flotación ya que al disminuir la recuperación disminuye también la ley, en caso contrario las líneas que representan al circuito con M3, sí presentan un comportamiento muy común para los circuitos de flotación donde las leyes aumentan a medida que disminuye la recuperación.

Las recuperaciones de Zn son muy similares en el circuito donde se ocupó quebracho T5, así como en el circuito donde se empleó quebracho M3 como depresor, esto se observa en la Figura 4.5, la ley más alta se obtuvo en el circuito donde se realizaron las pruebas con el quebracho M3 como depresor a un pH de 9.1 con un valor de 40.35%Ley de Zn.

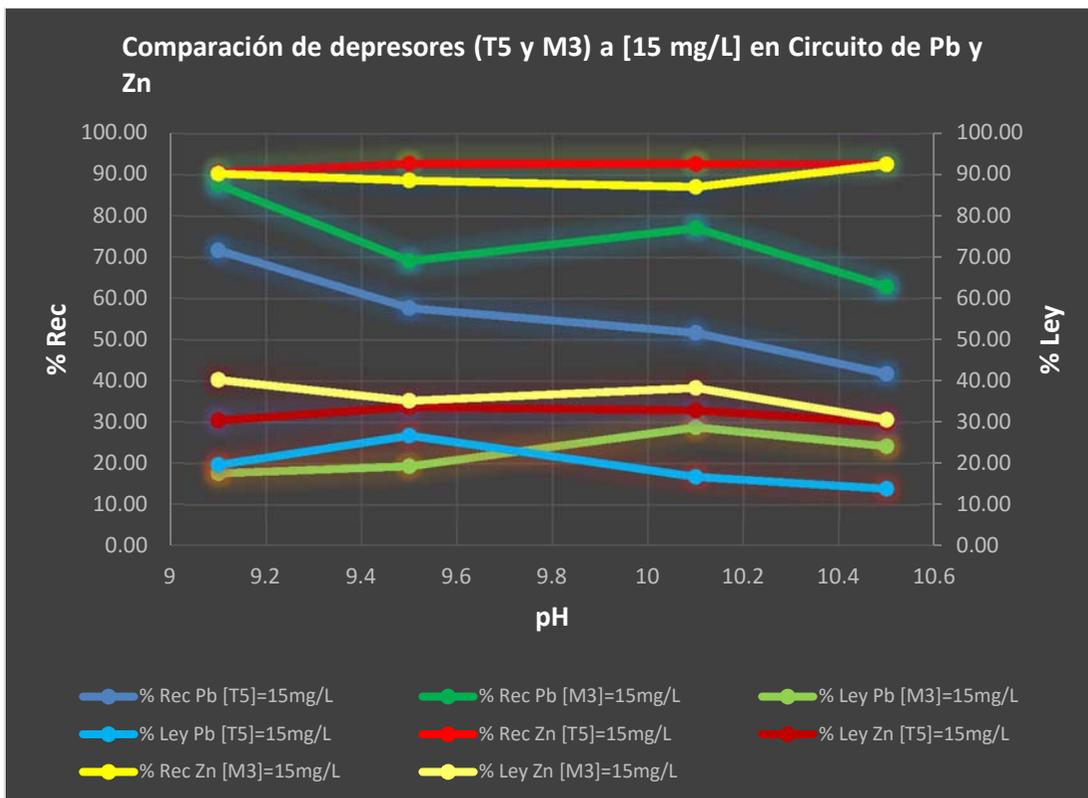


Figura 4.5. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 15mg/L y evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.

En la Figura 4.6, se observa que las recuperaciones de Zn en presencia del depresor M3 y T5 presentan el mismo comportamiento, sólo a pH 9.1 es mayor la recuperación de Zn en presencia del depresor M3. Con respecto a la ley vemos que no hay cambios muy significativos entre las leyes alcanzadas entre el circuito donde se ocupó el T5 como depresor y el circuito donde se usó M3 como depresor, sólo a pH 10.5 la ley de Zn obtenida en el circuito con T5 (*Schinopsis Lorentzii*), presenta un valor significativamente más alto que el obtenido con M3 con un valor de 34.51% Ley de Zn.

Con lo que respecta a los resultados que se presentan en las Figuras 4.5 y 4.6, las leyes y recuperaciones de Zn, en presencia

de quebracho T5 y M3, son muy similares entre sí; esto es un indicativo, la concentración del depresor es muy baja después de haber pasado por el circuito de Pb, la presencia del depresor en el Zn es lo suficientemente baja para que el activador (sulfato de cobre) pueda cambiar la polaridad en la superficie del Zn, y volverlo hidrofóbico.

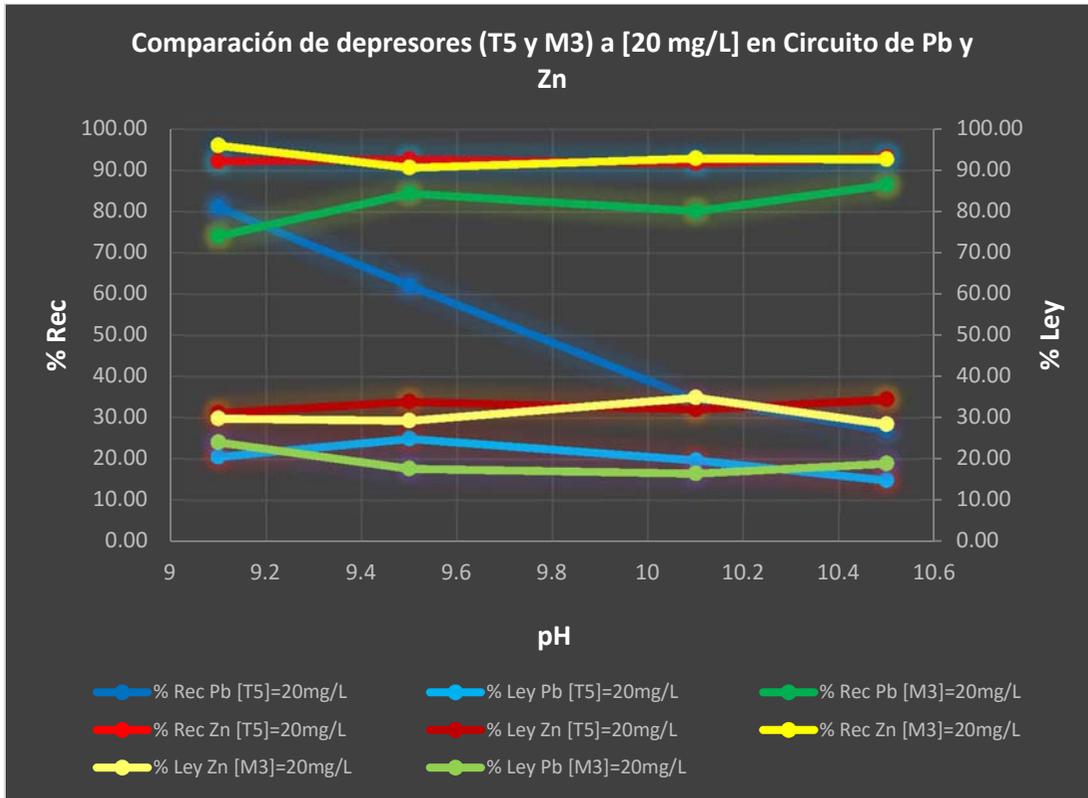


Figura 4.6. Efecto de los depresores T5 y M3 en los concentrados de Pb y Zn, manteniendo la concentración de los depresores a 20mg/L, evaluado a diferentes valores de pH el circuito de Pb, y manteniendo la flotación del Zn a pH 11.

Las figuras que se presentan a continuación muestran el resultado del efecto de la concentración de los depresores T5 (*Schinopsis Lorentzii*) y M3 (*Schinopsis Balansae*) en el circuito de plomo.

En la Figura 4.7 se puede observar la línea azul (parte superior) la cual representa la recuperación de Pb en el concentrado de plomo,

ésta se ve afectada cuando la concentración del depresor T5 es de 15mg/L. Sin embargo, la línea azul claro (parte inferior) que representa la ley de Pb en el concentrado, muestra un claro asenso aun cuando se incrementa la concentración del depresor T5. La línea roja clara representa la recuperación de Zn en el concentrado de Pb, ésta tiende a disminuir con el incremento en la concentración del depresor T5, al mismo tiempo que la ley de Zn en el concentrado de Pb aumenta, esto es un comportamiento muy común en los procesos de flotación.

La línea verde que representa la recuperación de Pb en presencia del depresor M3, disminuye un poco al aumentar la concentración de depresor Schinopsis Balansae, sin embargo es de mayor interés observar que al aumentar la concentración del depresor M3, la recuperación y la ley de Zn en el concentrado de Pb disminuyen, como lo muestran las líneas de color amarillo encontrando su valor mínimo a la concentración de 20mg/L de quebracho M3 (Schinopsis Balansae).

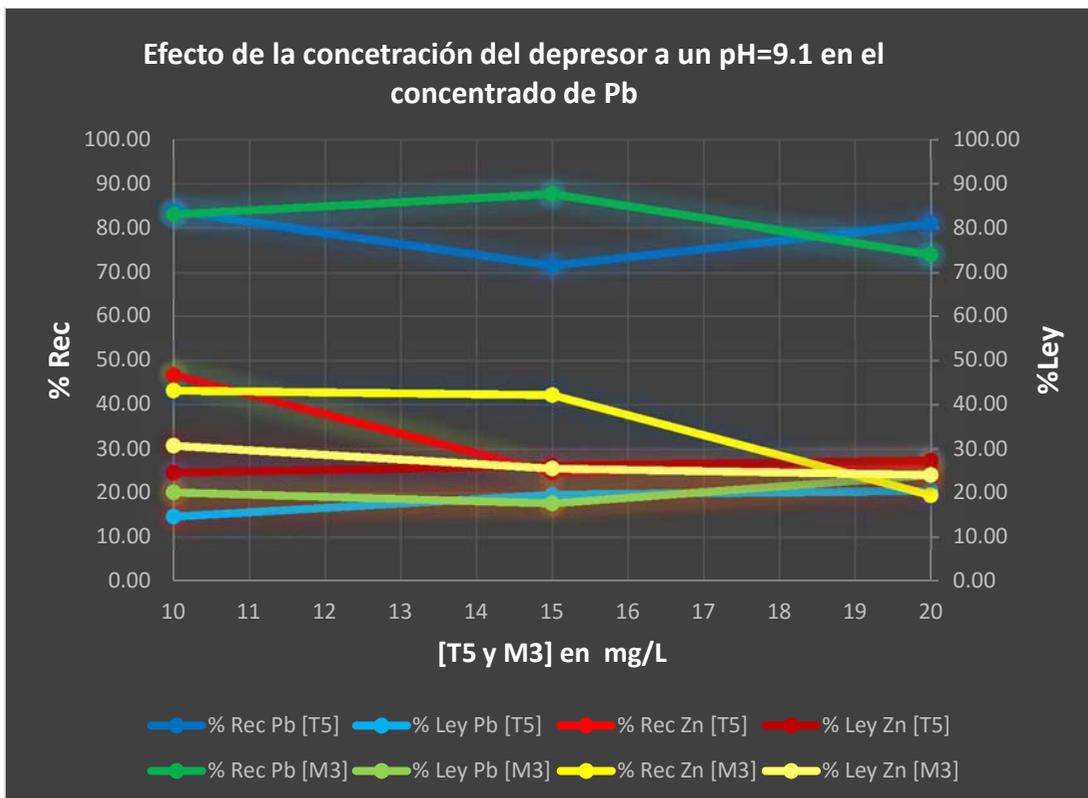


Figura 4.7. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 9.1 para el concentrado de Pb y de 11 para la flotación de Zn.

La recuperación de Pb, que se muestra en la Figura 4.8, donde se representa el %Rec Pb con la línea de color azul fuerte, ésta se ve afectada claramente al aumentar la concentración del depresor T5 (Schinopsis Lorentzii), sin embargo la ley de Pb en el concentrado de Pb aumenta un poco cuando disminuye la recuperación de Pb. La ganancia de Zn en el concentrado de Pb del circuito donde se trabajó con quebracho T5 como depresor disminuye al aumentar la concentración del depresor, esto se observa en la línea rojo intenso, aunque la ley va en aumento a medida que se incrementa la concentración como se muestra en la línea rojo oscuro.

En caso contrario al quebracho T5, el quebracho M3 no afecta la recuperación de Pb en el concentrado de Pb, al aumentar la concentración del depresor también se incrementa la recuperación,

esto se observa claramente en la línea verde que se encuentra en la parte superior del gráfico. En la parte inferior hay otra línea de color verde que representa la ley de Pb en el concentrado de Pb, ésta no presenta cambios con el aumento de la concentración del depresor. La línea de color amarillo intenso representa la recuperación de Zn en el concentrado de Pb, ésta tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración del depresor M3. El aumento de la concentración del depresor M3 no afecta la ley de Zn en el concentrado de Pb como se observa en la línea color crema.

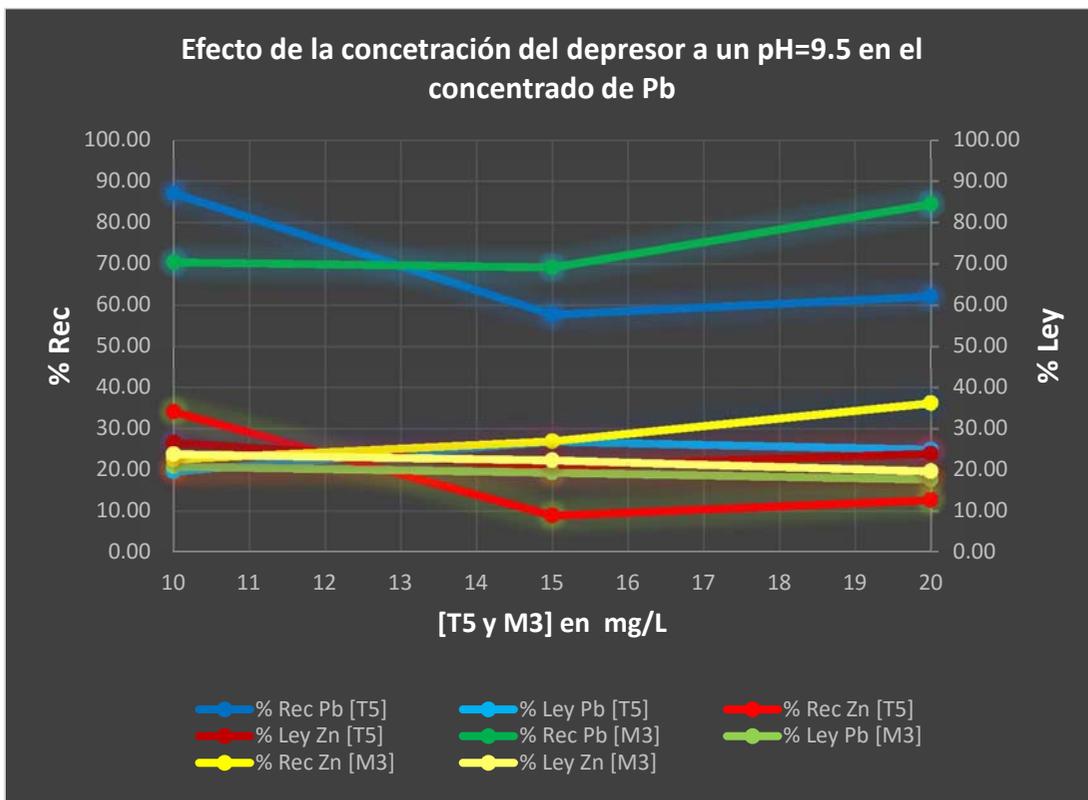


Figura 4.8. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 9.5 para el concentrado de Pb.

Ahora bien, el aumento en la concentración del quebracho T5 provoca la disminución en la recuperación del concentrado de Pb (la línea de color azul fuerte de la Figura 4.9), aunque la ley de Pb en su concentrado aumenta, con el incremento de la concentración del quebracho T5 (línea azul clara). La ley de Zn en el concentrado de Pb disminuye de 26.6%Ley Zn a 23.95%LeyZn con el aumento de la concentración del depresor T5, sin embargo se observa que la recuperación tiende a disminuir de manera considerable al aumenta la concentración del depresor, este efecto se ve representado en la gráfica con la línea color rojo.

La presencia del depresor M3 en la recuperación de Pb no se ve afectada por el aumento en la concentración del depresor, por el contrario aumenta la recuperación como se muestra en la línea verde que se encuentra en la parte superior, sin embargo la recuperación de Zn en el concentrado de plomo también aumenta al incrementar la concentración del quebracho M3 (la línea amarilla), la ley del Zn en el concentrado de plomo también presenta un aumento al incrementar la concentración del quebracho M3, por lo tanto el efecto depresor es inhibido.

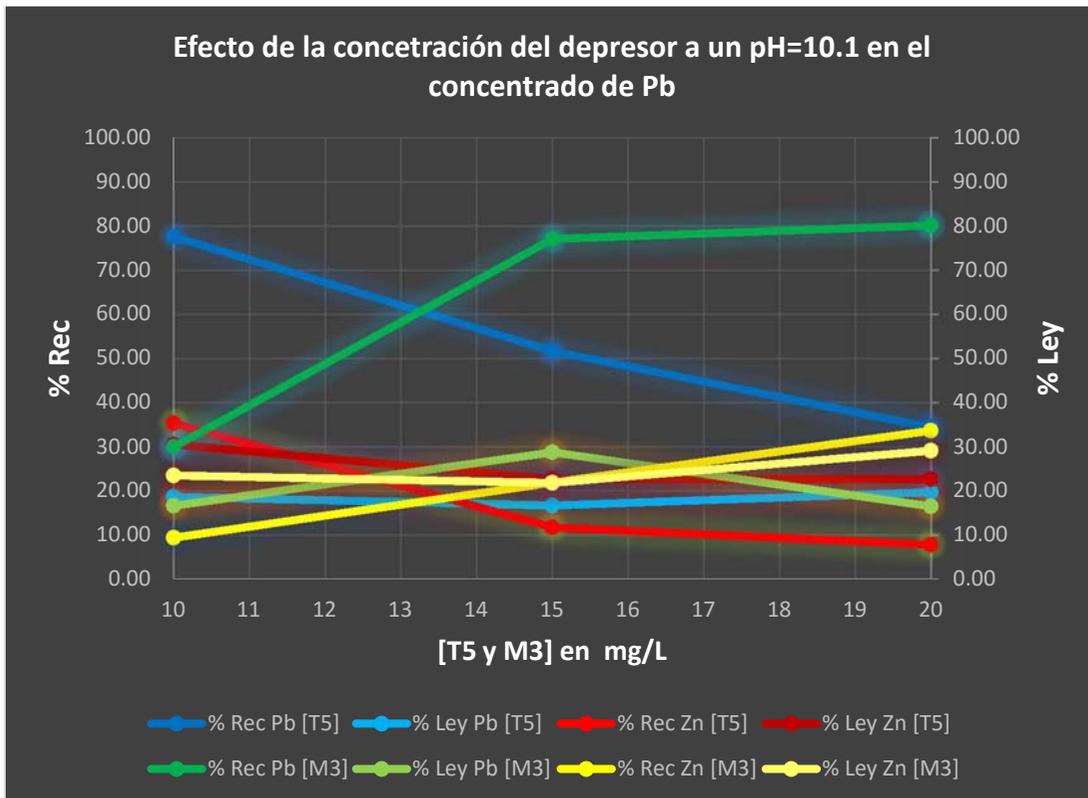


Figura 4.9. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 10.1 para el concentrado de Pb.

La Figura 4.10, muestra un comportamiento interesante ya que la recuperación de Zn en el concentrado de Pb es baja, lo que indica que el zinc se deprimió en el circuito donde se ocupó el quebracho T5, este comportamiento se observa en la línea color rojo claro, la ley de Zn en el concentrado de Pb no presenta cambios significativos al aumento de la concentración del depresor. La línea azul fuerte representa la recuperación de Pb en el concentrado de Pb, ésta tiende a disminuir a medida que se incrementa la concentración del depresor T5, por otro lado la línea color azul claro que representa la ley de Pb en el concentrado de plomo tiende a disminuir al incrementar la concentración de quebracho T5.

En el circuito donde se ocupó el quebracho M3 como depresor observamos que la recuperación de Pb en el concentrado de Pb, el cual se muestra en la Figura 4.10 con el color verde fuerte, tiene un incremento de la pendiente que corresponde al aumento de la concentración del depresor M3, de igual manera pero en una magnitud menor, la ley también se incrementa, esto se observa en la línea verde claro. Con lo que respecta al zinc que se encuentra junto al concentrado de plomo (líneas de color amarillo), la recuperación de Zn aumentó cuando se incrementó la concentración del depresor, de igual manera pasó con la ley de Zn en el concentrado de plomo.

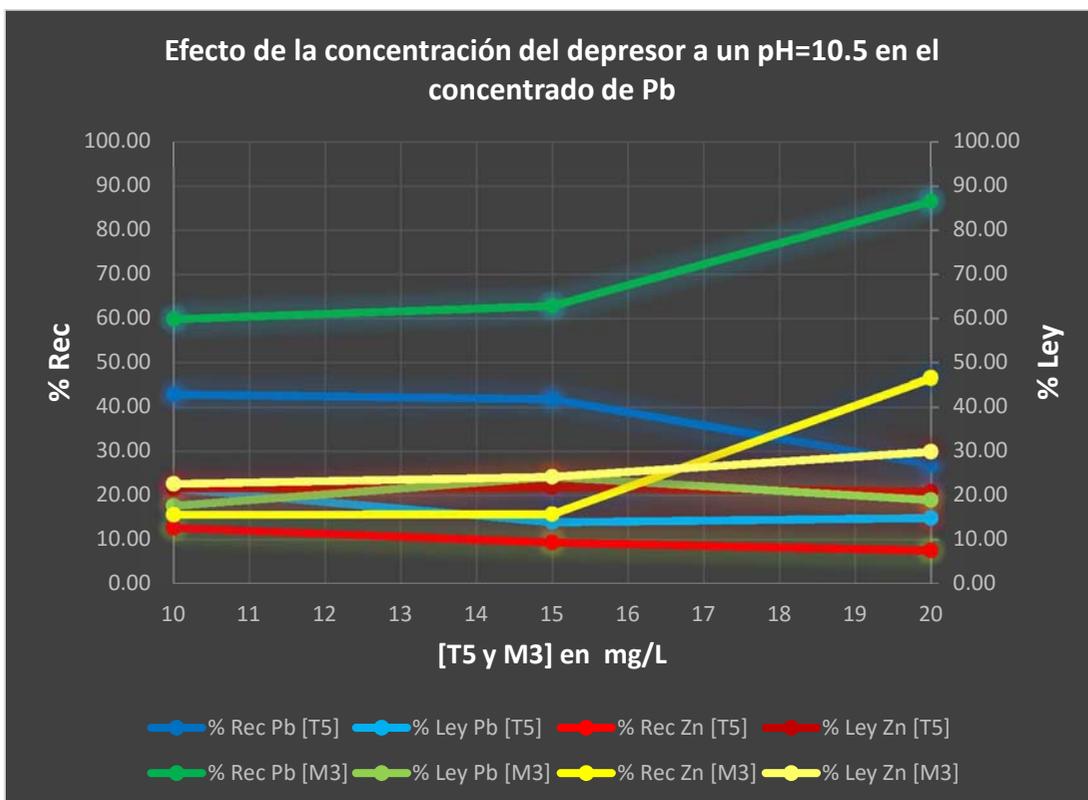


Figura 4.10. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb, manteniendo el pH a 10.5 para el concentrado de Pb.

En las figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se puede observar que en los circuitos de plomo donde se ocupó quebracho T5 como depresor del Zn la recuperación de Pb en el concentrado de Pb se ve

afectada por el aumento del depresor, sin embargo la ley de Pb en el concentrado de plomo sí presenta un aumento con respecto al incremento de la concentración del depresor. En el caso de la ley de Zn que se encuentra en el concentrado de Pb, muestra un pequeño incremento que se ve asociado al aumento de la concentración del depresor, sin embargo, la recuperación de Zn en el concentrado de Pb se reduce al aumentar la concentración del depresor. El comportamiento que tuvieron estas flotaciones es muy común ya que al aumentar la ley se disminuye la recuperación.

Para las flotaciones de los concentrados de Pb en presencia del quebracho M3 como depresor, el comportamiento no es muy típico en las flotaciones realizadas a pH 9.5, 10.1 y 10.5, ya que al aumentar la concentración del depresor de Zn, la recuperación de Pb en el concentrado de plomo aumenta, esto también sucede con la ley de Pb en el concentrado de plomo, lo que indica que no hubo afectación en la flotación de Pb aparentemente. Sin embargo, el caso del Zn que se encuentra en el concentrado de Pb, también se presentó este comportamiento de aumentar la ley y la recuperación cuando se incrementó la concentración del depresor M3.

Al observar los gráficos de estas flotaciones de concentrados de Pb, se aprecia que el quebracho T5, tiende a deprimir de una manera más efectiva al Zn y este efecto se encuentra asociado al incremento de la concentración del mismo.

Las figuras que se presentan a continuación muestran el resultado del efecto de la concentración de los depresores T5 (*Schinopsis Lorentzii*) y M3 (*Schinopsis Balansae*) en circuito de Pb y en el circuito de Zn, a un pH fijo.

El efecto de la concentración del depresor *Schinopsis Lorentzii* (T5) sobre el concentrado de Zn, se observa en las líneas de color rojo, Figura 4.11. La recuperación de Zn presenta un pequeño aumento cuando se incrementa la concentración del depresor (línea rojo suave), sin embargo la ley de Zn en el concentrado de Zn disminuye cuando se incrementa la concentración del depresor (rojo oscuro).

La recuperación de Zn en el circuito donde se ocupó el quebracho *Schinopsis Balansae* (M3) como depresor, representada mediante la línea de color amarillo sufre un incremento al aumentar la concentración del depresor, sin embargo el %Ley de Zn en el concentrado de Zn encuentra su máximo a una concentración de 15mg/L y decrece al aumentar la concentración del depresor.

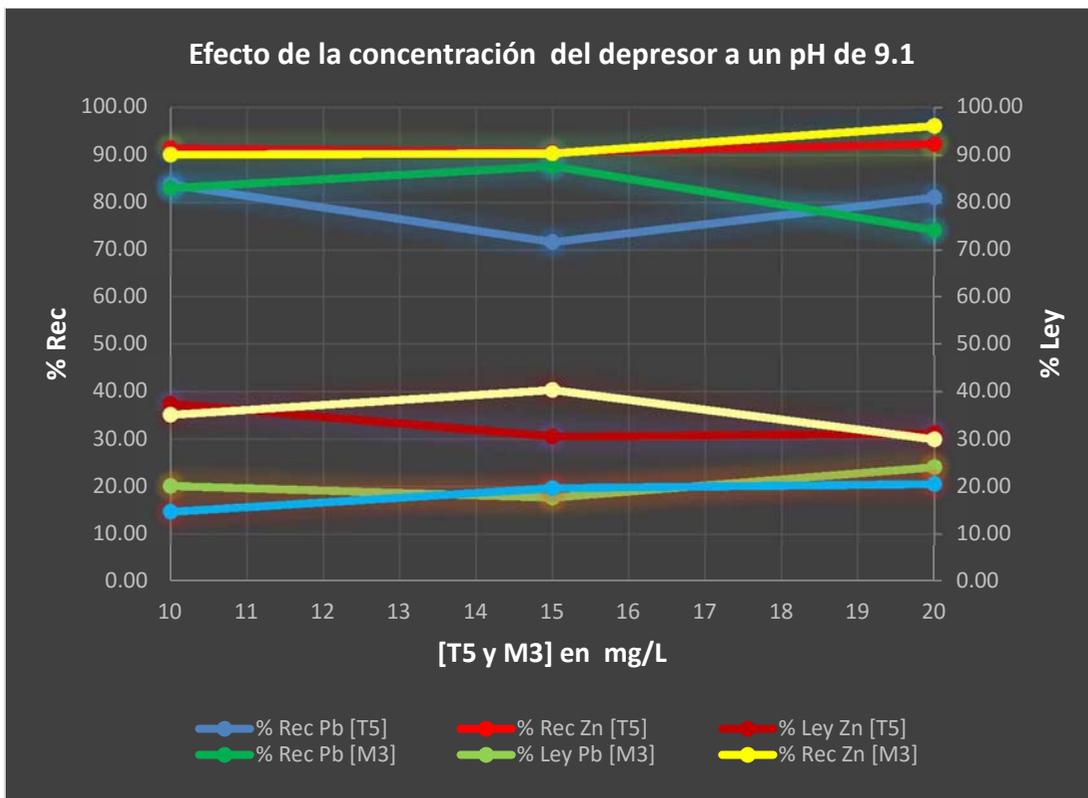


Figura 4.11. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 9.1 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn.

Las recuperaciones de Zn en los concentrados de Zn que se presentan en la Figura 4.12 no muestran una variación muy significativa, tanto para el circuito donde se ocupó el quebracho *Schinopsis Lorentzii*, como para el circuito donde se ocupó el quebracho *Schinopsis Balansae*, la recuperación es casi constante en ambos casos.

Las leyes sí presentan variaciones significativas, asociadas a la variación de la concentración de los depresores. La línea de color rojo oscuro representa la ley de Zn, ésta muestra un incremento a medida que aumentó la concentración del depresor T5, por otra parte la ley de Zn en el circuito donde se ocupó el quebracho *Schinopsis Balansae* (M3) se ve representada mediante la línea de

color crema, ésta disminuye a medida que aumenta la concentración del depresor.

Para el valor de pH 9.5, el valor más alto en la recuperación y la ley de Zn en el concentrado de Zn se alcanzó en el circuito donde se ocupó el quebracho Schinopsis Balansae como depresor a la concentración de 10mg/L, lo que indica que tuvo un mejor acondicionamiento en la activación del Zn.

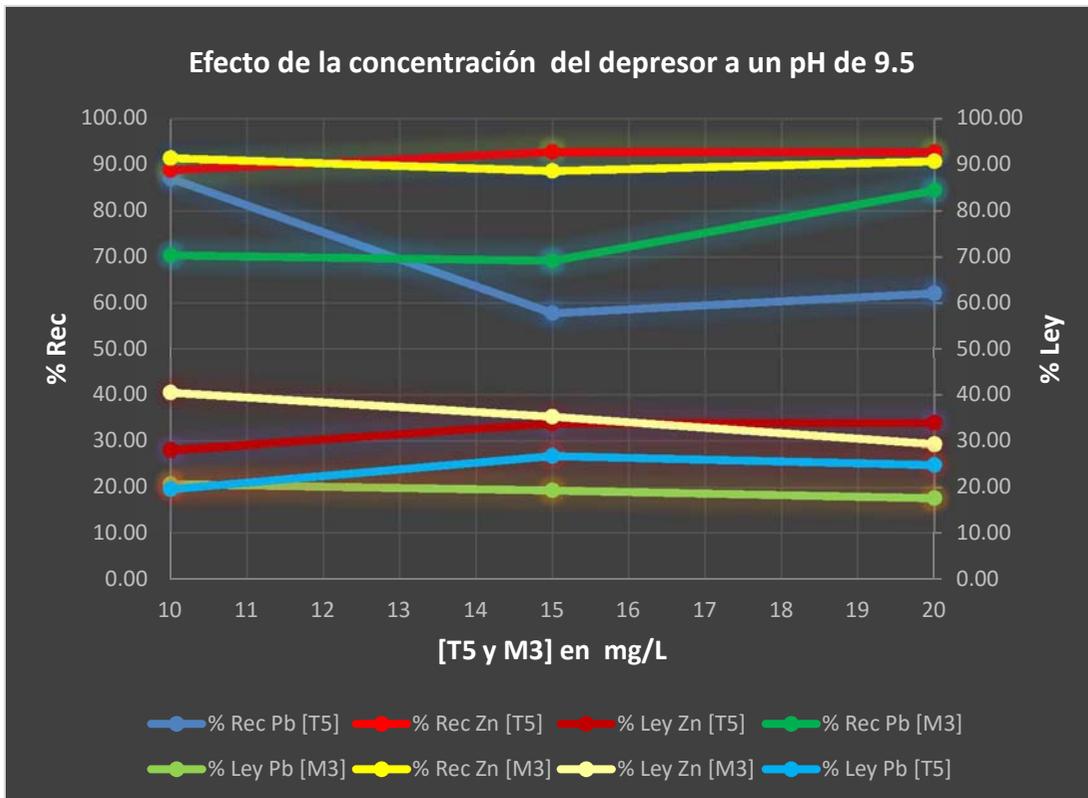


Figura 4.12. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 9.5 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn.

Una vez más en la Figura 4.13 se observa que la recuperación de Zn en el concentrado de Zn, tiene un valor más alto para el circuito donde se utilizó el quebracho M3 como depresor, a la concentración de 10mg/L, tal como se muestra en la línea de color amarillo, de

igual manera corresponde con el valor más alto obtenido para la ley de Zn que se alcanzó a este pH (línea de color crema).

En el caso de la recuperación de Zn en el circuito donde se utilizó el quebracho T5, se aprecia que hay un incremento a medida que se incrementa la concentración del depresor, aunque los valores son muy cercanos entre sí, tal como se muestra en la línea de color rojo que se encuentra en la parte superior.

La línea de color rojo que se encuentra en la parte inferior del gráfico muestra la ley de Zn en el circuito donde se utilizó el quebracho T5, ésta no presenta variación muy significativa, realmente presenta una ley casi constante.

Las leyes y recuperaciones que se lograron con el uso del quebracho M3 como depresor son más altas que las que se lograron obtener con el quebracho T5, lo que indica que la activación del Zn mediante el uso del sulfato de cobre inhibe por completo el efecto depresivo del quebracho M3.

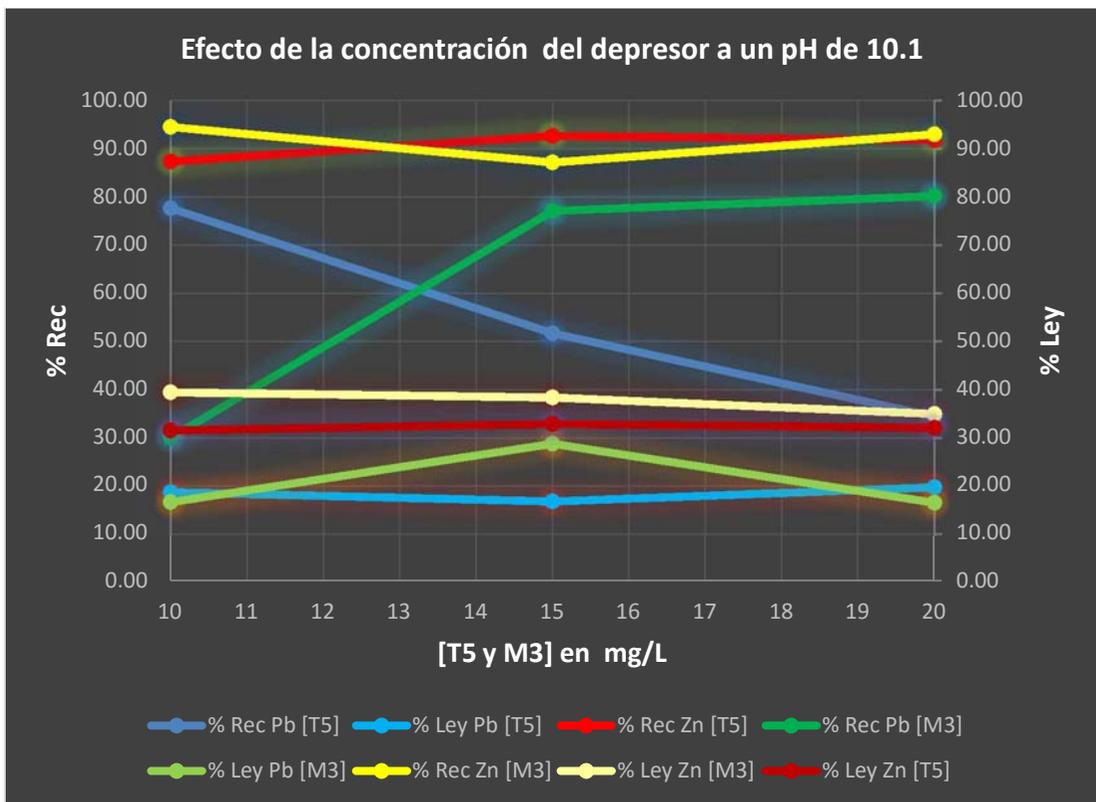


Figura 4.13. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 10.1 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn.

En la Figura 4.14 se observa que el %Rec Zn en el concentrado de Zn, es más alto en la línea de color amarillo a la concentración de 10mg/L, la cual corresponde al circuito donde se ocupó el quebracho M3 como depresor, sin embargo el % Ley de Zn en el concentrado de Zn para el circuito donde se utilizó el quebracho Schinopsis Balansae (M3) no presentó afectación por parte del depresor después de activación por parte del sulfato de cobre. Con lo que respecta al %Rec de Zn en el concentrado de Zn, en el circuito donde se ocupó el quebracho Schinopsis Lorentzii (T5), esta recuperación aumenta con respecto al incremento de la concentración del depresor T5, de la misma forma que el %Ley de Zn la cual se ve representada por la línea color rojo oscuro que se encuentra en la parte inferior de la figura alcanza un valor máximo

de 34.51% Ley de Zn a la concentración de 20mg/L de quebracho Schinopsis Lorentzii (T5).

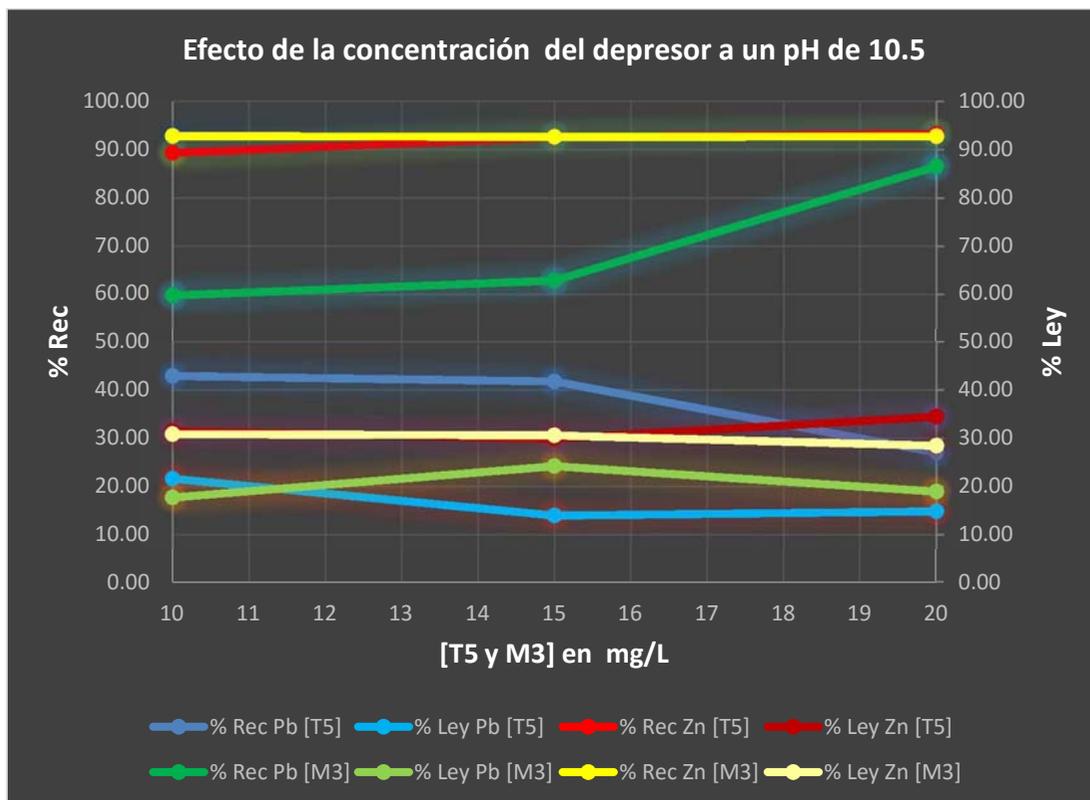


Figura 4.14. Efecto de la concentración de los depresores T5 y M3 en el concentrado de Pb y en el concentrado de Zn, manteniendo el pH a 10.5 para el concentrado de Pb y 11 para el concentrado de Zn.

El efecto de la concentración de quebracho T5 (Schinopsis Lorentzii), en la flotación de la esfalerita no mostró una tendencia clara a afectar la ley de Zn en el concentrado de Zn, así también se presentó en recuperación de Zn, por lo que infiero que el efecto depresor del quebracho T5, se inhibió por completo en el circuito de Zn, sin embargo en las flotaciones donde se ocupó el quebracho M3 (Schinopsis Balansae), sí se presentó afectación a la flotación de Zn. El aumento de la concentración del depresor M3 en las flotaciones de Pb repercutió en los valores de la ley de Zn en el concentrado de Zn, la cual disminuyó a medida que se incrementó la concentración del depresor.

Para poder analizar de manera más precisa el efecto de los depresores se muestran los resultados obtenidos en los procesos de flotación de Pb y Zn en presencia de los depresores *Schinopsis Lorentzii* (T5) y *Schinopsis Balansae* (M3).

En la Figura 4.15, se muestra la mejor ley obtenida de Pb y Zn a una concentración de 10mg/L de quebracho *Schinopsis Lorentzii* (T5), manteniendo un pH de 10.5 en el circuito primario de Plomo y de 11 en el circuito de Zinc. Observamos que la ley de Pb es de 21.62% en el concentrado, por otro lado analizando el circuito de Plomo se observa que las colas de Pb tienen una ley muy baja de 0.67%. Con base a estos resultados puedo determinar que el quebracho T5 no presentó un efecto depresor en el Pb, ni afectó la flotación del Pb. Sin embargo la ley de Zn que se encuentra dentro del concentrado de Pb me indica que no se está deprimiendo del todo ya que una fracción bastante considerable se está flotando junto con el Pb, sin embargo el concentrado de Plomo se ve poco afectado ya que la recuperación de zinc es baja. La ley de Zn que se reporta en la alimentación es de 3.85% (Tabla 4b, anexo B), mientras la que la ley en el concentrado es de 31.47% Figura 4.15, con este valor puedo inferir que el sulfato de cobre activó de manera exitosa el Zn proveniente de las colas de Pb. En el circuito de Zn se observa que las colas de zinc tienen una ley muy baja de 0.41% de Zn lo que indica que la separación de los valores de la ganga se realizaron de manera satisfactoria.

Con respecto a la recuperación de Pb en el circuito de Plomo, solamente el 42.94% del plomo se obtuvo en el concentrado, pero se compensa con la ley que se alcanzó. Mientras que la recuperación de Zn, obtenida en el concentrado de Zn es de 89.38%, un resultado bastante favorable.

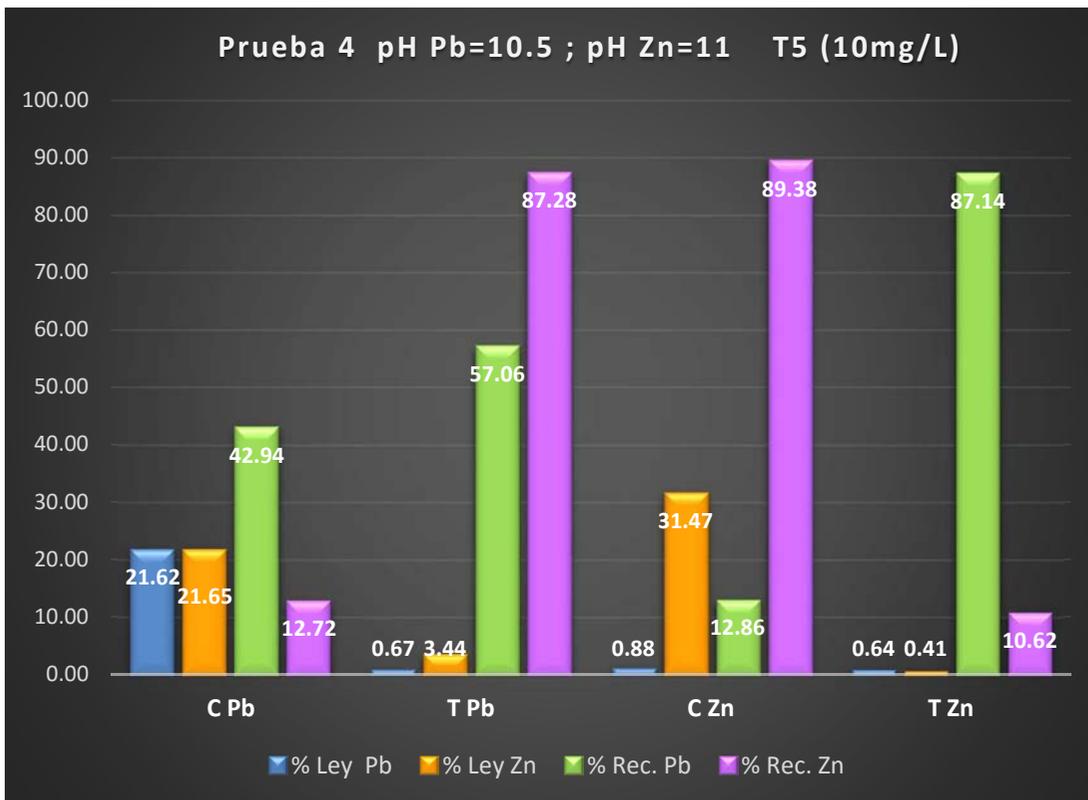


Figura 4.15. Prueba 4, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L.

La Figura 4.16 muestra los resultados obtenidos en la flotación del circuito primario de Pb y Zn, usando como depresor el quebracho Schinopsis Balansae (M3), a la concentración de 10mg/L y un pH de 10.1 en el circuito primario de Plomo y de 11 en el circuito primario de Zinc. La barra de color azul representa la ley de Pb que alcanza un valor de 16.70% en el concentrado de plomo, la cola de Plomo contiene una ley muy baja de 0.84%, lo que indica que el efecto depresor del quebracho M3 no afecta la flotación del Pb. La ley de Zn presente en el concentrado de Pb es considerablemente alta de 23.58% Zn, este valor pone en evidencia el no efecto depresor del quebracho Schinopsis Balansea, sin embargo si se observa la barra color morado que se encuentra en el concentrado de plomo, podemos ver que la recuperación de Zn es de 9.49%Rec

Zn en concentrado de plomo, con este valor en la recuperación de Zn ayuda a garantizar una mejor pureza en el concentrado de Pb.

En el circuito primario de Zn, la ley promedio de Zn que se reporta en la cabeza es de 4.86%, mientras que la ley en el concentrado es de 39.49%, con este resultado en la ley del concentrado de Zn, infiero que se benefició el Zn procedente de la esfalerita. En el circuito de Zn se observa que las colas de Zn tienen una ley muy baja de 0.30% de Zn lo que afirma que la separación de los valores del mineral se realizó de manera satisfactoria.

Para el circuito de Plomo la recuperación en el concentrado de Pb fue de 30.09%, esta es relativamente baja, pero considerando que la ley que se logró alcanzar en el concentrado de plomo es de 16.70%, después de que la ley promedio de Pb en la cabeza del mineral es de 1.29%. Por otro lado la recuperación de Zn en el concentrado de Zn fue de 94.54%, lo cual indica que el sulfato de cobre logró activar la superficie de las partículas de Zn.

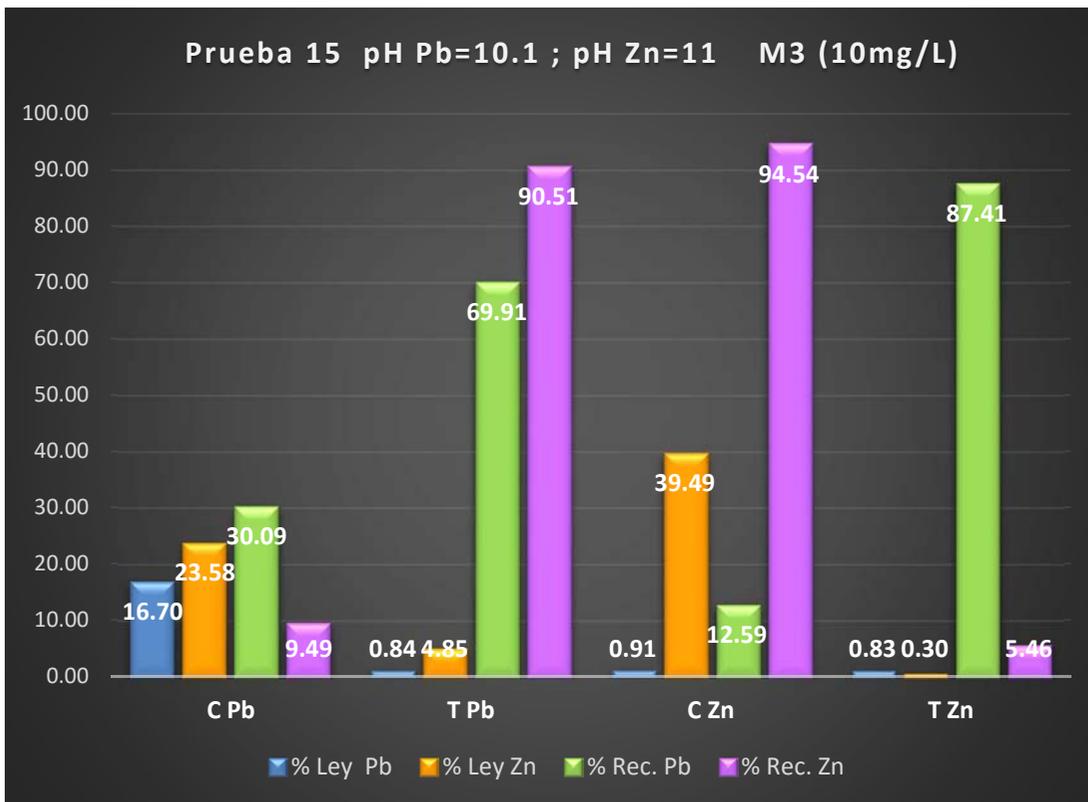


Figura 4.16. Prueba 15, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L.

Para la concentración de 15mg/L de quebracho *Schinopsis Lorentzii* (T5), las mejores condiciones para la flotación de Pb y Zn se obtuvieron a un pH de 9.5. Como se muestra en la Figura 4.17, donde la ley de Pb en el concentrado de plomo alcanzó el 26.87%, partiendo de una ley promedio en la cabeza de 1.29% de plomo, la cola de la flotación primaria de plomo tuvo una ley de 0.42%, lo que indica que la concentración de Pb fue realizada mediante un buen proceso. Sin embargo, en el circuito de Pb se puede observar que el Zn no se pudo deprimir al 100% ya que el concentrado de Pb posee una ley de 20.9% de Zn, ésta es considerablemente alta, ya que se trata del concentrado de Pb, sin embargo la recuperación de Zn en el concentrado de Pb fue de 8.96% Rec de Zn en el concentrado de Pb, un valor considerablemente bajo, lo cual permite elevar la calidad en el concentrado de Pb.

Respecto al concentrado de Zn, la ley que se logró fue de 33.82% de Zn, la cual es considerablemente más alta que la ley promedio 4.86% Ley Zn en la cabeza del mineral, y es 7.46 veces más alta que la ley de Zn que se encuentra en las colas de Pb que tiene un valor de 4.53% Ley Zn. La ley de Zn en la cola de Zn para este circuito tiene un valor de 0.37% Ley de Zn. Considerando que la recuperación de Zn en el concentrado de Zn es de 92.81% con 33.82% Ley de Zn, la activación del Zn en el circuito permitió un buen proceso de flotación.

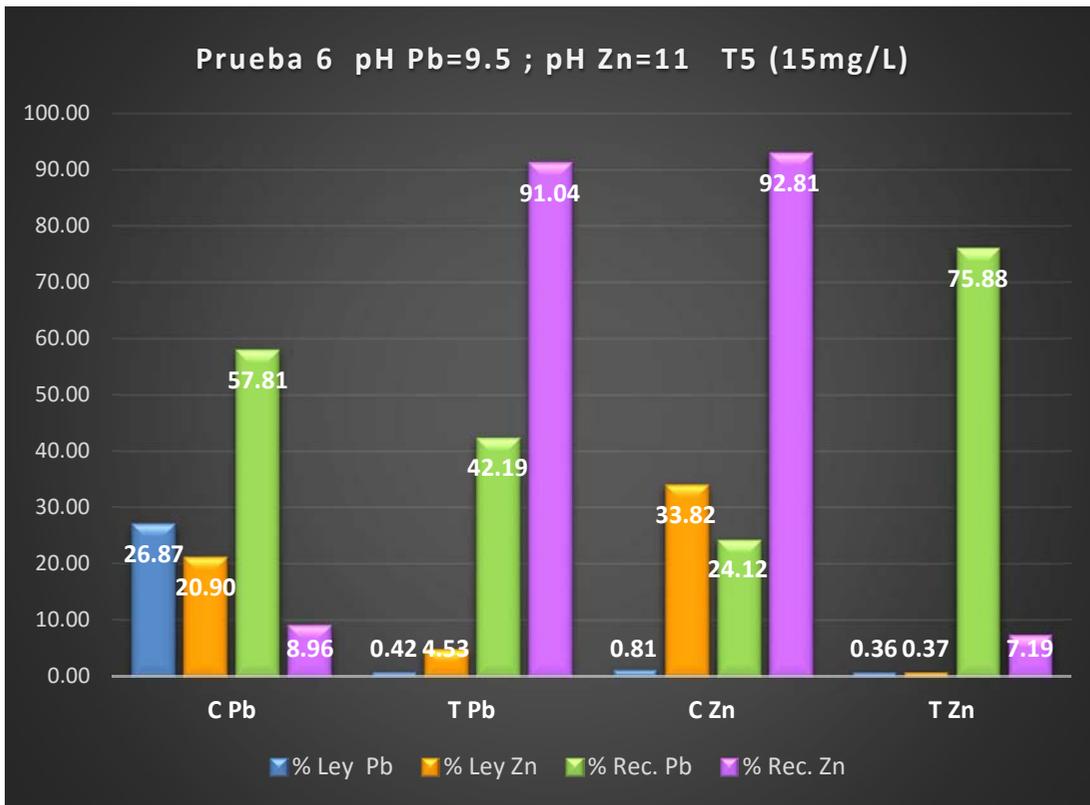


Figura 4.17. Prueba 6, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L.

La mejor condición de trabajo para deprimir al Zn en la flotación primaria de Pb, para la concentración de 15mg/L del depresor Schinopsis Balansae (M3), se muestra en la Figura 4.18, donde las condiciones de trabajo fueron pH 10.5 para el circuito de Pb y pH 11 para el circuito de Zn.

En la Figura 4.18, se muestra que en el concentrado de Pb, el % Ley de Pb alcanzó un valor de 24.25% Ley de Pb, que es semejante a la ley de Zn en el concentrado de Pb, sin embargo la recuperación de Zn en el concentrado de Pb tiene un valor más bajo con respecto a los que se obtuvieron a esa concentración de quebracho Schinopsis Balansae (M3), a los diferentes valores de pH a los cuales se realizaron las flotaciones.

Aunque dentro del concentrado de plomo hubo una fracción de zinc que no se deprimió y flotó junto con el Pb, ésta es menor que la obtenida en el concentrado de Zn. Para el concentrado de Zn la alimentación al circuito parte de la cola de Pb, la cual tiene un % Ley de Zn de 4.01%Ley Zn, y se alcanza a obtener una ley de 30.63% Ley de Zn en el concentrado de Zn, con una recuperación de 92.65% Rec de Zn, este valor es un indicativo de que la activación del Zn en presencia del sulfato de cobre permitió hacer una recuperación.

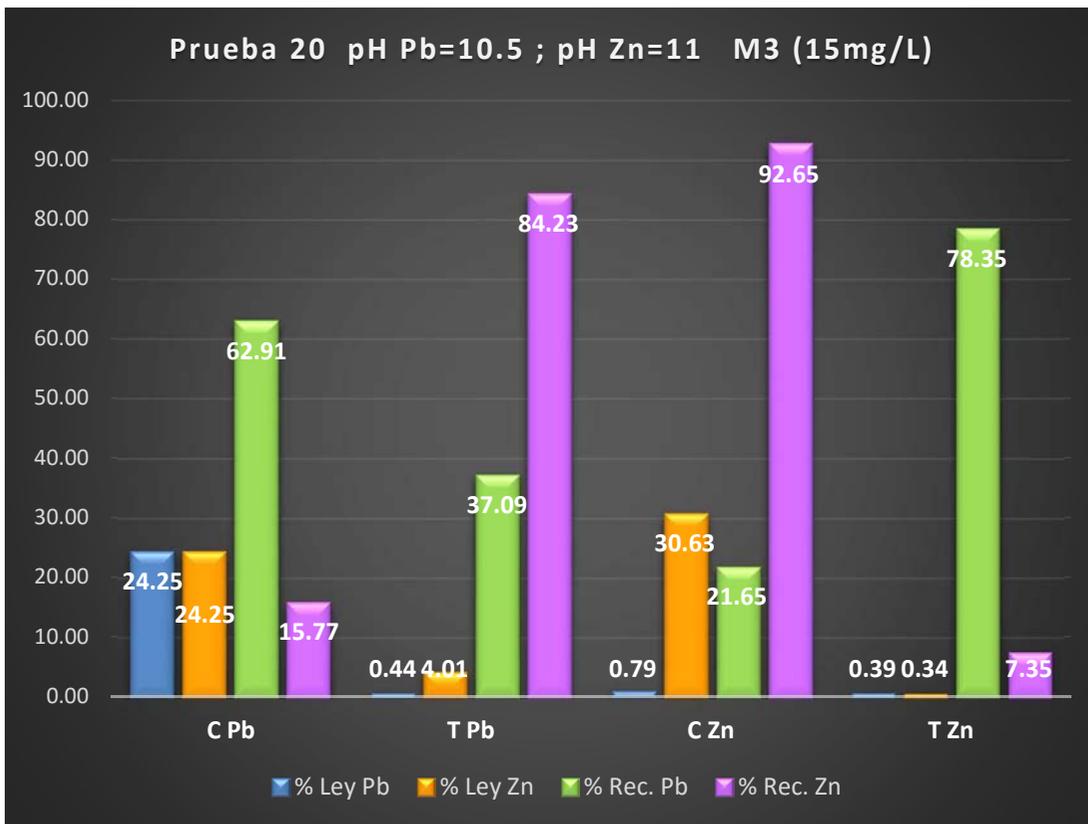


Figura 4.18. Prueba 20, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L.

La Figura 4.19 presenta la mejor relación Flotación-depresión de los elementos Pb y Zn en presencia de Schinopsis Lorentzii (T5), a una concentración de 20mg/L. Para la concentración de 20mg/L de quebracho T5 los mejores resultados se encuentran a un pH de 9.5 para el circuito de Pb y 11 para el circuito de Zn, como se muestra en la Figura 4.19. Así mismo se observa que la ley de Pb en el concentrado de Plomo alcanza un valor de 24.95% Ley de Pb, partiendo de una ley promedio de 1.29%Ley de Pb en la alimentación, lo cual indica que no se ve afectado por la concentración del depresor, sin embargo en el concentrado de Plomo hay una ley considerable de Zn presente de 23.95%ley de Zn en el concentrado de Pb, la cual no fue deprimida, este valor es muy alto, casi es el mismo que se alcanzó en la ley de Pb, aunque si se observa la recuperación de Zn en el concentrado de Plomo,

presenta un valor bajo de 12.72%Rec de Zn en el concentrado de Pb, la cual es una garantía de que la calidad del concentrado de Plomo es alta.

La activación del Zn mediante el uso del sulfato de cobre permitió alcanzar una ley de Zn de 33.93%Ley de Zn en el concentrado de Zn, lo cual es un valor considerablemente alto con respecto a la ley de Zn a la entrada del circuito y con un valor de 4.68%Ley de Zn, como se puede apreciar en la Figura 4.19 en la barra color naranja. Los valores reportados en las colas de Zn presentan valores muy bajos de 0.39% Ley de Zn, indicando que la mayor parte de los valores se encuentran en los concentrados.

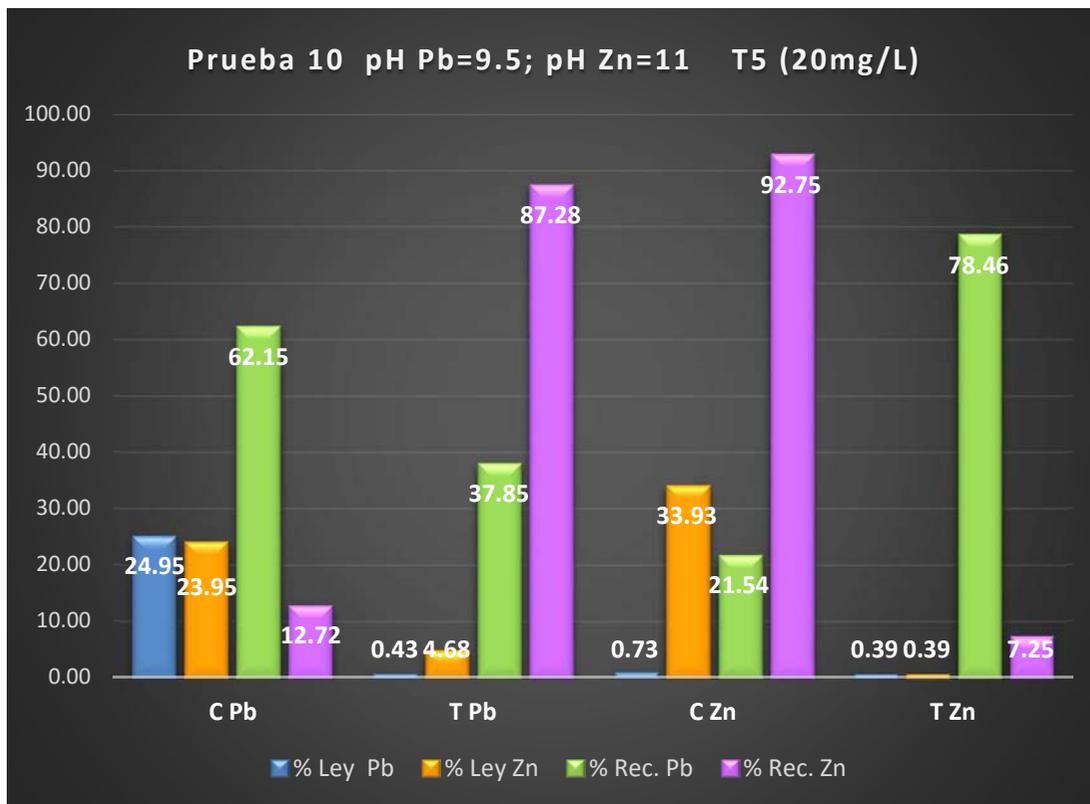


Figura 4.19. Prueba 10, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L.

En la Figura 4.20 se observa la mejor condición de trabajo para la flotación de Pb y la depresión de Zn en el circuito de Pb, en presencia del depresor quebracho Schinopsis Balansae (M3), a la concentración de 20mg/L. En el concentrado de plomo se puede observar que la ley de Zn tiene el mismo valor numérico que la ley de Pb, que corresponde a 24.13% Ley de Zn en el concentrado de Plomo, lo que indica que no hay evidencia de que el Zn se haya deprimido, sin embargo la recuperación de Zn en el concentrado de plomo es más baja de 19.59% Rec de Zn en el concentrado de plomo. Si observamos la ley de Zn en su concentrado, ésta alcanza un valor de 29.92%, apenas 5.79 unidades más que la obtenida en el concentrado de plomo, lo que confirma que el quebracho Schinopsis Balansae (M3), a la concentración de 20mg/L, no deprimió al zinc en el concentrado de plomo.

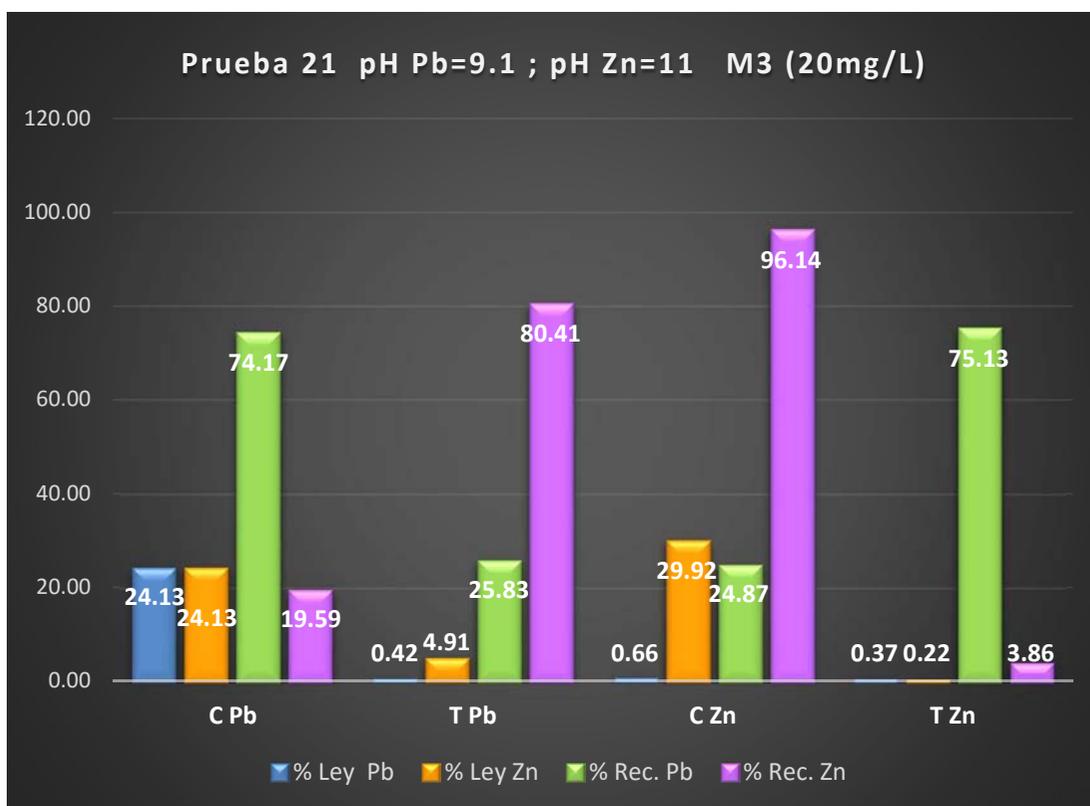


Figura 4.20. Prueba 21, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 20mg/L.

Resultados De Los Mejores Parámetros De Flotación.

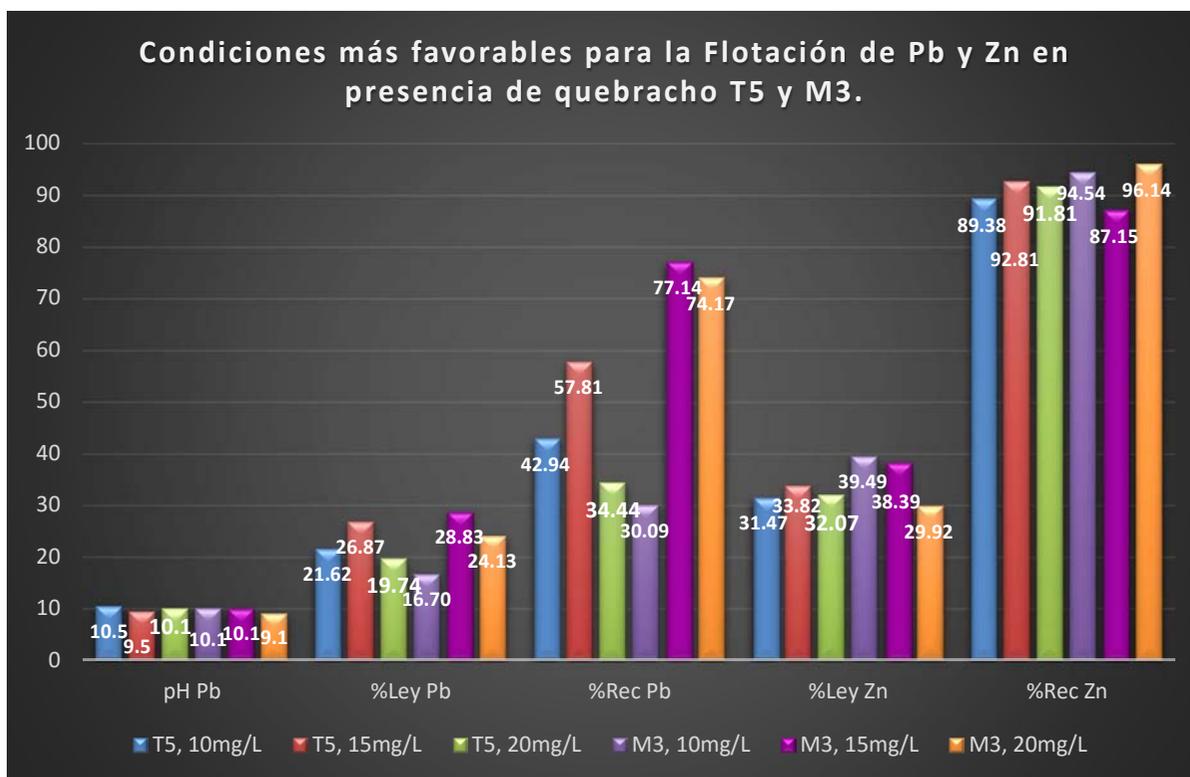


Figura 4.21. Condiciones más favorables para los procesos de flotación de menas sulfuradas complejas Pb-Zn, en presencia de reactivos naturales Taninos Quebrachos T5 y M3.

Después de haber revisado en las figuras asociadas a los balances metalúrgicos respecto al efecto depresivo de los quebrachos *Schinopsis Lorentzii* (T5) y *Schinopsis Balansae* (M3), las flotaciones que presentaron una mejor relación entre %Ley y %Rec en los circuitos de Plomo y Zinc, tomando en cuenta los valores más bajos de % Ley Zn y % Rec Zn en concentrado de plomo (Figura 4.21), se pueden observar las condiciones pH y concentración más favorables para los procesos de flotación de menas complejas de Pb-Zn.

En dicha figura se observa el quebracho *Schinopsis Lorentzii* (T5) a la concentración de 15mg/L y a un pH de 9.5 alcanza la mejor ley de plomo en el concentrado de plomo con un valor de 26.87%Ley

Pb y la recuperación de Pb más alta 57.81%Rec Pb, respecto a las obtenidas a las concentraciones de 10mg/L y 20 mg/L de quebracho (T5). Para el circuito de zinc la flotación donde se ocupó el quebracho Schinopsis Lorentzii (T5) con 15mg/L y pH de 9.5, presenta los mejores valores en la ley y la recuperación de Zn en el concentrado de zinc, con valores de 33.82%Ley Zn y 92.81%Rec Zn.

La mejor condición de trabajo para la flotación de plomo, en presencia de Schinopsis Balansae (M3) como depresor, se obtuvo a la concentración de 15mg/L y pH 10.1, ya que se logró obtener una ley de plomo de 28.83%Ley Pb en el concentrado de plomo, con una recuperación de 77.14%Rec Pb en el concentrado de plomo. Con lo que respecta al circuito de Zn, la mejor condición de trabajo se obtuvo a la concentración de 10mg/L de quebracho Schinopsis Balansae (M3), con una ley de 39.49%LeyZn y una recuperación de 94.54%RecZn en el concentrado de Zn. Por otro lado a la concentración de 10mg/L de quebracho Schinopsis Balansae (M3), los valores en la flotación de plomo se ven seriamente afectados, razón por la cual se considera que la mejor condición de trabajo para el proceso de flotación de Pb-Zn en presencia de quebracho Schinopsis Balansae (M3), es a 15mg/L de quebracho Schinopsis Balansae (M3) y pH 10.1 donde se obtuvo 38.39%LeyZn y 87.15%Rec Zn, en el concentrado de zinc.

CONCLUSIONES

- La condición más favorable para la flotación de menas complejas Pb-Zn, en presencia de quebracho *Schinopsis Lorentzii* (T5) fue a 15mg/L y pH 9.5.
- La condición más favorable para la flotación de menas complejas Pb-Zn, en presencia de quebracho *Schinopsis Balansae* (M3) fue a 15mg/L y pH 10.1.
- El quebracho M3 presenta mayor selectividad que el T5.
- El quebracho M3 presenta una mayor estabilidad a los cambios de pH.
- El quebracho M3, pierde sus propiedades depresivas con el incremento de la concentración.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kelly, E. y Spottiswood, D., *Introducción al Procesamiento de Minerales*, México, Ed. Limusa, 1990. ISBN 9681833376
- [2] I.Q.M Juan Manuel de la Rosa Canales. *Flotación Selectiva de Minerales Sulfuros de Plomo- Zinc en presencia de reactivos naturales del Tipo Quebracho*. Tesis de Maestría, UNAM, México DF, (Mayo) 2013.
- [3] Victor H. A. Ciribeni, Pedro E. Sarquís y Mercedes González. *Estudio del efecto depresor de reactivos orgánicos naturales en la flotación de sulfuros*. Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Investigaciones Mineras.
- [4] P. Sarquís; V. Ciribeni; M. González. *Depresión selectiva de sulfuros usando extractos naturales*. Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Investigaciones Mineras.
- [5] Bravo Gálvez Antonio. *Manual de Flotación: Unidad Minera Yauliyacu*. Perú: Casapalca, 2014.
- [6] Principios de la flotación de minerales. En: Nataniel Linares G. *Procesamiento de minerales-metalurgia II*. MSC. Chile. 2008. p. 4.
- [7] Secretaria de Economía, Fecha de consulta: 19-enero-2016, disponible en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/mineria> 9/02/2016
- [8] Fecha de consulta 25-enero-2016, disponible en: http://www.geocities.ws/aprobar_ya/biologia_molecular/agua.htm

[9] Pavez, Osvaldo. *Apuntes concentración de minerales*. Universidad de Atacama. Fecha de consulta: 27-enero-2016, disponible en: <http://es.slideshare.net/richard-270593/apuntes-de-concentracin-de-minerales-i-40025745>

[10] Cenano Latinoamérica. Fecha de consulta 02-febrero-2016, disponible en: <http://www.cenano-la.com/angulo-de-contacto.html>

[11] Guerrero Garate Sofía, *Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación*. Fecha de consulta 07-febrero-2016, disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/630/1/guerrero_gn.pdf

[12] Fecha de consulta: 09-febrero-2016, disponible en: http://www.academia.edu/15174689/Laboratorio_de_Flotaci%C3%B3n

[13] Barry Alan Wills, Antonio Huerta Cerdán. *Tecnología de Procesamiento de Minerales. Tratamiento de Menas y Recuperación de Minerales*. Segunda edición 1994.

[14] I.Q.M Ray Robinson Lumbreras Flores. *Estudio de Potencial Zeta aplicado al Proceso de Flotación de Minerales PbS-ZnS, comparando dos Reactivos Naturales (Taninos Quebrachos)*. Tesis de Licenciatura, UNAM, México DF, 2014.

[15] Barry Alan Wills, Antonio Huerta Cerdán. *Tecnología de Procesamiento de Minerales: Tratamiento de Menas y Recuperación de Minerales*. Séptima edición. Estados Unidos, Butterworth-Heinemann, 2006

[16] Schinopsis Balansae Fecha de consulta: 09-mayo-2016, disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Schinopsis_balansae

[17] Huerta Cerdán Antonio Estudios de Cinética de Flotación en Menas Sulfuradas a Partir de Métodos Electroquímicos. UNAM., 11 Diciembre 1991.

ANEXO A

Análisis Químico de las Flotaciones.

Tabla 1 A. Análisis Químicos realizados en Ingeniería Metalúrgica.

| Muestra | Pb (ppm) | Zn (ppm) | SD Pb | SD Zn | Peso (g) | %Pb | %Zn |
|---------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|---------|---------|
| Pb1 | 1.5 | 3.8 | 0.2124 | 0.0323 | 0.1016 | 14.7638 | 37.4016 |
| Pb2 | 2.0 | 2.7 | 0.1606 | 0.0324 | 0.1015 | 19.7044 | 26.6010 |
| Pb3 | 1.9 | 3.1 | 0.0607 | 0.0647 | 0.1013 | 18.7562 | 30.6022 |
| Pb4 | 2.2 | 2.2 | 0.3184 | 0.0298 | 0.1016 | 21.6535 | 21.6535 |
| Pb5 | 2.0 | 3.1 | 0.1783 | 0.0623 | 0.1015 | 19.7044 | 30.5419 |
| Pb6 | 2.7 | 2.1 | 0.3692 | 0.0201 | 0.1005 | 26.8657 | 20.8955 |
| Pb7 | 1.7 | 2.3 | 0.1570 | 0.0369 | 0.1011 | 16.8150 | 22.7498 |
| Pb8 | 1.4 | 2.2 | 0.2017 | 0.0371 | 0.1002 | 13.9721 | 21.9561 |
| Pb9 | 2.1 | 2.8 | 0.2456 | 0.0347 | 0.1020 | 20.5882 | 27.4510 |
| Pb10 | 2.5 | 2.4 | 0.1617 | 0.0334 | 0.1002 | 24.9501 | 23.9521 |
| Pb11 | 2.0 | 2.3 | 0.3244 | 0.0118 | 0.1013 | 19.7433 | 22.7048 |
| Pb12 | 1.5 | 2.1 | 0.1917 | 0.0429 | 0.1007 | 14.8957 | 20.8540 |
| Pb13 | 2.1 | 3.2 | 0.5961 | 0.0390 | 0.1040 | 20.1923 | 30.7692 |
| Pb14 | 2.1 | 2.4 | 0.1764 | 0.0173 | 0.1008 | 20.8333 | 23.8095 |
| Pb15 | 1.7 | 2.4 | 0.2267 | 0.0020 | 0.1018 | 16.6994 | 23.5756 |
| Pb16 | 1.8 | 2.6 | 0.1351 | 0.0663 | 0.1016 | 17.7165 | 25.5906 |
| Pb16.1 | 2.0 | 2.3 | 0.1280 | 0.0325 | 0.1031 | 19.3986 | 22.3084 |
| Pb17 | 2.9 | 2.2 | 0.1602 | 0.0273 | 0.1006 | 28.8270 | 21.8688 |
| Pb18 | 2.6 | 2.2 | 0.1464 | 0.0182 | 0.1015 | 25.6158 | 21.6749 |
| Pb19 | 1.7 | 2.3 | 0.2382 | 0.0270 | 0.1022 | 16.6341 | 22.5049 |
| Pb20 | 1.9 | 3.0 | 0.2131 | 0.0285 | 0.1001 | 18.9810 | 29.9700 |
| Pb21 | 2.5 | 2.5 | 0.2184 | 0.0170 | 0.1036 | 24.1313 | 24.1313 |
| Pb22 | 1.8 | 2.0 | 0.0294 | 0.0525 | 0.1017 | 17.6991 | 19.6657 |
| Pb23 | 1.7 | 3.0 | 0.3853 | 0.0657 | 0.1028 | 16.5370 | 29.1829 |

| | | | | | | | |
|--------------------|------|-----|--------|--------|--------|---------|---------|
| Pb24 | 2.5 | 2.5 | 0.0439 | 0.0218 | 0.1031 | 24.2483 | 24.2483 |
| Zn1 | 14.6 | 2.8 | 0.2621 | 0.0150 | 0.1134 | 1.2875 | 24.6914 |
| Zn2 | 4.4 | 2.8 | 0.2781 | 0.0371 | 0.0998 | 0.4409 | 28.0561 |
| Zn3 | 5.5 | 3.3 | 0.1096 | 0.0270 | 0.1045 | 0.5263 | 31.5789 |
| Zn4 | 8.9 | 3.2 | 0.0613 | 0.0150 | 0.1017 | 0.8751 | 31.4651 |
| Zn5 | 7.1 | 2.7 | 0.4429 | 0.0511 | 0.1029 | 0.6900 | 26.2391 |
| Zn6 | 8.4 | 3.5 | 0.2275 | 0.0490 | 0.1035 | 0.8116 | 33.8164 |
| Zn7 | 5.1 | 3.4 | 0.3514 | 0.0343 | 0.1033 | 0.4937 | 32.9138 |
| Zn8 | 3.2 | 3.1 | 0.6964 | 0.0796 | 0.1035 | 0.3092 | 29.9517 |
| Zn9 | 1.4 | 3.4 | 0.2133 | 0.0589 | 0.1090 | 0.1284 | 31.1927 |
| Zn10 | 7.3 | 3.4 | 0.2451 | 0.0532 | 0.1002 | 0.7285 | 33.9321 |
| Zn11 | 8.5 | 3.3 | 0.8378 | 0.0808 | 0.1029 | 0.8260 | 32.0700 |
| Zn12 | 14.2 | 3.7 | 0.1409 | 0.0758 | 0.1072 | 1.3246 | 34.5149 |
| Zn13 | 5.9 | 3.6 | 0.1058 | 0.0164 | 0.1026 | 0.5750 | 35.0877 |
| Zn14 | 4.1 | 4.1 | 0.3752 | 0.0693 | 0.1012 | 0.4051 | 40.5138 |
| Zn15 | 9.2 | 4.0 | 0.0576 | 0.0342 | 0.1013 | 0.9082 | 39.4867 |
| Zn16 | 4.3 | 4.1 | 0.3165 | 0.0503 | 0.1016 | 0.4232 | 40.3543 |
| Zn 16.1 | 5.5 | 3.6 | 0.2278 | 0.0408 | 0.1021 | 0.5387 | 35.2595 |
| Zn17 | 4.2 | 3.9 | 0.2244 | 0.0396 | 0.1016 | 0.4134 | 38.3858 |
| Zn18 | 4.5 | 4.0 | 0.2221 | 0.0860 | 0.1011 | 0.4451 | 39.5648 |
| Zn19 | 10.4 | 4.3 | 0.0991 | 0.0590 | 0.1007 | 1.0328 | 42.7011 |
| Zn20 | 6.9 | 2.9 | 0.1929 | 0.0093 | 0.1019 | 0.6771 | 28.4593 |
| Zn21 | 6.8 | 3.1 | 0.1276 | 0.0219 | 0.1036 | 0.6564 | 29.9228 |
| Zn22 | 6.1 | 3.0 | 0.1065 | 0.0022 | 0.1022 | 0.5969 | 29.3542 |
| Zn23 | 5.6 | 3.5 | 0.2644 | 0.0213 | 0.1000 | 0.5600 | 35.0000 |
| Zn24 | 8.0 | 3.1 | 0.2007 | 0.0372 | 0.1012 | 0.7905 | 30.6324 |
| T1 | 2.6 | 3.2 | 0.3474 | 0.0211 | 0.1005 | 0.2587 | 0.3184 |
| T2 | 1.5 | 3.9 | 0.2420 | 0.0158 | 0.1014 | 0.1479 | 0.3846 |
| T3 | 2.6 | 4.0 | 0.3279 | 0.0044 | 0.1043 | 0.2493 | 0.3835 |
| T4 | 6.5 | 4.1 | 0.1115 | 0.0405 | 0.1012 | 0.6423 | 0.4051 |
| T5 | 3.1 | 3.8 | 0.1596 | 0.0066 | 0.1025 | 0.3024 | 0.3707 |

| | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| T6 | 3.7 | 3.8 | 0.3650 | 0.0010 | 0.1020 | 0.3627 | 0.3725 |
| T7 | 4.2 | 3.9 | 0.1720 | 0.0064 | 0.1020 | 0.4118 | 0.3824 |
| T8 | 4.0 | 3.6 | 0.9330 | 0.0180 | 0.1003 | 0.3988 | 0.3589 |
| T9 | 2.8 | 3.6 | 0.1898 | 0.1050 | 0.1021 | 0.2742 | 0.3526 |
| T10 | 3.9 | 3.9 | 0.2551 | 0.0047 | 0.1002 | 0.3892 | 0.3892 |
| T11 | 5.5 | 3.8 | 0.0087 | 0.0152 | 0.1008 | 0.5456 | 0.3770 |
| T12 | 6.9 | 3.8 | 0.0076 | 0.0194 | 0.1005 | 0.6866 | 0.3781 |
| T13 | 3.0 | 3.4 | 0.0098 | 0.0073 | 0.1012 | 0.2964 | 0.3360 |
| T14 | 4.6 | 4.0 | 0.0069 | 0.0038 | 0.1002 | 0.4591 | 0.3992 |
| T15 | 8.3 | 3.0 | 0.0820 | 0.0119 | 0.1002 | 0.8283 | 0.2994 |
| T16 | 2.3 | 3.6 | 0.0121 | 0.0042 | 0.1024 | 0.2246 | 0.3516 |
| T16.1 | 4.7 | 4.1 | 0.1105 | 0.0079 | 0.1023 | 0.4594 | 0.4008 |
| T17 | 3.2 | 4.1 | 0.0075 | 0.0212 | 0.1015 | 0.3153 | 0.4039 |
| T18 | 2.9 | 3.4 | 0.2176 | 0.0245 | 0.1039 | 0.2791 | 0.3272 |
| T19 | 6.4 | 4.0 | 0.0559 | 0.0125 | 0.1053 | 0.6078 | 0.3799 |
| T20 | 2.2 | 2.5 | 0.2168 | 0.0215 | 0.1011 | 0.2176 | 0.2473 |
| T21 | 3.8 | 2.3 | 0.1917 | 0.0032 | 0.1024 | 0.3711 | 0.2246 |
| T22 | 2.6 | 3.2 | 0.0104 | 0.0175 | 0.1021 | 0.2547 | 0.3134 |
| T23 | 2.5 | 3.1 | 0.2290 | 0.0252 | 0.1018 | 0.2456 | 0.3045 |
| T24 | 4.0 | 3.4 | 0.5058 | 0.0259 | 0.1013 | 0.3949 | 0.3356 |

Cálculo para determinar el % Peso de Pb y Zn, a partir de la lectura de ppm que muestra el equipo de absorción atómica modelo Pekín Elmer 3100.

$$\% \text{ peso metal} = \frac{(\text{ppm registrados por elequipo})(fd)(aforo)}{(\text{peso de la muestra}) * 10000}$$

Balances Metalúrgicos.

Tabla 1B. Balance metalúrgico prueba 1.

| Prueba 1 pH Pb=9.1 ; pH Zn=11 T5 (10mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 21.4 | 10.79 | 14.76 | 24.69 | 3.16 | 5.28 | 83.84 | 46.77 |
| T Pb | 176.9 | 89.21 | 0.34 | 3.40 | 0.61 | 6.01 | 16.16 | 53.23 |
| C Zn | 14.7 | 8.31 | 1.29 | 37.40 | 0.19 | 5.50 | 31.08 | 91.41 |
| T Zn | 162.2 | 91.69 | 0.26 | 0.32 | 0.42 | 0.52 | 68.92 | 8.59 |
| F | 198.3 | 100.00 | 1.90 | 5.70 | 3.77 | 11.30 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 2B. Balance metalúrgico prueba 2.

| Prueba 2 pH Pb=9.5 ; pH Zn=11 T5 (10mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 11.40 | 5.73 | 19.70 | 26.60 | 2.25 | 3.03 | 87.13 | 34.07 |
| T Pb | 187.40 | 94.27 | 0.18 | 3.13 | 0.33 | 5.87 | 12.87 | 65.93 |
| C Zn | 18.60 | 9.93 | 0.44 | 28.06 | 0.08 | 5.22 | 24.73 | 88.94 |
| T Zn | 168.80 | 90.07 | 0.15 | 0.38 | 0.25 | 0.65 | 75.27 | 11.06 |
| F | 198.80 | 100.00 | 1.30 | 4.48 | 2.58 | 8.90 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 3B. Balance metalúrgico prueba 3.

| Prueba 3 pH Pb=10.1 ; pH Zn=11 T5 (10mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 9.50 | 4.78 | 18.76 | 30.60 | 1.78 | 2.91 | 77.67 | 35.38 |
| T Pb | 189.10 | 95.22 | 0.27 | 2.81 | 0.51 | 5.31 | 22.33 | 64.62 |
| C Zn | 14.70 | 7.77 | 0.53 | 31.58 | 0.08 | 4.64 | 15.11 | 87.41 |
| T Zn | 174.40 | 92.23 | 0.25 | 0.38 | 0.43 | 0.67 | 84.89 | 12.59 |
| F | 198.60 | 100.00 | 1.16 | 4.14 | 2.29 | 8.22 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 4B. Balance metalúrgico prueba 4.

| Prueba 4 pH Pb=10.5 ; pH Zn=11 T5 (10mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 4.50 | 2.26 | 21.62 | 21.65 | 0.97 | 0.97 | 42.94 | 12.72 |
| T Pb | 194.40 | 97.74 | 0.67 | 3.44 | 1.29 | 6.69 | 57.06 | 87.28 |
| C Zn | 19.00 | 9.77 | 0.88 | 31.47 | 0.17 | 5.98 | 12.86 | 89.38 |
| T Zn | 175.40 | 90.23 | 0.64 | 0.41 | 1.13 | 0.71 | 87.14 | 10.62 |
| F | 198.90 | 100.00 | 1.14 | 3.85 | 2.27 | 7.66 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 5B. Balance metalúrgico prueba 5.

| Prueba 5 pH Pb=9.1 ; pH Zn=11 T5 (15mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 8.40 | 4.24 | 19.70 | 26.24 | 1.66 | 2.20 | 71.76 | 24.65 |
| T Pb | 189.80 | 95.76 | 0.34 | 3.55 | 0.65 | 6.74 | 28.24 | 75.35 |
| C Zn | 20.00 | 10.54 | 0.69 | 30.54 | 0.14 | 6.11 | 21.18 | 90.66 |
| T Zn | 169.80 | 89.46 | 0.30 | 0.37 | 0.51 | 0.63 | 78.82 | 9.34 |
| F | 198.20 | 100.00 | 1.16 | 4.51 | 2.31 | 8.94 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 6B. Balance metalúrgico prueba 6.

| Prueba 6 pH Pb=9.5 ; pH Zn=11 T5 (15mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 4.10 | 2.09 | 26.87 | 20.90 | 1.10 | 0.86 | 57.81 | 8.96 |
| T Pb | 192.10 | 97.91 | 0.42 | 4.53 | 0.80 | 8.71 | 42.19 | 91.04 |
| C Zn | 23.90 | 12.44 | 0.81 | 33.82 | 0.19 | 8.08 | 24.12 | 92.81 |
| T Zn | 168.20 | 87.56 | 0.36 | 0.37 | 0.61 | 0.63 | 75.88 | 7.19 |
| F | 196.20 | 100.00 | 0.97 | 4.88 | 1.91 | 9.57 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 7B. Balance metalúrgico prueba 7.

| Prueba 7 pH Pb=10.1 ; pH Zn=11 T5 (15mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 5.20 | 2.62 | 16.82 | 22.75 | 0.87 | 1.18 | 51.73 | 11.84 |
| T Pb | 193.20 | 97.38 | 0.42 | 4.56 | 0.82 | 8.81 | 48.27 | 88.16 |
| C Zn | 24.80 | 12.84 | 0.49 | 32.91 | 0.12 | 8.16 | 15.01 | 92.69 |
| T Zn | 168.40 | 87.16 | 0.41 | 0.38 | 0.69 | 0.64 | 84.99 | 7.31 |
| F | 198.40 | 100.00 | 0.85 | 5.04 | 1.69 | 9.99 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 8B. Balance metalúrgico prueba 8.

| Prueba 8 pH Pb=10.5 ; pH Zn=11 T5 (15mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 3.90 | 1.95 | 13.97 | 21.96 | 0.54 | 0.86 | 41.84 | 9.37 |
| T Pb | 195.70 | 98.05 | 0.39 | 4.23 | 0.76 | 8.28 | 58.16 | 90.63 |
| C Zn | 25.60 | 13.08 | 0.31 | 29.95 | 0.08 | 7.67 | 10.45 | 92.63 |
| T Zn | 170.10 | 86.92 | 0.40 | 0.36 | 0.68 | 0.61 | 89.55 | 7.37 |
| F | 199.60 | 100.00 | 0.65 | 4.58 | 1.30 | 9.13 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 9B. Balance metalúrgico prueba 9.

| Prueba 9 pH Pb=9.1 ; pH Zn=11 T5 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 10.20 | 5.08 | 20.59 | 27.45 | 2.10 | 2.80 | 81.11 | 26.74 |
| T Pb | 190.40 | 94.92 | 0.26 | 4.03 | 0.49 | 7.67 | 18.89 | 73.26 |
| C Zn | 22.70 | 11.92 | 0.13 | 31.19 | 0.03 | 7.08 | 5.96 | 92.29 |
| T Zn | 167.70 | 88.08 | 0.27 | 0.35 | 0.46 | 0.59 | 94.04 | 7.71 |
| F | 200.60 | 100.00 | 1.29 | 5.22 | 2.59 | 10.47 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 10B. Balance metalúrgico prueba 10.

| Prueba 10 pH Pb=9.5; pH Zn=11 T5 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 5.50 | 2.77 | 24.95 | 23.95 | 1.37 | 1.32 | 62.15 | 12.72 |
| T Pb | 193.15 | 97.23 | 0.43 | 4.68 | 0.84 | 9.04 | 37.85 | 87.28 |
| C Zn | 24.70 | 12.79 | 0.73 | 33.93 | 0.18 | 8.38 | 21.54 | 92.75 |
| T Zn | 168.45 | 87.21 | 0.39 | 0.39 | 0.66 | 0.66 | 78.46 | 7.25 |
| F | 198.65 | 100.00 | 1.11 | 5.21 | 2.21 | 10.35 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 11B. Balance metalúrgico prueba 11.

| Prueba 11 pH Pb= 10.1; pH Zn=11 T5 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 3.00 | 1.52 | 19.74 | 22.70 | 0.59 | 0.68 | 34.44 | 7.91 |
| T Pb | 195.00 | 98.48 | 0.58 | 4.07 | 1.13 | 7.93 | 65.56 | 92.09 |
| C Zn | 22.70 | 11.64 | 0.83 | 32.07 | 0.19 | 7.28 | 16.63 | 91.81 |
| T Zn | 172.30 | 88.36 | 0.55 | 0.38 | 0.94 | 0.65 | 83.37 | 8.19 |
| F | 198.00 | 100.00 | 0.87 | 4.35 | 1.72 | 8.61 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 12B. Balance metalúrgico prueba 12.

| Prueba 12 pH Pb= 10.5; pH Zn=11 T5 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 3.70 | 1.88 | 14.90 | 20.85 | 0.55 | 0.77 | 27.03 | 7.54 |
| T Pb | 192.90 | 98.12 | 0.77 | 4.91 | 1.49 | 9.47 | 72.97 | 92.46 |
| C Zn | 25.60 | 13.27 | 1.32 | 34.51 | 0.34 | 8.84 | 22.79 | 93.32 |
| T Zn | 167.30 | 86.73 | 0.69 | 0.38 | 1.15 | 0.63 | 77.21 | 6.68 |
| F | 196.60 | 100.00 | 1.04 | 5.21 | 2.04 | 10.24 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 13B. Balance metalúrgico prueba 13.

| Prueba 13 pH Pb= 9.1; pH Zn=11 M3 (10mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 14.20 | 7.20 | 20.19 | 30.77 | 2.87 | 4.37 | 83.09 | 43.29 |
| T Pb | 183.10 | 92.80 | 0.32 | 3.13 | 0.58 | 5.72 | 16.91 | 56.71 |
| C Zn | 14.70 | 8.03 | 0.58 | 35.09 | 0.08 | 5.16 | 14.48 | 90.11 |
| T Zn | 168.40 | 91.97 | 0.30 | 0.34 | 0.50 | 0.57 | 85.52 | 9.89 |
| F | 197.30 | 100.00 | 1.75 | 5.12 | 3.45 | 10.09 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 14B. Balance metalúrgico prueba 14.

| Prueba 14 pH Pb=9.5 ; pH Zn=11 M3 (10mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 9.80 | 4.93 | 20.83 | 23.81 | 2.04 | 2.33 | 70.41 | 22.55 |
| T Pb | 189.00 | 95.07 | 0.45 | 4.24 | 0.86 | 8.02 | 29.59 | 77.45 |
| C Zn | 18.10 | 9.58 | 0.41 | 40.51 | 0.07 | 7.33 | 8.55 | 91.49 |
| T Zn | 170.90 | 90.42 | 0.46 | 0.40 | 0.78 | 0.68 | 91.45 | 8.51 |
| F | 198.80 | 100.00 | 1.46 | 5.21 | 2.90 | 10.35 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 15B. Balance metalúrgico prueba 15.

| Prueba 15 pH Pb=10.1 ; pH Zn=11 M3 (10mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 4.20 | 2.11 | 16.70 | 23.58 | 0.70 | 0.99 | 30.09 | 9.49 |
| T Pb | 194.60 | 97.89 | 0.84 | 4.85 | 1.63 | 9.44 | 69.91 | 90.51 |
| C Zn | 22.60 | 11.61 | 0.91 | 39.49 | 0.21 | 8.92 | 12.59 | 94.54 |
| T Zn | 172.00 | 88.39 | 0.83 | 0.30 | 1.42 | 0.51 | 87.41 | 5.46 |
| F | 198.80 | 100.00 | 1.17 | 5.25 | 2.33 | 10.43 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 16B. Balance metalúrgico prueba 16.

| Prueba 16 pH Pb=10.5 ; pH Zn=11 M3 (10mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 6.80 | 3.43 | 17.73 | 22.66 | 1.21 | 1.54 | 59.86 | 15.68 |
| T Pb | 191.30 | 96.57 | 0.42 | 4.33 | 0.81 | 8.28 | 40.14 | 84.32 |
| C Zn | 24.90 | 13.02 | 0.63 | 30.91 | 0.16 | 7.70 | 19.34 | 92.90 |
| T Zn | 166.40 | 86.98 | 0.39 | 0.35 | 0.65 | 0.59 | 80.66 | 7.10 |
| F | 198.10 | 100.00 | 1.02 | 4.96 | 2.01 | 9.83 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 17B. Balance metalúrgico prueba 17.

| Prueba 17 pH Pb=9.1 ; pH Zn=11 M3 (15mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 17.50 | 8.79 | 17.72 | 25.59 | 3.10 | 4.48 | 87.70 | 42.26 |
| T Pb | 181.50 | 91.21 | 0.24 | 3.37 | 0.43 | 6.12 | 12.30 | 57.74 |
| C Zn | 13.70 | 7.55 | 0.42 | 40.35 | 0.06 | 5.53 | 13.33 | 90.36 |
| T Zn | 167.80 | 92.45 | 0.22 | 0.35 | 0.38 | 0.59 | 86.67 | 9.64 |
| F | 199.00 | 100.00 | 1.78 | 5.33 | 3.54 | 10.60 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 18B. Balance metalúrgico prueba 18.

| Prueba 18 pH Pb=9.5 ; pH Zn=11 M3 (15mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 10.20 | 5.12 | 19.40 | 22.31 | 1.98 | 2.28 | 69.20 | 26.97 |
| T Pb | 189.00 | 94.88 | 0.47 | 3.26 | 0.88 | 6.16 | 30.80 | 73.03 |
| C Zn | 15.50 | 8.20 | 0.54 | 35.26 | 0.08 | 5.47 | 9.48 | 88.71 |
| T Zn | 173.50 | 91.80 | 0.46 | 0.40 | 0.80 | 0.70 | 90.52 | 11.29 |
| F | 199.20 | 100.00 | 1.44 | 4.23 | 2.86 | 8.44 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 19B. Balance metalúrgico prueba 19.

| Prueba 19 pH Pb=10.1 ; pH Zn=11 M3 (15mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 7.20 | 3.64 | 28.83 | 21.87 | 2.08 | 1.57 | 77.14 | 21.96 |
| T Pb | 190.70 | 96.36 | 0.32 | 2.93 | 0.62 | 5.59 | 22.86 | 78.04 |
| C Zn | 12.70 | 6.66 | 0.42 | 38.39 | 0.05 | 4.87 | 8.74 | 87.15 |
| T Zn | 178.00 | 93.34 | 0.32 | 0.40 | 0.56 | 0.72 | 91.26 | 12.85 |
| F | 197.90 | 100.00 | 1.36 | 3.62 | 2.69 | 7.17 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 20B. Balance metalúrgico prueba 20.

| Prueba 20 pH Pb=10.5 ; pH Zn=11 M3 (15mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 6.00 | 3.00 | 24.25 | 24.25 | 1.45 | 1.45 | 62.91 | 15.77 |
| T Pb | 193.70 | 97.00 | 0.44 | 4.01 | 0.86 | 7.77 | 37.09 | 84.23 |
| C Zn | 23.50 | 12.13 | 0.79 | 30.63 | 0.19 | 7.20 | 21.65 | 92.65 |
| T Zn | 170.20 | 87.87 | 0.39 | 0.34 | 0.67 | 0.57 | 78.35 | 7.35 |
| F | 199.70 | 100.00 | 1.16 | 4.62 | 2.31 | 9.22 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 21B. Balance metalúrgico prueba 21.

| Prueba 21 pH Pb=9.1 ; pH Zn=11 M3 (20mg/L) | | | | | | | | |
|--|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 9.30 | 4.72 | 24.13 | 24.13 | 2.24 | 2.24 | 74.17 | 19.59 |
| T Pb | 187.80 | 95.28 | 0.42 | 4.91 | 0.78 | 9.21 | 25.83 | 80.41 |
| C Zn | 29.60 | 15.76 | 0.66 | 29.92 | 0.19 | 8.86 | 24.87 | 96.14 |
| T Zn | 158.20 | 84.24 | 0.37 | 0.22 | 0.59 | 0.36 | 75.13 | 3.86 |
| F | 197.10 | 100.00 | 1.54 | 5.81 | 3.03 | 11.46 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 22B. Balance metalúrgico prueba 22.

| Prueba 22 pH Pb=9.5; pH Zn=11 M3 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 16.40 | 8.14 | 17.70 | 19.67 | 2.90 | 3.23 | 84.52 | 36.17 |
| T Pb | 185.10 | 91.86 | 0.29 | 3.07 | 0.53 | 5.69 | 15.48 | 63.83 |
| C Zn | 17.60 | 9.51 | 0.60 | 29.35 | 0.11 | 5.17 | 19.76 | 90.78 |
| T Zn | 167.50 | 90.49 | 0.25 | 0.31 | 0.43 | 0.52 | 80.24 | 9.22 |
| F | 201.50 | 100.00 | 1.70 | 4.43 | 3.43 | 8.92 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 23B. Balance metalúrgico prueba 23.

| Prueba 23 pH Pb= 10.1; pH Zn=11 M3 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 12.70 | 6.38 | 16.54 | 29.18 | 2.10 | 3.71 | 80.19 | 33.68 |
| T Pb | 186.40 | 93.62 | 0.28 | 3.92 | 0.52 | 7.30 | 19.81 | 66.32 |
| C Zn | 19.40 | 10.41 | 0.56 | 35.00 | 0.11 | 6.79 | 20.94 | 93.03 |
| T Zn | 167.00 | 89.59 | 0.25 | 0.30 | 0.41 | 0.51 | 79.06 | 6.97 |
| F | 199.10 | 100.00 | 1.32 | 5.53 | 2.62 | 11.00 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 24B. Balance metalúrgico prueba 24.

| Prueba 24 pH Pb= 10.5; pH Zn=11 T5 (20mg/L) | | | | | | | | |
|---|----------|--------|-------|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| Producto | Peso (g) | %Peso | % Ley | | C. M. Pb | C. M. Zn | % Rec. Pb | % Rec. Zn |
| | | | % Pb | %Zn | | | | |
| C Pb | 16.00 | 8.23 | 18.98 | 29.97 | 3.04 | 4.80 | 86.59 | 46.62 |
| T Pb | 178.40 | 91.77 | 0.26 | 3.08 | 0.47 | 5.49 | 13.41 | 53.38 |
| C Zn | 17.90 | 10.03 | 0.68 | 28.46 | 0.12 | 5.09 | 25.76 | 92.77 |
| T Zn | 160.50 | 89.97 | 0.22 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 74.24 | 7.23 |
| F | 194.40 | 100.00 | 1.80 | 5.29 | 3.51 | 10.29 | 100.00 | 100.00 |

Pruebas de Flotación del circuito primario de Pb y Zn.

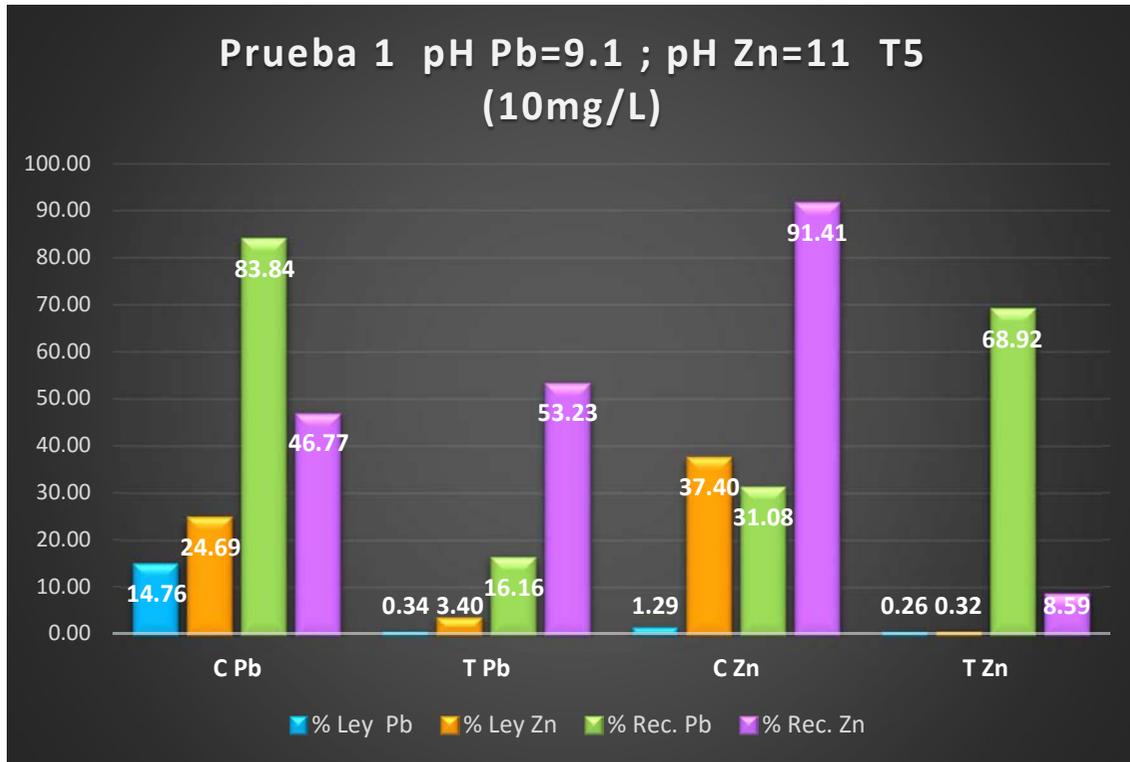


Figura 1C. Prueba 1, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L.

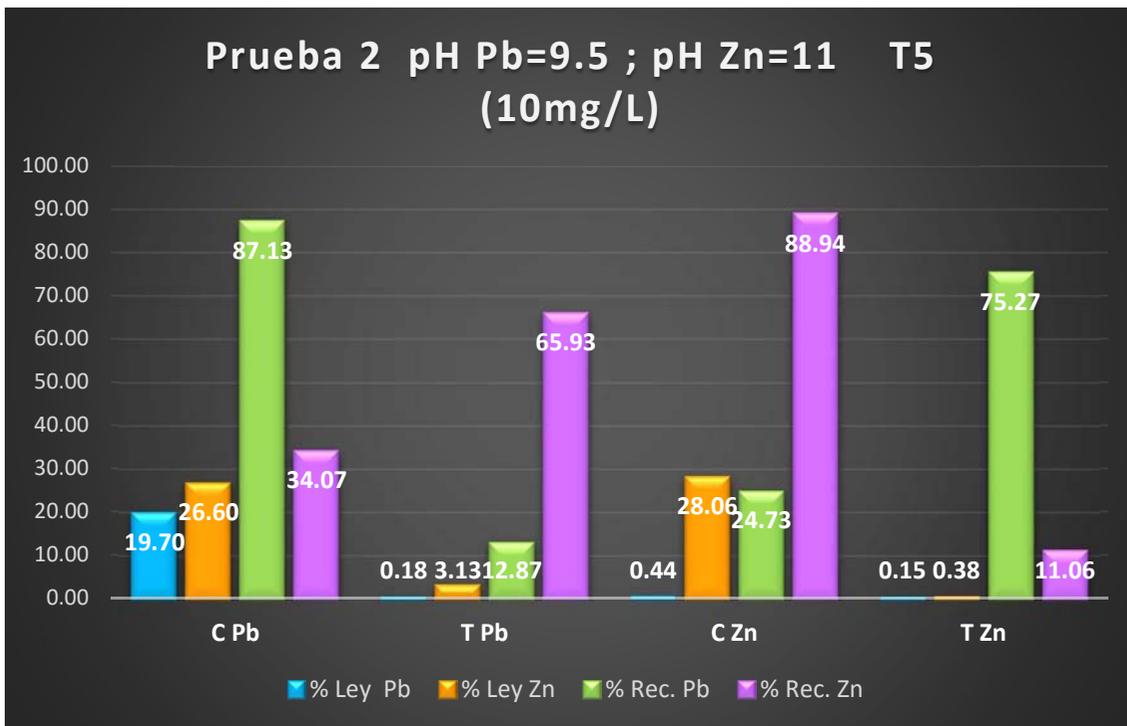


Figura 2C. Prueba 2, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L.

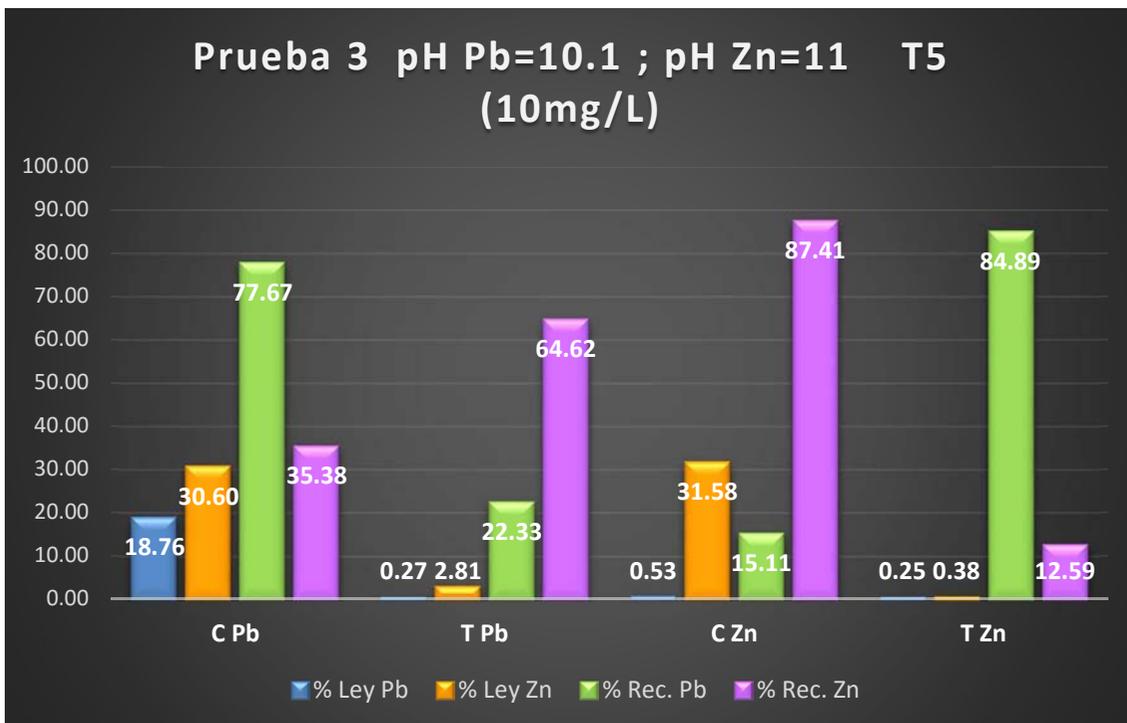


Figura 3C. Prueba 3, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L.

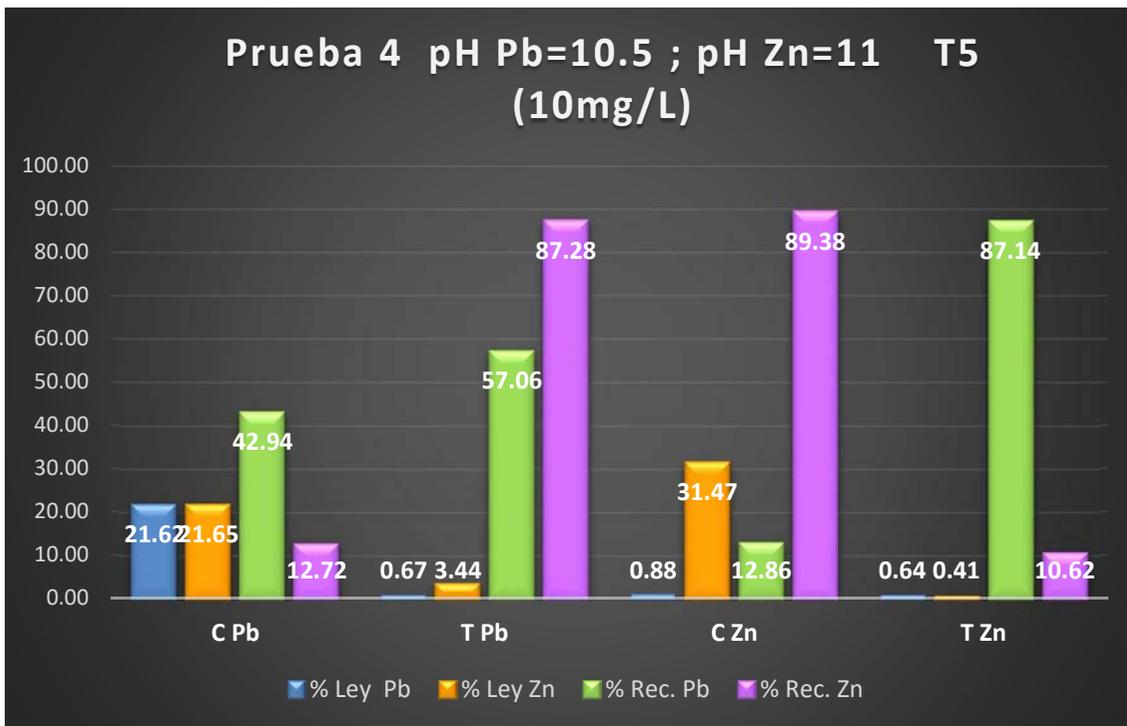


Figura 4C. Prueba 4, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 10mg/L.

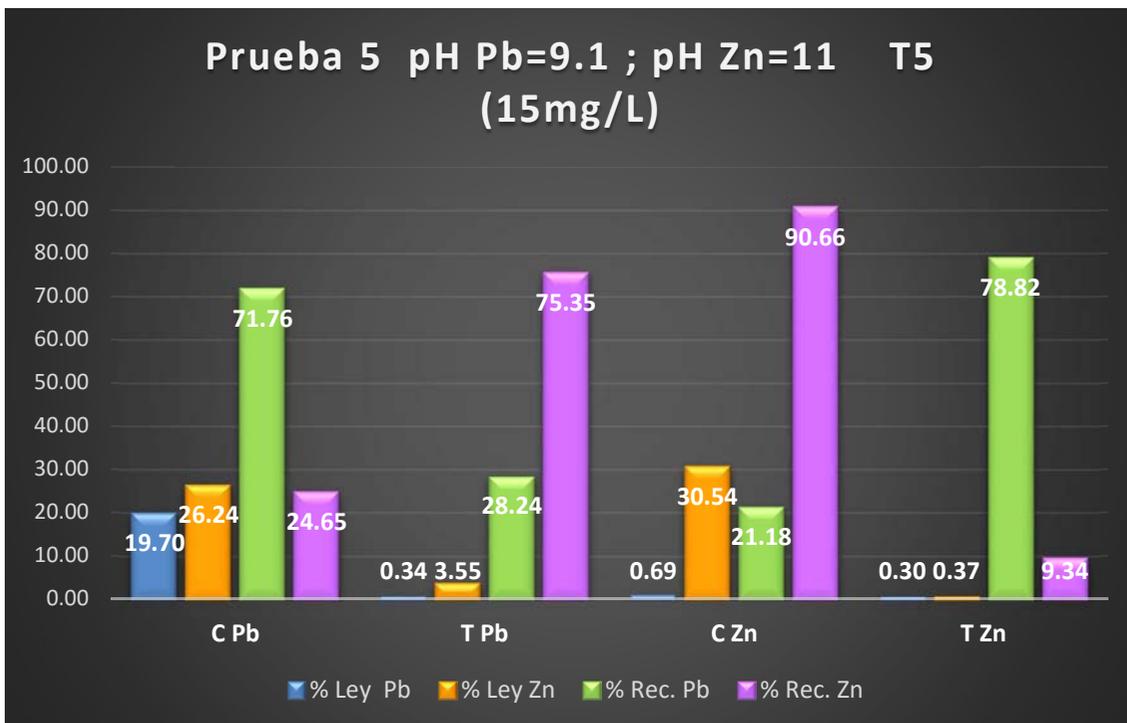


Figura 5C. Prueba 5, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L.

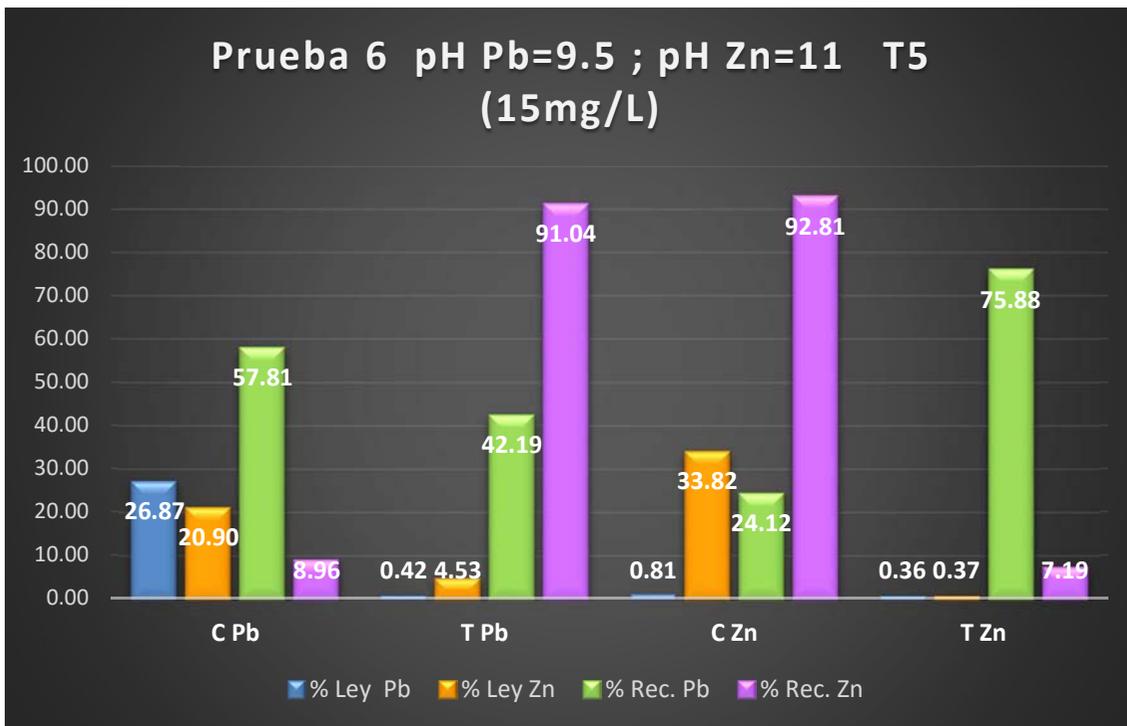


Figura 6C. Prueba 6, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L.

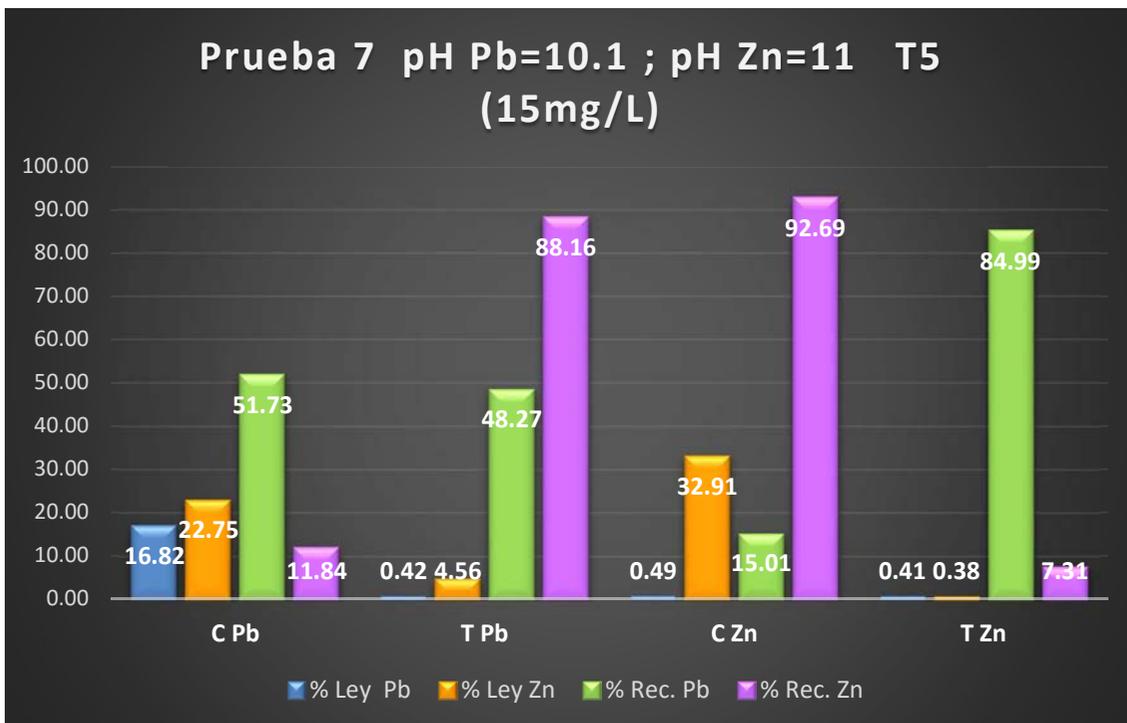


Figura 7C. Prueba 7, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L.

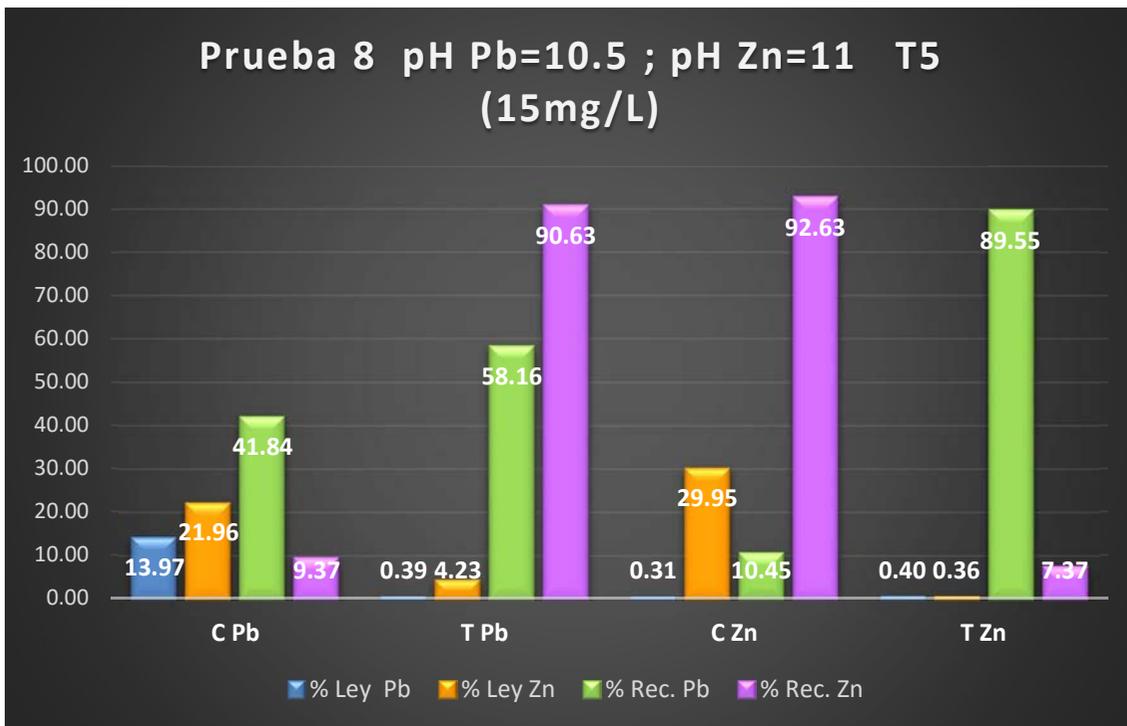


Figura 8C. Prueba 8, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 15mg/L.

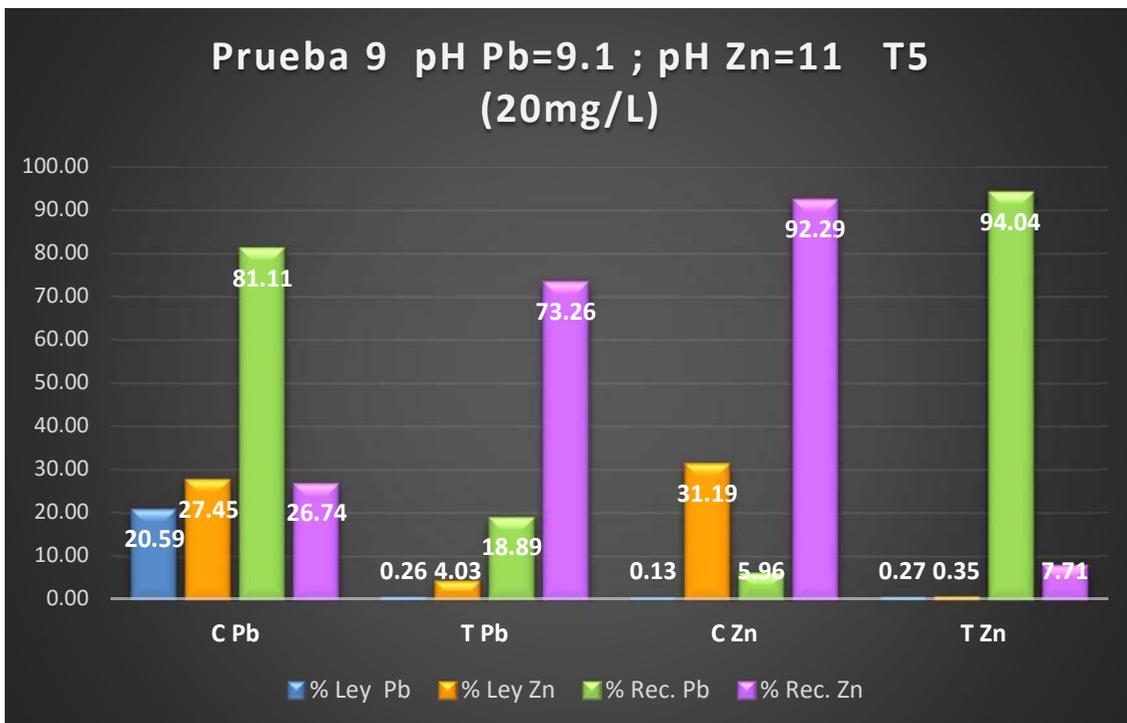


Figura 9C. Prueba 9, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L.

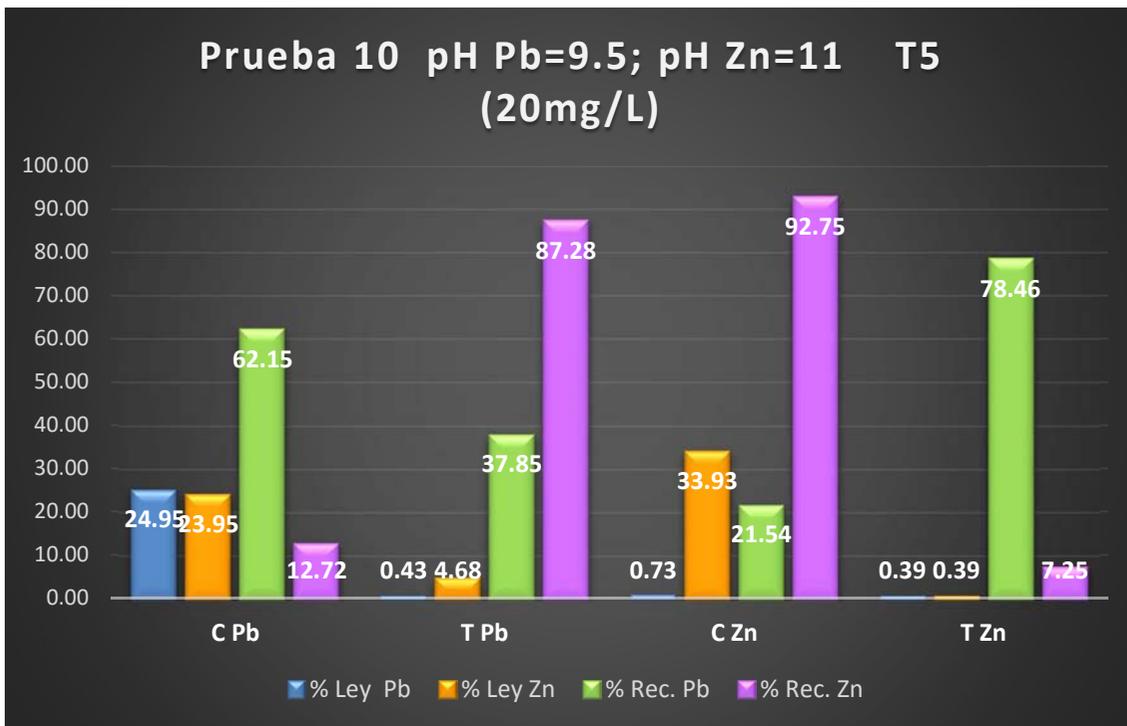


Figura 10C. Prueba 10, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L.

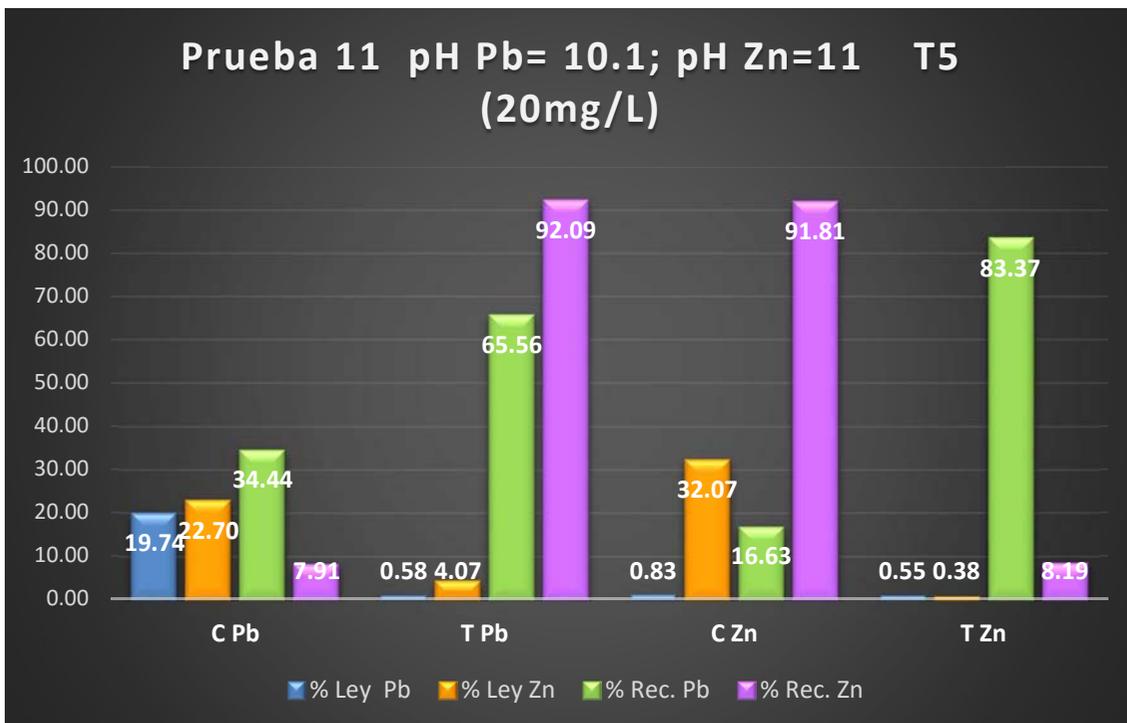


Figura 11C. Prueba 11, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L.

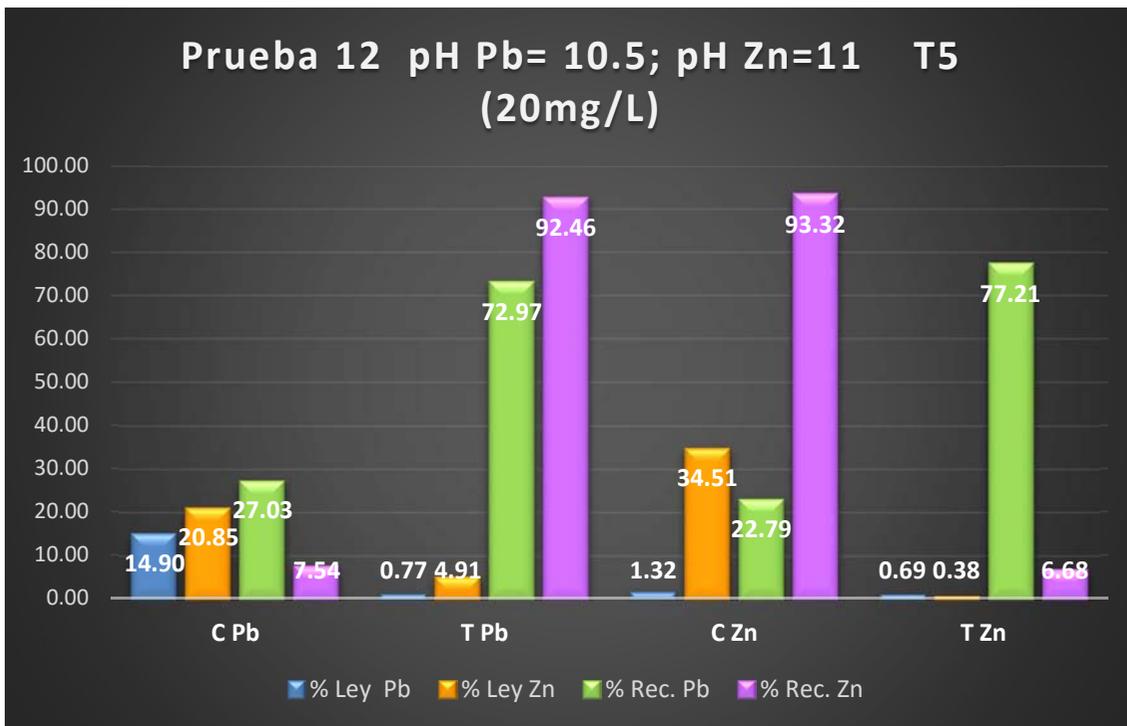


Figura 12C. Prueba 12, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 a 20mg/L.

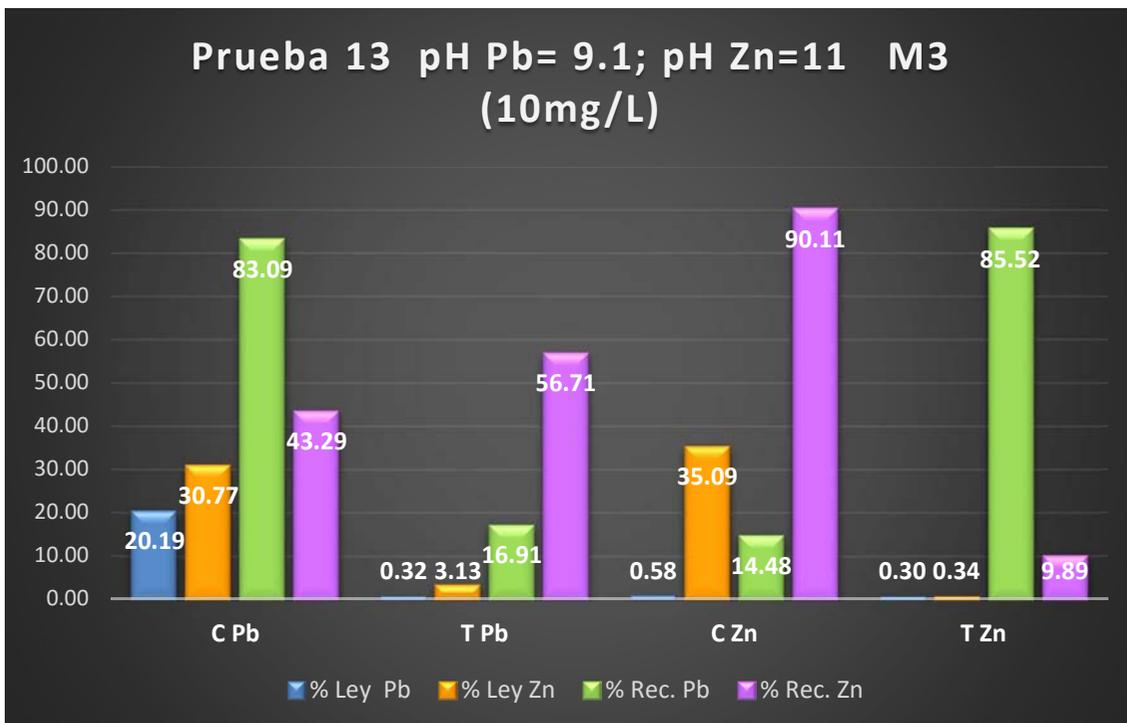


Figura 13C. Prueba 13, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L.

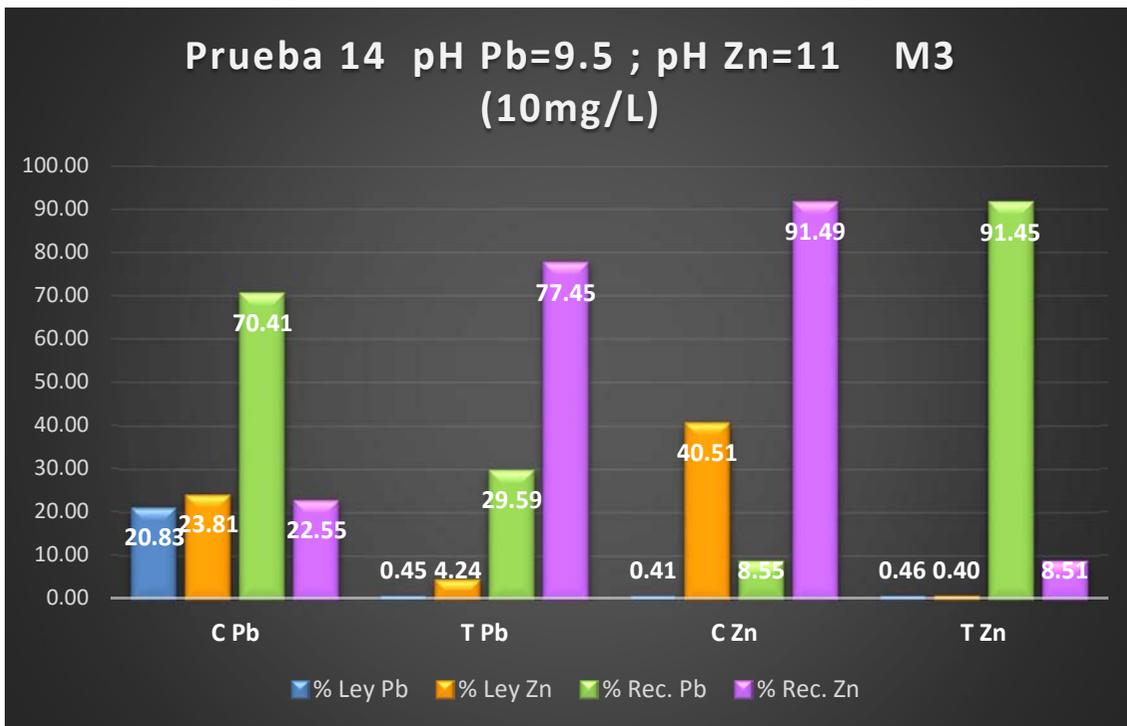


Figura 14C. Prueba 14, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L.

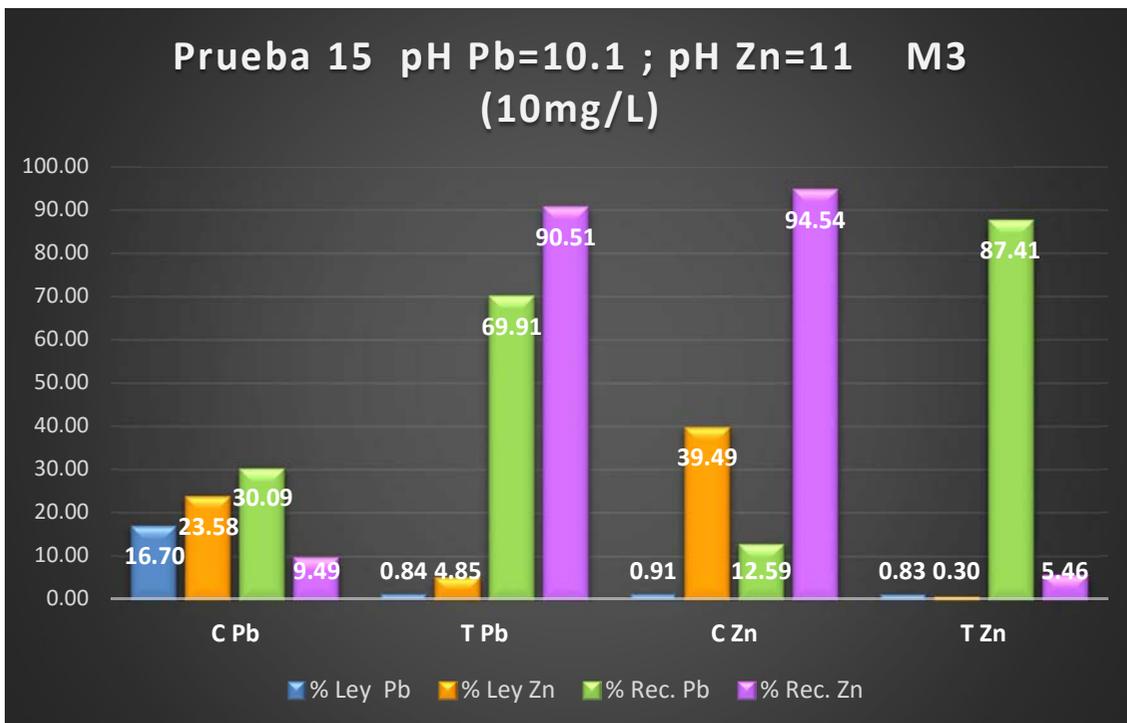


Figura 15C. Prueba 15, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L.

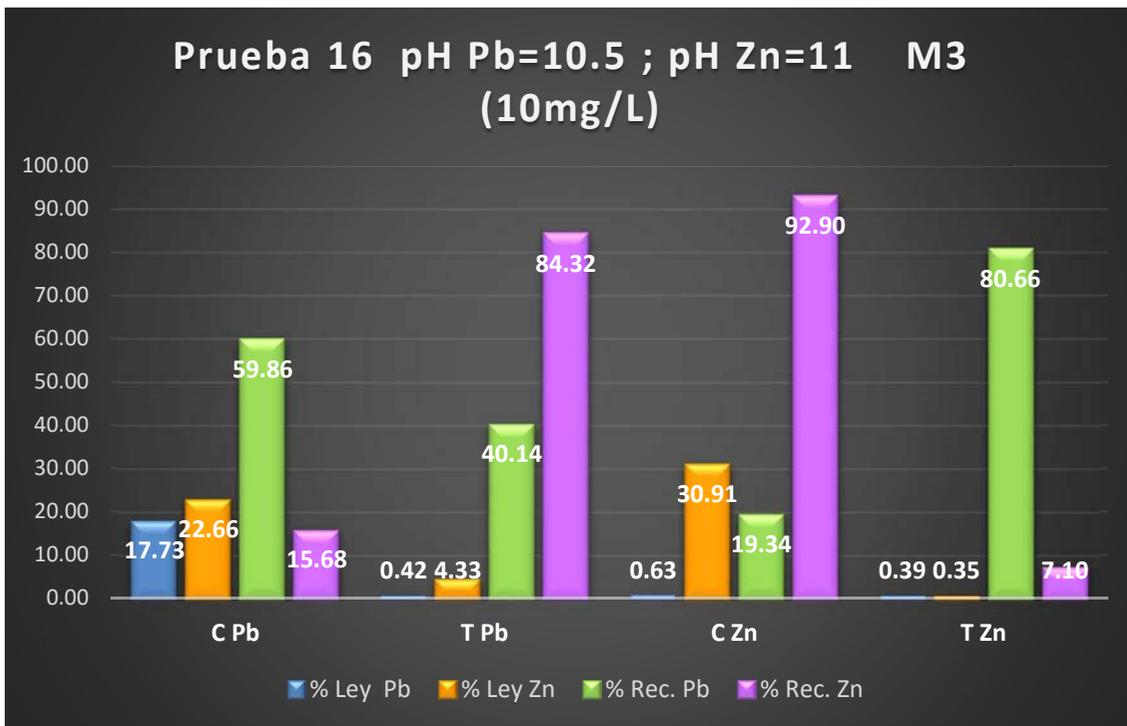


Figura 16C. Prueba 16, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 10mg/L.

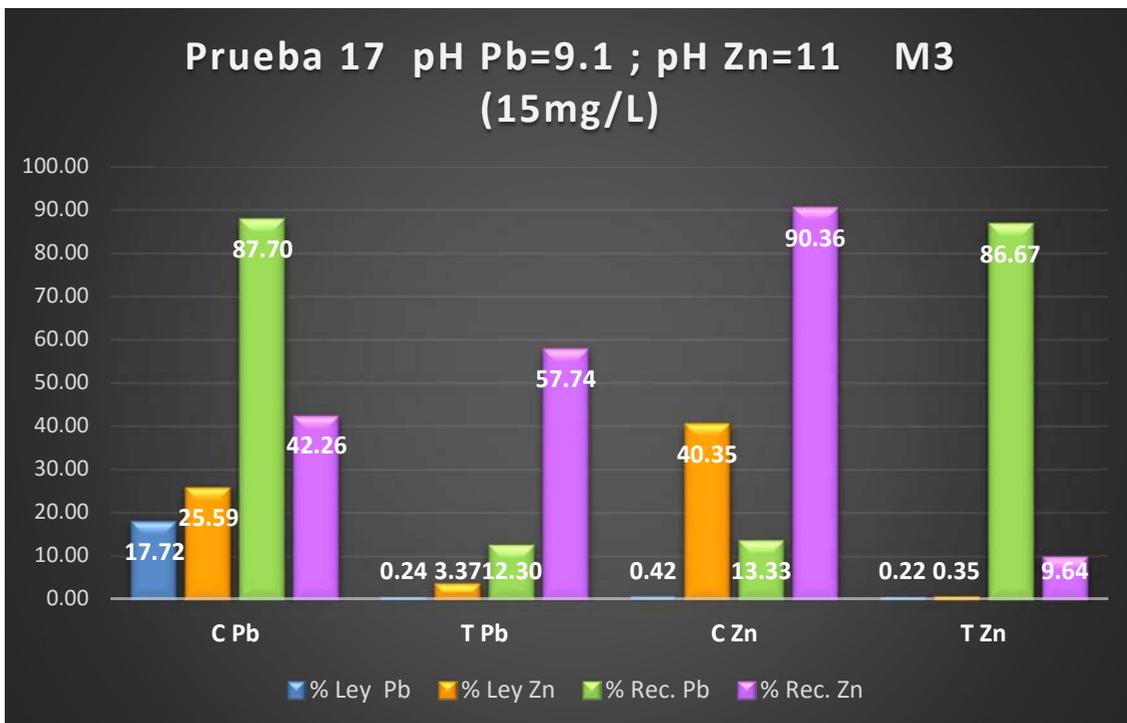


Figura 17C. Prueba 17, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L.

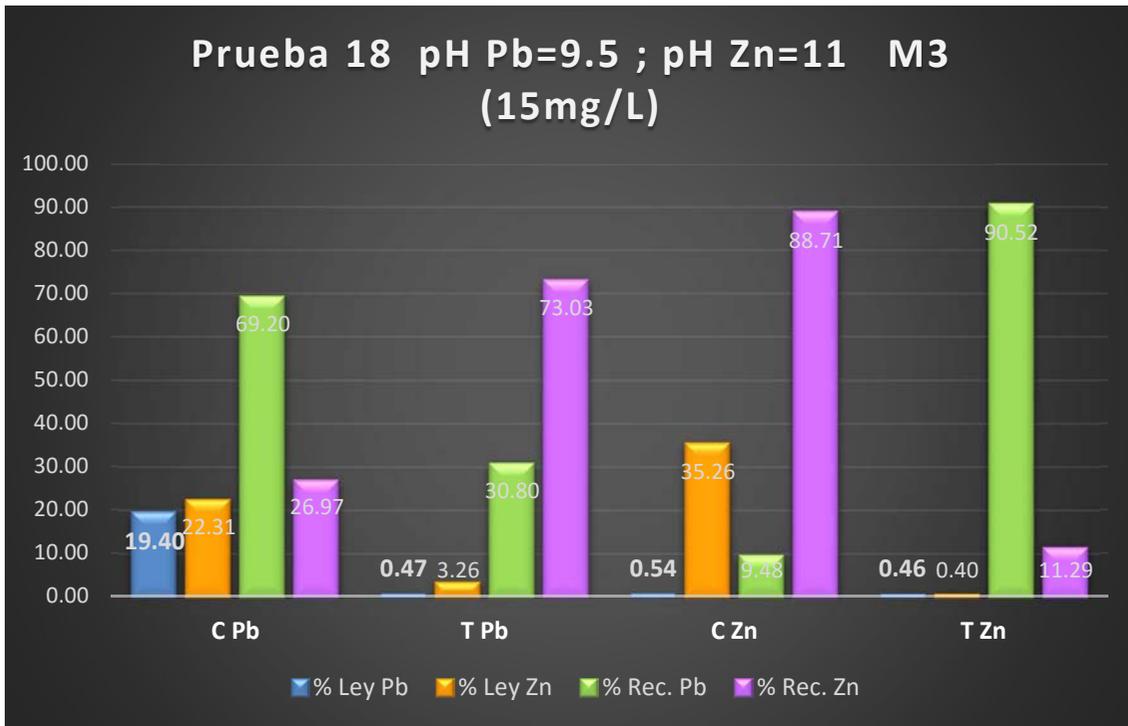


Figura 18C. Prueba 18, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L.

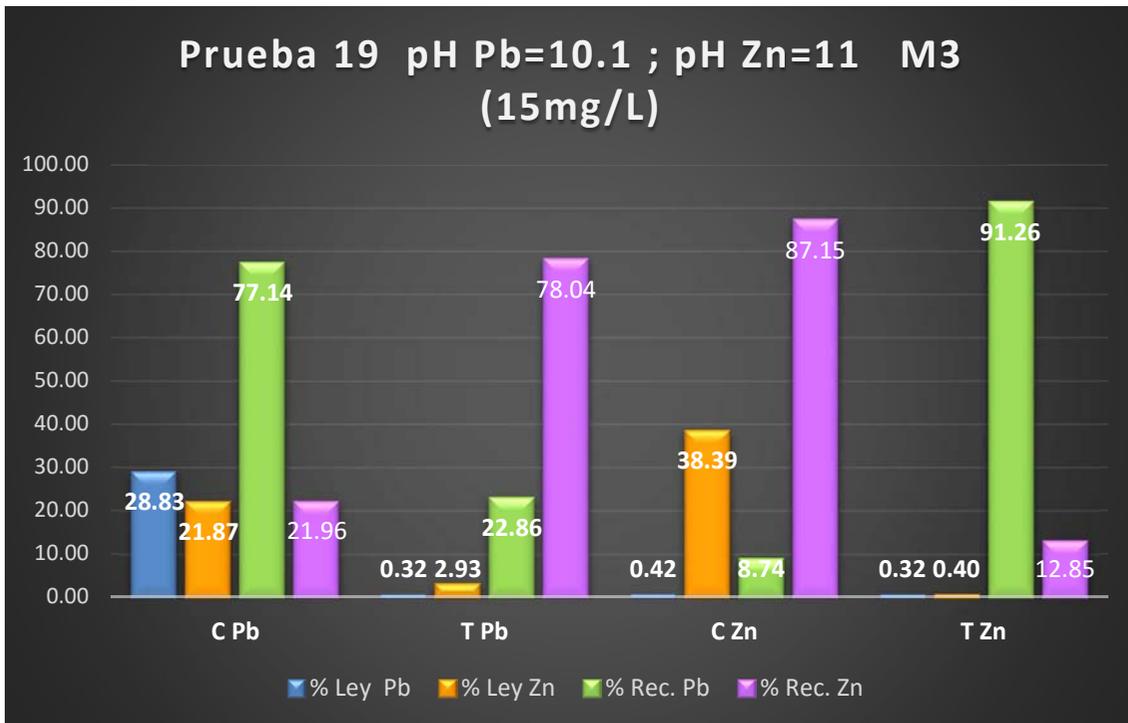


Figura 19C. Prueba 19, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L.

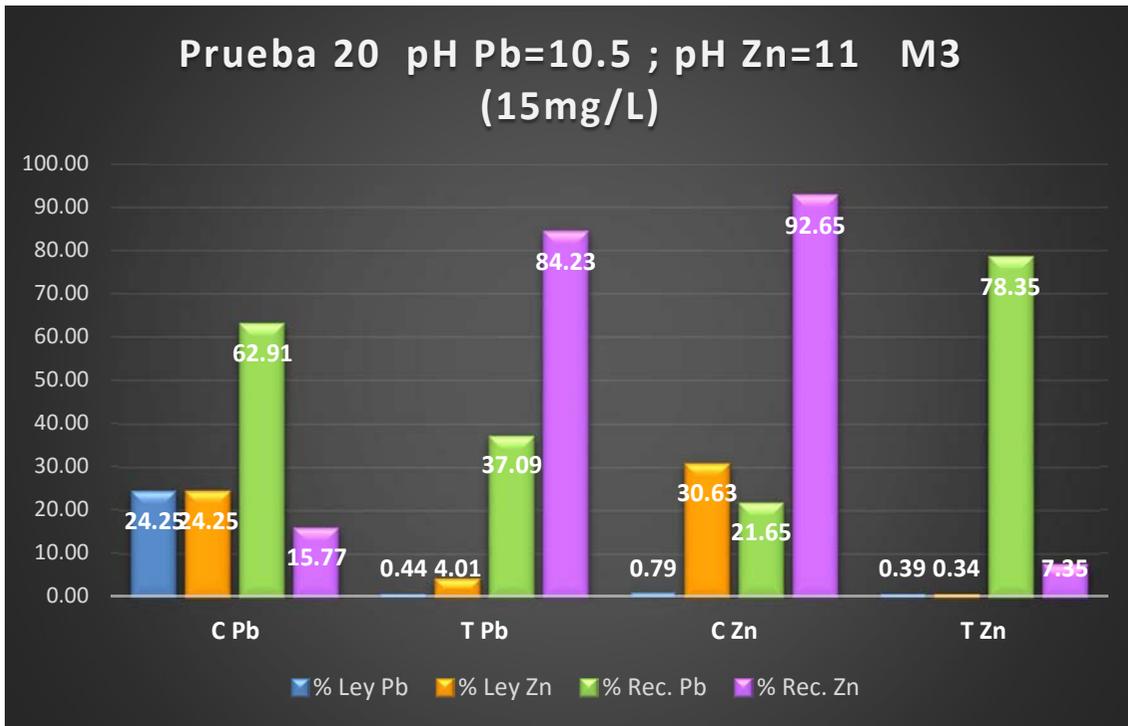


Figura 20C. Prueba 20, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 15mg/L.

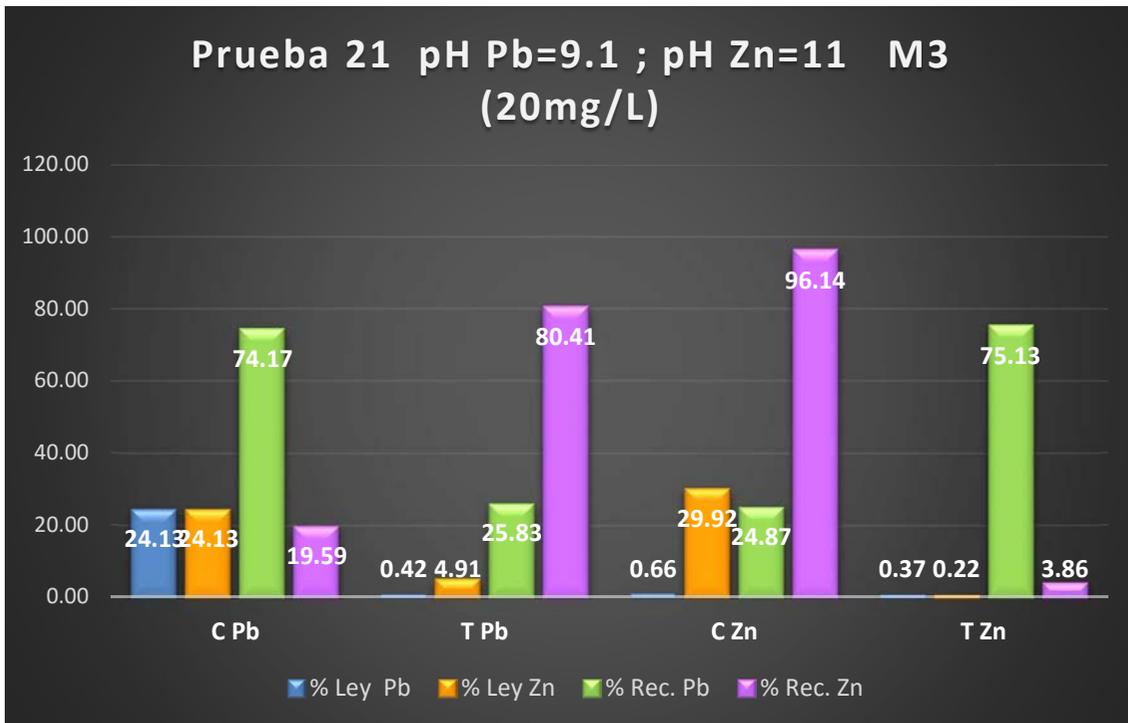


Figura 21C. Prueba 21, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 20mg/L.

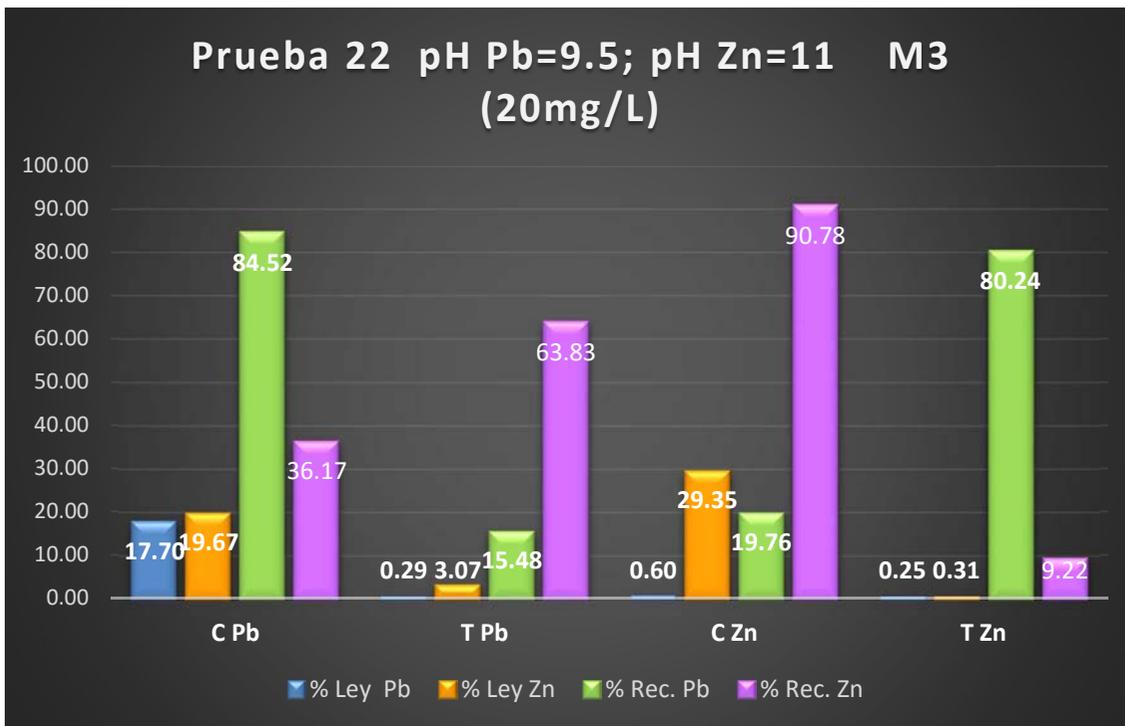


Figura 22C. Prueba 22, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 20mg/L.

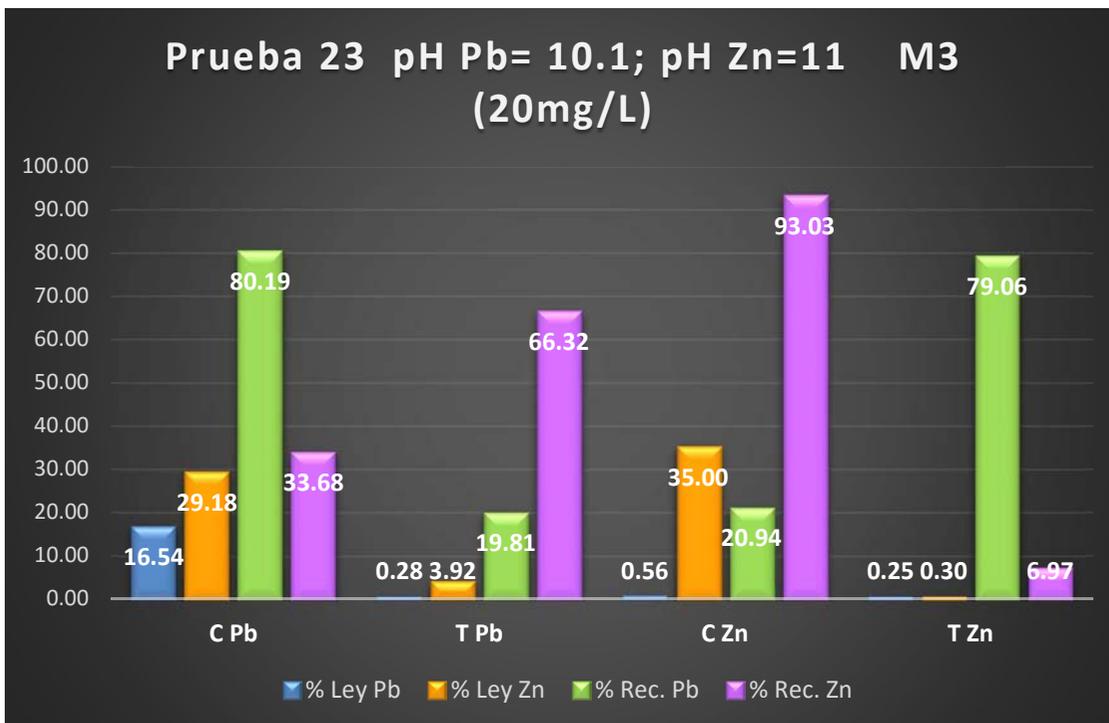


Figura 23C. Prueba 23, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho M3 a 20mg/L.

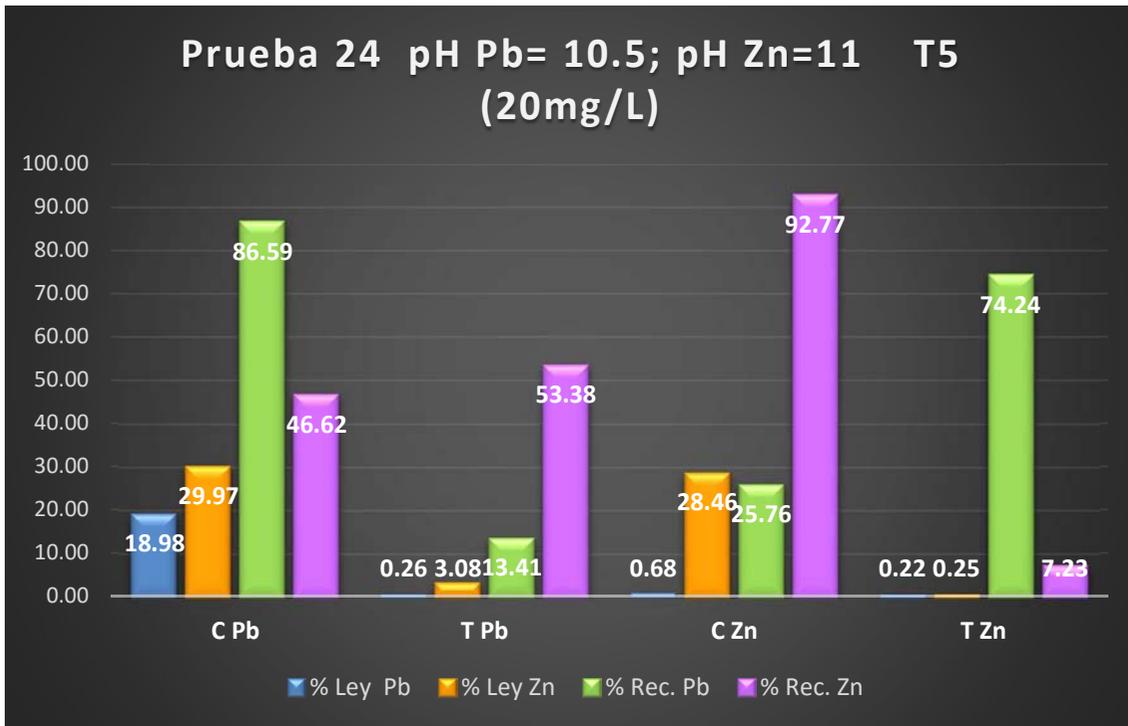


Figura 24C. Prueba 24, Flotación primaria de Pb y Zn, en presencia del depresor quebracho T5 20mg/L.

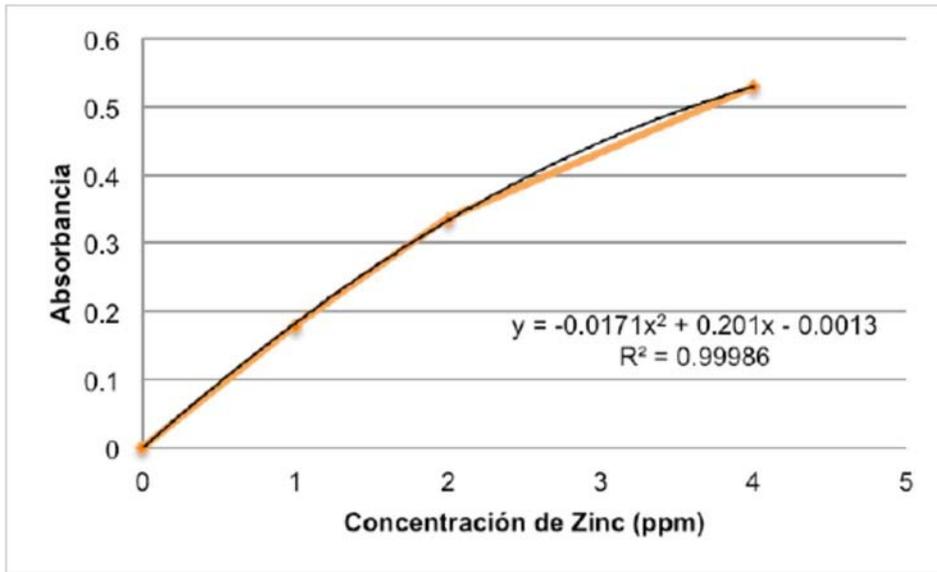
Análisis vía Absorción Atómica

Figura 1D. Curva de calibración para la determinación de zinc en los productos de flotación por espectroscopía de absorción atómica.

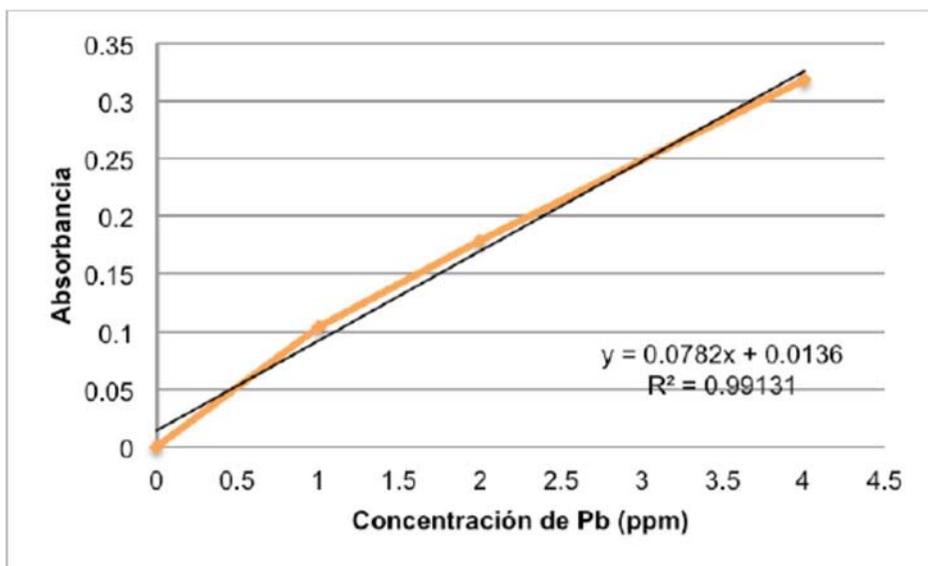


Figura 2D. Curva de calibración para la determinación de plomo en los productos de flotación por espectroscopía de absorción atómica.

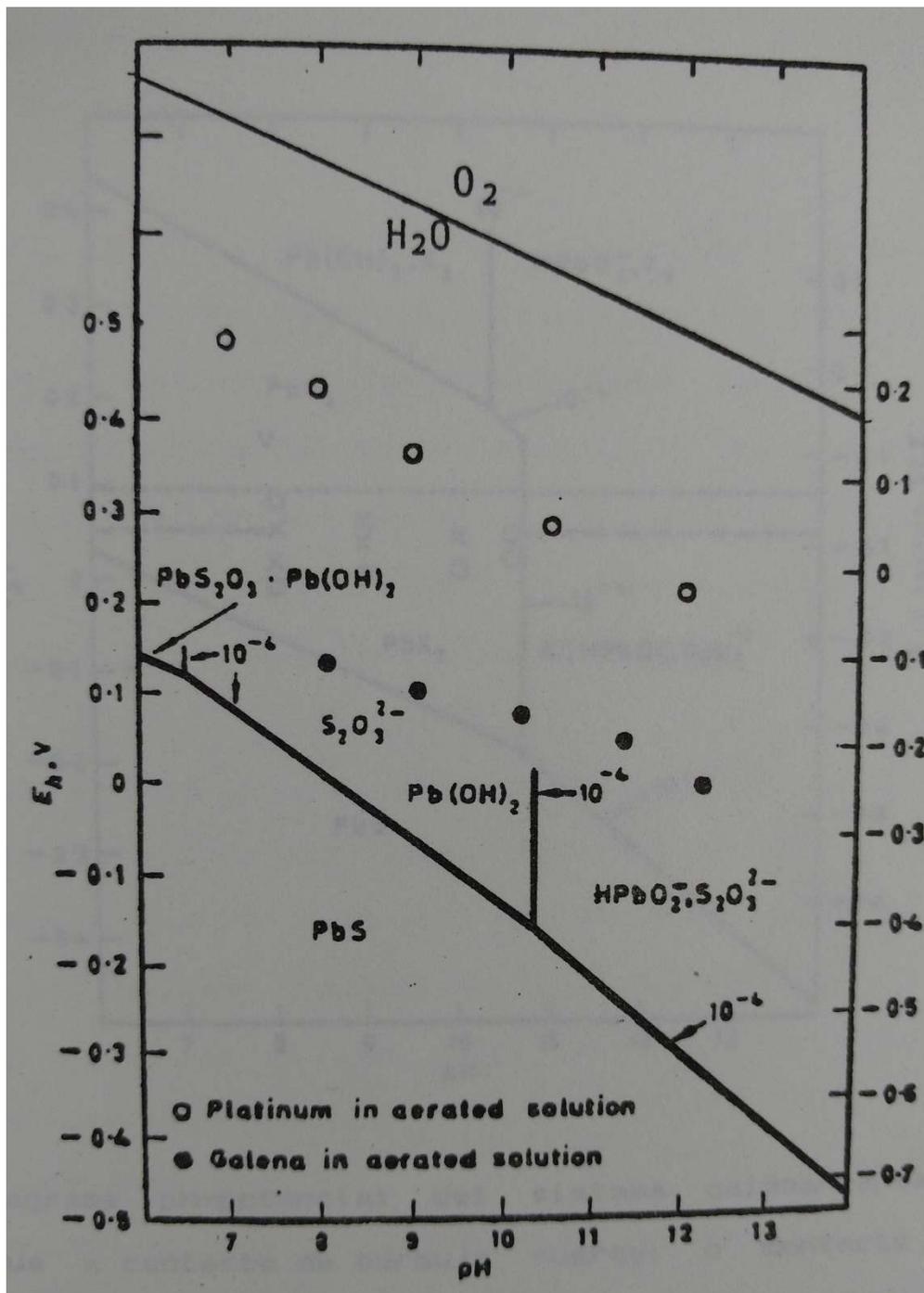


Figura 3D. Diagrama pH-potencial de Pb-S-H₂O a 25°C.[17]