



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

# **EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA PLANTA DE FLOTACIÓN SELECTIVA DE MOLIBDENO DE CODELCO DIVISIÓN EL TENIENTE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

GABRIELA CECILIA BARRIOS COLL

**PROFESOR GUÍA:**

GONZALO MONTES ATENAS

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

MARCO VERA ROMÁN

ENZO MARTÍNEZ ROMERO

SANTIAGO DE CHILE  
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniera Civil de Minas  
POR: Gabriela Cecilia Barrios Coll  
FECHA: 10/04/2017  
PROFESOR GUÍA: Gonzalo Montes Atenas

## **Evaluación, análisis y simulación de la planta de flotación selectiva de molibdeno de Codelco División El Teniente**

El presente trabajo tiene por objetivo realizar una evaluación conceptual y de campo de la eficiencia de la planta de flotación selectiva de molibdeno de Colón Bajo de la división El Teniente (Codelco), de tal forma de identificar oportunidades de mejora y/o soluciones a las problemáticas presentes en la operación.

En términos de la recuperación metalúrgica obtenida a partir de balances de masa usando datos reconciliados, la etapa de 3° limpieza es la que presenta los valores más bajos, alcanzando un 26,6% con una recuperación másica igual a 8,8%.

El análisis nodal permite inferir que la 2° etapa de flotación es aquella con mayor potencial para incrementar la recuperación global de la planta. Sin embargo, un aumento marginal conjunto de las 3 últimas etapas de limpieza muestra que, variaciones puntuales de recuperación en la 4° limpieza logran aumentar la recuperación global en mayor proporción.

Las etapas de limpieza (columnas 3, 4 y 6) se caracterizaron desde el punto de vista de la distribución de tamaños de burbujas utilizando el equipo *Bubble Viewer*® desarrollado por la Universidad McGill. Se realizaron las mediciones de distribución de tamaño de burbuja y se estimó la velocidad superficial de gas, la carga de burbujas y la recuperación en la zona de colección y espuma. Las velocidades superficiales de gas obtenidas en las tres columnas de flotación son estadísticamente idénticas. El tamaño de burbuja (diámetro medio de Sauter) proporcionó los siguientes resultados: La media de la distribución de tamaño de burbuja varía entre 0,4 a 0,8 mm, en tanto que la carga de burbujas es más baja que lo reportado en la literatura (la mayoría para celdas *Rougher*), por lo que se realiza una corrección a estos valores. A partir de estos resultados, se analiza de forma preliminar la recuperación en la zona de colección y espuma. Los resultados indican que la recuperación en la zona de colección oscila entre 85 y el 97%, mientras que la recuperación de la espuma varía entre 3 y 9%, siendo la columna 4 la con menor recuperación en la zona de espuma y mayor dilución.

Adicionalmente, estudios exploratorios de balance de masa de reactivos por espectrofotometría UV-Visible indican que los reactivos actualmente en uso (NaSH, Tiofos, ácido sulfúrico y kerosene), no interactúan entre sí. El análisis de las muestras de planta, en las corrientes consideradas alrededor de la planta selectiva muestran que los reactivos NaSH y Tiofos presentan una baja concentración (bajo 1 g/L), mientras que el kerosene y el ácido sulfúrico, lograrían valores de alrededor de 5 g/L.

La simulación de las etapas operadas por columnas de flotación mediante el *software JKSimFloat*®, entrega como resultado que un cambio de las columnas por celdas convencionales aumenta la recuperación metalúrgica en un 16%, con un descenso en la ley de un 1,7%. El beneficio económico que esto conlleva es de 84 MUS\$.

SUMMARY OF THE THESIS TO OBTAIN THE  
TITTLE OF: Civil Mining Engineer  
AUTHOR: Gabriela Cecilia Barrios Coll  
DATE: 20/03/2017  
MAIN ADVISOR: Gonzalo Montes Atenas

## **Assessment, analysis and simulation of the molybdenum selective flotation circuit of Codelco El Teniente Division**

This study aims at assessing at both theoretical and practical levels the molybdenum flotation circuit of Colón Bajo located at El Teniente division. The assessment seeks to identify opportunities to improve the overall circuit recovery and to provide, when possible, alternatives for towards achieving efficiency enhancement.

The mass balance obtained from the selective circuit survey indicates that, among all the flotation banks and column tanks, the 3<sup>rd</sup> cleaning stage exhibits the lowest metallurgical and mass recoveries (26,6 and 8,8%, respectively).

In spite of the latter, a nodal analysis of the circuit presents the 2<sup>nd</sup> cleaning stage as the bank with the highest potential to improve the global recovery of the selective circuit. Additionally, small positive increments in the last three cleaning stages are highly sensitive to changes in the 4<sup>th</sup> cleaning stage that may lead to even higher global recovery increments.

The critical cleaning stages (columns 3, 4 and 6) were characterized from the bubble size distribution standpoint using the *Bubble Viewer*® equipment developed by McGill University. Besides carrying out the bubble size distribution measurements the equipment was also used to estimate the superficial gas velocity, the bubble load, the froth zone and the collection zone recoveries. Since the three columns have the same cross surface area, the measurement locations were similarly selected. The superficial gas velocities obtained in the three flotation columns are statistically identical. The bubble size (Sauter mean diameter) provided the following sequence: The mean bubble size distribution varies from 0.4 to 0.8 mm, while the bubble load results are lower than those reported in the literature (most of them being for rougher cells). Due to the latter a correction to the bubble load values was performed. From these results, a preliminary analysis of the recovery in the collection zone and froth zone was made. Results indicate that the recovery in the collection zone ranges from 85 to 97% while the froth recovery is between 3 and 9%, being the column 4 the one with greater recovery of pulp, nevertheless, it is the column that presents greater dilution.

Additionally, exploratory studies on reagent mass balance using UV-Visible spectrophotometry indicate that the reagents currently in use (NaSH, Thiofos, sulfuric acid and kerosene) do not interact with each other forming complexes. Plant samples, shows that NaSH and Thiophos have a low concentration in all streams (under 1 g/L), while kerosene and sulfuric acid, possible sulphate ions build up, have values of around 5 g/L.

Finally, simulations of the molybdenum selective flotation circuit were performed using the *JKSimFloat*® software. The results indicate that the swap of columns by conventional cells increases the metallurgical recovery in 6%, while the Mo grade decreases by only a 1,7%, The economic benefit behind this strategy will increase the profit by 84 US\$.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor guía Gonzalo Montes, por el apoyo, preocupación y disponibilidad entregada en todos los meses de trabajo. A mi tutor en faena Enzo Martínez por permitirme realizar la memoria en Codelco, división El Teniente y por la ayuda brindada para poner llevar a cabo todas las pruebas y estudios de la memoria. Ambos fueron fundamentales en este proceso y agradezco todo el conocimiento adquirido tanto de forma teórica como en faena.

También agradezco a mi familia, por inculcarme siempre a dar lo mejor de mí y superarme ante las adversidades. A mi madre por apoyarme, comprenderme, escucharme y por sobre todo por tener una voluntad y paciencia de oro durante todos los años de la carrera, sin su ayuda no estaría donde estoy ahora. A mi padre por confiar en mí y hacerme creer que ningún problema era imposible y que siempre podría sortear cualquier desafío que se me planteara. Quiero agradecer también a mi abuelita Gaby porque sé que cada vez que pedía su ayuda, desde el cielo ella siempre me respondía y a mi abuelita Olga porque ahora tengo dos estrellas cuidándome desde el cielo.

En esta oportunidad también quiero agradecer a mis amigas Viviana, Paulina y Tamara, porque sin ellas el plan común no habría sido lo mismo y probablemente no estaría donde estoy sin su apoyo en nuestras largas noche de estudio. A mi compañera minera María José por escucharme, comprenderme y ayudarme durante la especialidad, sobre todo en este último tiempo. Finalmente quiero agradecerle a Gabriela Castillo porque pese a que los años pasan la amistad no se acaba, por todas las veces que me escuchaste y por todas las risas y carcajadas que hicieron de mis años en la universidad mucho más gratos.

Quisiera agradecer también a los trabajadores de la división El Teniente, por enseñarme todos los procedimientos y protocolos experimentales, por ayudarme a realizar las pruebas requeridas para mi memoria, en particular a Don Marcos, Don Cesar, Don Manuel y Don Juan Carlos. A Laurita, Nicole, Victor, Don Hugo y Don Sixto. A Paulina, el Profesor Ayala, todos parte del laboratorio metalúrgico, sin ellos mi estancia en las dependencias de Codelco no habrá sido lo mismo. A los ingenieros de procesos, Aldo y Hector, por ayudarme a resolver mis dudas y brindarme su apoyo. A los operadores y jefes de turno de la planta de flotación selectiva de molibdeno, por su buena disposición y cariño. Por ultimo a Don René y Carola por acogerme como una más dentro de la compañía.

Quiero agradecer también a todos aquellos que fueron parte de este proceso, mis familiares cercanos: mi tía Ely y Eliana, a mis amigos de plan común: Pilar, Camilo, Carlos y Javier, a mis compañeros de carrera: Julio, Rodrigo, Felipe y Cesar. A mis compañeras de colegio: Panchi, Vale, Loreta y Andrea. Porque cada uno de ustedes me hacen la persona que soy ahora.

## Tabla de contenido

Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
Hipótesis .....	4
Alcances.....	4
Estructura de memoria.....	5
Análisis crítico de la literatura.....	6
Antecedentes de Flotación .....	6
1.1 Principios de flotación de minerales .....	6
1.2 Celdas y circuitos industriales de flotación de minerales .....	9
1.3 Caracterización de la dispersión del gas en celdas de flotación.....	12
1.4 Reactivos de flotación y la determinación de su concentración a escala industrial .....	16
1.5 Flotación selectiva de molibdenita.....	17
1.6 Benchmarking de plantas de flotación de Molibdeno.....	21
Antecedentes de la faena.....	23
2.1 Mina El Teniente.....	23
2.2 Historia.....	24
2.3 Método de explotación y procesamiento de minerales .....	25
2.4 Planta de flotación selectiva de molibdeno .....	26
3.5 Producción y comercialización de concentrados .....	28
Protocolos Experimentales .....	30
1. Evaluación de planta selectiva de molibdeno de El Teniente.....	30
2. Análisis teórico nodal de la recuperación global .....	33
3. Caracterización de columnas presentes en el circuito de limpieza.....	34
4. Experimentos cinéticos de flotación a escala de laboratorio .....	37
5. Modelamiento y Simulación del circuito de flotación selectiva.....	39
Resultados y Discusiones .....	41
1. Evaluación de planta selectiva de molibdeno de El Teniente.....	41
1.1 Balance de masa global.....	41
1.2 Otros parámetros .....	45
2. Análisis teórico de la recuperación global .....	59

3. Caracterización de columnas presentes en el circuito de flotación.....	64
3.1 Caracterización de la dispersión de gas y estimación de la carga de burbujas .....	64
3.2 Estudio exploratorio de balance de masa de reactivo .....	70
4. Experimentos cinéticos de flotación a escala de laboratorio .....	84
4.1 Determinación del tiempo máximo de flotación en la etapa Rougher .....	84
4.2 Componentes de flotabilidad.....	84
4.3 Recuperación metalurgica y recuperación másica .....	85
4.4 Curva de recuperación y ley.....	85
5. Simulación de la planta de selectiva de flotación y sus variantes.....	89
5.1 Simulación Columnas de flotación .....	89
5.2 Evaluación de las alternativas simuladas .....	91
Conclusiones.....	92
Recomendaciones .....	93
Bibliografía.....	94
Anexos.....	99
Anexos A: Antecedentes: Características de la Molibdenita.....	99
Anexos B: Proceso productivo de El Teniente .....	102
Anexos C: Materiales, equipamiento.....	103
1.1 Reactivos .....	103
1.2 Equipamiento menor .....	103
1.3 Equipamiento mayor .....	104
Anexos D: Metodología de caracterización de muestras minerales. ....	106
1. Determinación de la densidad de pulpa y porcentaje de solido .....	106
2. Determinacion del pH y potencial redox.....	107
3. Determinación de la gravedad específica.....	107
4. Determinación de la granulometría .....	108
5. Distribución de tamaños de partícula mediante Cyclosizer .....	108
6. Leyes de molibdeno y cobre.....	109
7. Análisis teórico de la recuperación global .....	110
8. Cinética de flotación.....	118
9. Parámetros de simulación.....	118
Anexos E: Evaluación de la planta Selectiva de molibdeno de El Teniente .....	119
1. Balance de masa global .....	119
1.1 Leyes de cobre, molibdeno e insoluble .....	121

2. Otros parámetros .....	123
Anexos F: Caracterización de columnas presentes en el circuito de limpieza .....	140
1. Caracterización de la dispersión de gas y estimación de la carga de burbujas .....	140
2. Estudio exploratorio de balance de masa de reactivos .....	142
2.3. Espectrometría muestras directas de la planta de flotación.....	199
Anexos G: Experimentos de cinética de flotación a escala de laboratorio .....	220
1. Obtención de la recuperación intrínseca y la constante de flotabilidad .....	220
2. Componentes de flotabilidad.....	223
3. Recuperación metalúrgica y recuperación másica .....	230
4. Curvas de recuperación y ley .....	231
Anexos L: Simulaciones .....	234
1. Caso base.....	234
2. Columna Corta .....	240
3. Celdas convencionales .....	248
4. Evaluación de las alternativas simuladas .....	254

## Índice de tablas

Tabla 1: Benchmarking de plantas de flotación de Molibdeno (N.R: no reportado).....	21
Tabla 2: Requerimientos de los clientes del concentrado de molibdeno de la planta de flotación selectiva división El Teniente.....	29
Tabla 3: Parámetros de caracterización de las muestras de pulpa del balance global y específico de columnas.....	32
Tabla 4: Concentraciones y mezclas utilizadas en la espectrometría mezcla de reactivos. ....	36
Tabla 5; de pH, densidad de pulpa y porcentaje de sólido, cinética de flotación bath.....	38
Tabla 6: Error incurrido al realizar la reconciliación de datos. ....	43
Tabla 7: Recuperaciones por etapas y global, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	44
Tabla 8: índice de selectividad para cada una de las etapas de flotación. ....	45
Tabla 9: Potencial Redox, tomado a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas. ....	51
Tabla 10: Velocidad superficial de gas medido en las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	64
Tabla 11: Velocidad superficial de gas medido de forma local en la cámara de visualización para las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	64
Tabla 12: Velocidad superficial de área de burbuja. ....	65
Tabla 13: Diámetros característicos $d_{32}$ , $d_{21}$ y $d_{10}$ obtenidos del análisis realizado a las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación de molibdeno.....	65
Tabla 14: Distancia Euleriana entre $d_{10}$ - $d_{21}$ , $d_{21}$ - $d_{32}$ y distancia promedio de estas para las 3 columnas de flotación analizadas. ....	65
Tabla 15: Carga de burbuja, para cada una de las columnas de la planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	66
Tabla 16: Recuperación de espuma y recuperación en la zona de pulpa. ....	66
Tabla 17: Valores promedios de Top of Froth tomados en todas las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	67
Tabla 18: Absorbancia, Absortividad, longitud de onda que minimiza el error y error incurrido para el NaSH, Tiofos, Kerosene y ácido sulfúrico, para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	71
Tabla 19: Desviación estándar de los reactivos analizados de forma individual. ....	72
Tabla 20: Absortividad mezcla Tiofos-NaSH, para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 196 nm (Tiofos), para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	73
Tabla 21: Absortividad mezcla NaSH-Tiofos, para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 196 nm (Tiofos), para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	73
Tabla 22: Absortividad mezcla Tiofos-ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	74
Tabla 23: Absortividad mezcla ácido sulfúrico-Tiofos, Absortividad mezcla Tiofos-ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	74
Tabla 24: Absortividad mezcla Tiofos-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.....	74
Tabla 25: Absortividad mezcla Kerosene-Tiofos, Absortividad mezcla Tiofos-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.....	74
Tabla 26: Absortividad mezcla NaSH-Ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	75
Tabla 27: Absortividad mezcla Ácido sulfúrico-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	75
Tabla 28: Absortividad mezcla NaSH-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	76



Tabla 29: Absortividad mezcla Kerosene-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	76
Tabla 30: Absortividad mezcla ácido sulfúrico- Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	76
Tabla 31: Absortividad mezcla Kerosene - ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	77
Tabla 32: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para la muestra tomada en la alimentación al estanque acondicionador Titanic. ....	81
Tabla 33: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para la muestra de la alimentación Rougher. ....	81
Tabla 34: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado Rougher. ....	81
Tabla 35: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 1° Limpieza. ....	82
Tabla 36: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 2° Limpieza. ....	82
Tabla 37: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 3° Limpieza. ....	82
Tabla 38: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 4° Limpieza. ....	83
Tabla 39: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 5° Limpieza. ....	83
Tabla 40: Parámetros del modelo Arev para las etapas Rougher, 1°, 2° y 5° limpieza. ....	88
Tabla 41: Parámetros del modelo Arev para las etapas Rougher, 1°, 2° y 5° limpieza. ....	88
Tabla 42: Simulación caso base sin realizar ninguna modificación. ....	89
Tabla 43: Simulación caso columna corta sin realizar ninguna modificación. ....	90
Tabla 44; Simulación caso celdas convencionales sin realizar ninguna modificación. ....	90
Tabla 45: Ganancia anual al realizar el cambio columnas por celdas convencionales, en base a las simulaciones realizadas. ....	91
Tabla 46: Especificaciones técnicas del espectrofotómetro 6705. ....	105
Tabla 47: Parámetros de la simulación caso base y columna corta. ....	118
Tabla 48: Parámetros celda Wemco 84, utilizado en la simulación del caso celdas convencionales. ....	119
Tabla 49: Balance de masa global, planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	119
Tabla 50: Medición del caudal en el flujo del concentrado 4° Limpieza, mediante aforo de pulpa. ....	121
Tabla 51: Balance de masa específico muestreo columnas. ....	121
Tabla 52: Recuperación metalúrgica balance de masas específico columnas. ....	121
Tabla 53: Leyes de cobre, molibdeno e insoluble, del muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	121
Tabla 54: Leyes de Cu y Mo obtenidos del muestreo específico columnas. ....	122
Tabla 55: Errores en la determinación de leyes de molibdeno y cobre muestreo específico columnas. ....	122
Tabla 56: Porcentaje de sólidos, del muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	123
Tabla 57: Porcentaje de sólidos de la 3° y 4° limpieza del muestreo específico columnas. ....	123
Tabla 58: pH obtenido por lectura del sistema en línea PI. ....	124
Tabla 59: pH medido en terreno, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	128
Tabla 60: pH tomado a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas. ....	128
Tabla 61: Potencial Redox, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	129
Tabla 62: Gravedad específica muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	130

Tabla 63: Gravedad específica tomada a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.	131
Tabla 64: Densidad de pulpa, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	131
Tabla 65: Densidad de pulpa tomado en la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.	132
Tabla 66: Conductividad tomada en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.	132
Tabla 67: Conductividad tomada a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas. ....	133
Tabla 68: Granulometría obtenida en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.	133
Tabla 69: Granulometría obtenida en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.	134
Tabla 70: Granulometría balance específico 3° y 4° Limpieza. ....	135
Tabla 71: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en alimentación a la 3° limpieza.	136
Tabla 72: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 3° limpieza.	137
Tabla 73: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 3° limpieza.	138
Tabla 74: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 4° limpieza.	139
Tabla 75: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 4° limpieza.	140
Tabla 76: Ley de Mo, Top of Froth columna 3,4 y 6. ....	140
Tabla 77: Ley de Mo en el concentrado para la columna 3 y 4 en conjunto y la columna 6. ....	141
Tabla 78: Análisis QEMSCAN, por elemento a las muestras obtenidas de las columnas de flotación.	141
Tabla 79: Análisis QEMSCAN, por elemento a las muestras obtenidas de las columnas de flotación.	141
Tabla 80: Análisis QEMSCAN, grado de liberación de la molibdenita en las muestras obtenidas de las columnas de flotación.	142
Tabla 81: Espectrometría muestra individual NaSH. ....	142
Tabla 82: Espectrometría muestra individual TioFos. ....	146
Tabla 83: Espectrometría muestra individual Kerosene. ....	151
Tabla 84: Espectrometría muestra individual ácido sulfúrico. ....	154
Tabla 85: Absorbancia muestra Tiofos-NaSH. ....	162
Tabla 86: Absorbancia muestra NaSH- Tiofos. ....	165
Tabla 87: Concentraciones muestra NaSH-Tiofos. ....	167
Tabla 88: Concentraciones muestra Tiofos- NaSH. ....	167
Tabla 89: Absorbancia muestra Tiofos- ácido sulfúrico. ....	168
Tabla 90: Absorbancia muestra ácido sulfúrico-Tiofos. ....	171
Tabla 91: Concentraciones muestra Tiofos-Ácido sulfúrico. ....	173
Tabla 92: Concentraciones muestra Ácido sulfúrico-Tiofos. ....	173
Tabla 93: Absorbancia muestra ácido Tiofos- Kerosene. ....	174
Tabla 94: Absorbancia muestra Kerosene-Tiofos. ....	177
Tabla 95: Concentraciones mezcla Tiofos-Kerosene. ....	180
Tabla 96: Concentraciones muestra Kerosene- Tiofos. ....	180
Tabla 97: Absorbancia muestra NaSH-ácido sulfúrico. ....	180
Tabla 98: Absorbancia muestra ácido sulfúrico- NaSH. ....	183

Tabla 99: Concentraciones muestra NaSH-ácido sulfúrico.....	186
Tabla 100: Concentraciones muestra ácido sulfúrico- NaSH.....	186
Tabla 101: Absorbancia muestra NaSH- Kerosene.....	186
Tabla 102: Absorbancia muestra Kerosene- NaSH.....	189
Tabla 103: Concentraciones muestra NaSH-kerosene.....	192
Tabla 104: Concentraciones muestra kerosene- NaSH.....	192
Tabla 105: Absorbancia muestra ácido sulfúrico- Kerosene.....	193
Tabla 106: Absorbancia muestra Kerosene - ácido sulfúrico.....	196
Tabla 107: Concentraciones muestra ácido sulfúrico-kerosene.....	199
Tabla 108: Concentraciones muestra kerosene- ácido sulfúrico.....	199
Tabla 109: Absorbancia muestra planta alimentación Rougher.....	199
Tabla 110: Absorbancia muestra planta alimentación Titanic.....	201
Tabla 111: Absorbancia muestra planta concentrado Rougher.....	204
Tabla 112: Absorbancia muestra planta concentrado 1° Limpieza.....	207
Tabla 113: Absorbancia muestra planta concentrado 2° Limpieza.....	209
Tabla 114: Absorbancia muestra planta concentrado 3° Limpieza.....	212
Tabla 115: Absorbancia muestra planta concentrado 4° Limpieza.....	215
Tabla 116: Absorbancia muestra planta concentrado 5° Limpieza.....	217
Tabla 117: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa Rougher, prueba 1.....	227
Tabla 118: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa Rougher, prueba 2.....	227
Tabla 119: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa Rougher, promedio.....	227
Tabla 120: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, prueba 1.....	228
Tabla 121: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, prueba 2.....	228
Tabla 122: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, promedio.....	228
Tabla 123: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, prueba 1.....	228
Tabla 124: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, prueba 2.....	229
Tabla 125: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, promedio.....	229
Tabla 126: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, prueba 1.....	229
Tabla 127: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, prueba 2.....	229
Tabla 128: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, promedio.....	230
Tabla 129: Resultado simulación caso base sin modificaciones.....	234
Tabla 130: Resultado simulación caso base aumentando la ley a un 35%, sin variar el tonelaje de sólido.....	235
Tabla 131: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, sin variar el tonelaje de sólido.....	236
Tabla 132: Resultado Simulaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	236

Tabla 133: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	236
Tabla 134: Resultado Simulaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	237
Tabla 135: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	237
Tabla 136: Resultado Simulación, caso base disminuyendo la ley a un 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.....	237
Tabla 137: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.....	238
Tabla 138: Resultado simulaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	238
Tabla 139: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	239
Tabla 140: Resultado simulaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	239
Tabla 141: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	240
Tabla 142: Resultado Simulación, caso columna corta, sin modificaciones.....	240
Tabla 143: Resultado recuperaciones, caso columna corta, sin modificaciones.....	241
Tabla 144: Resultado Simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, sin aumentar el tonelaje de sólido.....	242
Tabla 145: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, sin aumentar el tonelaje de sólido.....	243
Tabla 146: Resultado simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	243
Tabla 147: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	244
Tabla 148: Resultado simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	244
Tabla 149: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	245
Tabla 150: Resultado simulación, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.....	245
Tabla 151: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.....	246
Tabla 152: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	246
Tabla 153: Resultado simulaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	247
Tabla 154: Resultado simulaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	247
Tabla 155: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.....	248
Tabla 156: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.....	248
Tabla 157: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.....	249

Tabla 158: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.....	249
Tabla 159: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.....	250
Tabla 160: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	250
Tabla 161: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.....	251
Tabla 162: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido. ....	251
Tabla 163: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido. ....	251
Tabla 164: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, sin variar el tonelaje de sólido.....	252
Tabla 165: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, sin variar el tonelaje de sólido.....	252
Tabla 166: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	252
Tabla 167: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.....	253
Tabla 168 : Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido. ....	253
Tabla 169: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido. ....	253
Tabla 170: Ganancia anual caso base, para todas las variaciones de leyes y flujos analizadas. .	254
Tabla 171: Ganancia anual Columna Corta, para todas las leyes y flujos analizadas.....	254
Tabla 172: Ganancia anual Celdas convencionales, para cada una de las leyes y flujos analidos. ....	255

## Índice de figuras

Figura 1: Fotografía de la adhesión de una partícula de galena a una burbuja y efecto de la carga y superficie de adhesión partícula-burbuja, modificado de Sutherland, 1955. ....	6
Figura 2: Esquema de flujos típico de flotación. ....	7
Figura 3: Circuito de flotación típico en operaciones de flotación industrial, considerando etapas de flotación Rougher, Cleaner y Scavenger. ....	10
Figura 4: Celda de flotación mecánica; (a) Celda de flotación; (b) Zona de espuma; (c) pulpa; (d) rotor impeler, modificado de Ullmans, 2005.....	11
Figura 5: Esquema columna de flotación típica, modificado de Finch y Dobby, 1990. ....	12
Figura 6: Diámetro de Sauter promedio versus velocidad de gas para tres tipos de celdas (Jan et al., 2006). ....	14
Figura 7: Diámetro promedio de burbujas y velocidad superficial de gas, para diferentes concentraciones y espumantes, estudio en columna piloto de flotación (Filippov, et al., 1998). .	15
Figura 8: Diagrama de etapas de flotación colectiva y selectiva.....	18
Figura 9: Recuperación de Molibdenita vs pH, modificado de López y Reyes, 2005. ....	18
Figura 10: Formación de monocapas de iones calcio en la superficie de las partículas de molibdenita, modificado de Raghavan y Land, 1983.....	20
Figura 11: Recuperación de las partículas de molibdenita flotadas en el tiempo (modificado de López, Reyes, 2005). ....	21
Figura 12: Diagrama 3D, mina El Teniente. ....	23
Figura 13: Ritmo de producción esperado división El Teniente. ....	25
Figura 14: Diagrama de flujos planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	26
Figura 15: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo global. ....	30
Figura 16: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo específico a las columnas de flotación. ....	31
Figura 17: Ejemplificación de análisis nodal, modificado de Imaizumi y Inoue, 1963. ....	33
Figura 18: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo de reactivos. ....	35
Figura 19: Esquema test de cinética de flotación en laboratorio. ....	37
Figura 20: Curva de recuperación y razón de enriquecimiento, con la identificación de los parámetros utilizados por el modelo Arev, modificado de Vera, 2002.....	39
Figura 21: Diagrama de flujo con las leyes de molibdeno, cobre e insoluble en cada uno de los puntos muestreados ....	42
Figura 22: Diagrama de flujo con el porcentaje de sólido en cada uno de los puntos muestreados. ....	46
Figura 23: Diagrama de flujo con el pH en cada uno de los puntos muestreado ....	48
Figura 24: Diagrama de flujo con el potencial redox en cada uno de los puntos muestreados.....	50
Figura 25: Rango de estabilidad del agua para pH 9,7 a 12, con los valores de potencial redox obtenidos de forma experimental. ....	51
Figura 26: Diagrama de flujo con la gravedad específica en cada uno de los puntos muestreados. ....	52
Figura 27: Porcentaje de Mo en las muestras de planta versus la gravedad específica.....	53
Figura 28: Diagrama de flujo con la densidad de pulpa en cada uno de los puntos muestreados. ....	54
Figura 29: Diagrama de flujo con la conductividad en cada uno de los puntos muestreados. ....	56
Figura 30: Diagrama de flujo con el porcentaje bajo tamaño en cada uno de los puntos muestreados. ....	57

Figura 31: Granulometría tomada en el muestreo general de la planta selectiva de molibdeno, incorporando el error estimado para las muestras. ....	58
Figura 32: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación Rougher. ....	59
Figura 33: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 1° Limpieza. ....	60
Figura 34: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 2° Limpieza. ....	60
Figura 35: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 3° Limpieza. ....	61
Figura 36: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 4° Limpieza. ....	62
Figura 37: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 5° Limpieza. ....	62
Figura 38: Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 89,8% (punto de recuperación actual). ....	63
Figura 39: Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 80,8%. ....	63
Figura 40; Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 98,8%. ....	63
Figura 41: Recuperación en la zona de espuma versus dilución. ....	68
Figura 42: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 3. ....	69
Figura 43: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 4. ....	69
Figura 44: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 6. ....	70
Figura 45: Espectrometría muestra individual NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	72
Figura 46: Espectrometría muestra individual Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	72
Figura 47: Espectrometría muestra individual de kerosene para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	72
Figura 48: Espectrometría muestra individual ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	72
Figura 49: Absorbancia Tiofos y Nash para una concentración de 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	77
Figura 50: Absorbancia Tiofos y ácido sulfúrico para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	77
Figura 51: Absorbancia Tiofos y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	77
Figura 52: Absorbancia NaSH y ácido sulfúrico para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	77
Figura 53: Absorbancia NaSH y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	78
Figura 54: Absorbancia ácido sulfúrico y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos. ....	78
Figura 55: Espectrometría muestra alimentación Rougher, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	78
Figura 56: Espectrometría muestra alimentación Titanic, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	78
Figura 57: Espectrometría muestra concentrado Rougher, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	78
Figura 58: Espectrometría muestra concentrado 1° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	78
Figura 59: Espectrometría muestra concentrado 2° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	79
Figura 60: Espectrometría muestra concentrado 3° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	79

Figura 61: Espectrometría muestra concentrado 4° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.....	79
Figura 62: Espectrometría muestra concentrado 5° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.....	79
Figura 63: Diagrama Eh-pH para el sistema $SO_4^{2-}/S^{2-}$ . Temperatura: 25 °C, Revenga Hernanz, 1994. ....	80
Figura 64: Tiempo máximo de flotación en la etapa Rougher, obtenido de los ensayos de cinética de flotación en laboratorio, resaltado en color rojo.....	84
Figura 65: Resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa Rougher, 1°, 2°, 5° limpieza. ....	84
Figura 66: Curva de recuperación metalúrgica y recuperación másica para la cinética de flotación Rougher. ....	85
Figura 67: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación Rougher. 1°, 2° y 5° limpieza. ....	86
Figura 68: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación Rougher.....	86
Figura 69: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 1° limpieza. ....	86
Figura 70: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 2° limpieza. ....	87
Figura 71: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 5° limpieza. ....	87
Figura 72: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación Rougher.....	87
Figura 73: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 1° limpieza. ....	87
Figura 74: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 2° limpieza. ....	88
Figura 75: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 5° limpieza. ....	88
Figura 76: Estructura cristalina de la molibdenita (modificado de Zanin, 2009).....	100
Figura 77: Variación del potencial zeta vs pH (modificado de López y Reyes, 2005).....	100
Figura 78: Rango de estabilidad del molibdeno, (Montero-Serrano et al, 2005).....	101
Figura 79: Rango de estabilidad de la molibdenita. ....	101
Figura 80: Diagrama de flujos proceso productivo planta, división El Teniente. ....	102
Figura 81: Diagrama de flujos proceso productivo fundición, división El Teniente. ....	103
Figura 82: Espectrofotómetro UV-visible.....	104
Figura 83: Esquema de configuración equipo de medición Bubble viewer. ....	106
Figura 84: pH de los puntos analizados en terreno en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	127
Figura 85: Potencial redox, tomado en terreno en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	129
Figura 86: Gravedad específica, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno...	130
Figura 87: Densidad de pulpa medido en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	131
Figura 88: Conductividad tomada en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno. ....	132
Figura 89: Granulometría tomada a la 3° y 4° limpieza, en el muestro selectivo a las columnas. ....	135
Figura 90: Distribución de leyes de Cu, Mo e insoluble en la alimentación la 3° limpieza según granulometría.....	136
Figura 91: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 3° limpieza.....	137
Figura 92: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 3° limpieza. ....	138
Figura 93: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 4° limpieza.....	139



Figura 94: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 4° limpieza. ....	140
Figura 95: Ajuste Kerosene longitud de onda 221nm. ....	151
Figura 96: Espectrometría Tiofos- NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	162
Figura 97: Espectrometría NaSH-Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	165
Figura 98: Espectrometría Tiofos- ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	168
Figura 99: Espectrometría ácido sulfúrico- Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	171
Figura 100: Espectrometría Tiofos- kerosene para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	174
Figura 101: Espectrometría kerosene- Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	177
Figura 102: Espectrometría NaSH- ácido sulfúrico. para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. .	180
Figura 103: Espectrometría muestra sulfúrico- NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	183
Figura 104: Espectrometría NaSH- kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	186
Figura 105: Espectrometría kerosene-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	189
Figura 106: Espectrometría ácido sulfúrico- kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	193
Figura 107: Espectrometría kerosene- ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml. ....	196
Figura 108: Cinética de flotación etapa Rougher, para el Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	220
Figura 109: Cinética de flotación etapa Rougher, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	221
Figura 110: Cinética de flotación etapa 1° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	221
Figura 111: Cinética de flotación etapa 1° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	221
Figura 112: Cinética de flotación etapa 2° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	222
Figura 113: Cinética de flotación etapa 2° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	222
Figura 114: Cinética de flotación etapa 5° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	222
Figura 115: Cinética de flotación etapa 5° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado. ....	223
Figura 116: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa Rougher. ....	223
Figura 117: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza. ....	223
Figura 118: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza. ....	224
Figura 119: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 3° limpieza. ....	224
Figura 120: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa Rougher, prueba 1. ....	224
Figura 121: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa Rougher, prueba 2. ....	225
Figura 122: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza, prueba 1. ....	225

Figura 123: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza, prueba 2. ....	225
Figura 124: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza, prueba 1. ....	226
Figura 125: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza, prueba 2. ....	226
Figura 126: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 5° limpieza, prueba 1. ....	226
Figura 127: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 5° limpieza, prueba 2. ....	227
Figura 128: Recuperación v/s recuperación metalúrgica etapa rougher prueba 1.....	230
Figura 129: Recuperación v/s recuperación metalúrgica etapa rougher prueba 2.....	230
Figura 130: Curva de recuperación v/s ley, cinética Rougher, prueba 1.....	231
Figura 131: Curva de recuperación v/s ley, cinética Rougher, prueba 2.....	231
Figura 132: Curva de recuperación v/s ley, cinética 1° limpieza, prueba 1. ....	231
Figura 133: Curva de recuperación v/s ley, cinética 1° limpieza, prueba 2.....	231
Figura 134: Curva de recuperación v/s ley, cinética 2° limpieza, prueba 1. ....	232
Figura 135: Curva de recuperación v/s ley, cinética 2° limpieza, prueba 2. ....	232
Figura 136: Curva de recuperación v/s ley, cinética 5° limpieza, prueba 1. ....	232
Figura 137: Curva de recuperación v/s ley, cinética 5° limpieza, prueba 2. ....	232
Figura 138: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa Rougher. ....	233
Figura 139: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 1° Limpieza. ....	233
Figura 140: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 2° Limpieza. ....	233
Figura 141: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 5° Limpieza. ....	233
Figura 142: Diagrama de flujos caso base.....	235
Figura 143: Diagrama de flujos caso columna corta. ....	242
Figura 144: Diagrama de flujos caso celdas convencionales. ....	249

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Recuperación metalúrgica y másica en función de los flujos y leyes de la alimentación y concentrado.....	7
Ecuación 2: Equivalencia entre flujos en la alimentación, concentrado y relave.....	7
Ecuación 3: Equivalencia entre flujo de material valioso en la alimentación, concentrado y relave. ....	7
Ecuación 4: Criterio de reconciliación de datos entre leyes y recuperación másica, .....	7
Ecuación 5: Recuperación metalúrgica obtenida por medio de las leyes de la alimentación, concentrado y relave.....	8
Ecuación 6: Cinética García-Zúñiga.....	8
Ecuación 7: Modelo cinético de Klimpel. ....	9
Ecuación 8: Modelo Kelsall modificado. ....	9
Ecuación 9: Diámetro de Sauter. ....	13
Ecuación 10: Obtención del diámetro promedio simple, $d_{10}$ . ....	13
Ecuación 11: Obtención del diámetro promedio de momento 2 sobre 1, $d_{21}$ . ....	13
Ecuación 12: Velocidad superficial de gas.....	13
Ecuación 13: Velocidad superficial de área de burbuja .....	14
Ecuación 14: Cálculo de la carga de burbujas.....	15
Ecuación 15: Recuperación de espuma. ....	15
Ecuación 16: Índice de selectividad. ....	33
Ecuación 17: Ley de Beer Lambert. ....	37
Ecuación 18: Modelo de recuperación Arev. ....	38
Ecuación 19: Curvatura, obtenida con la razón de enriquecimiento, para obtener el punto óptimo de la curva recuperación versus ley, según modelo Arev.....	39
Ecuación 20: Recuperación de la especie i en procesos de flotación industrial continuos utilizado por el software JKSimFloat, (Savassi,1999). ....	40
Ecuación 21: Factor k, utilizado por el software JKSimFloat (Gorein,1998). ....	40
Ecuación 22: Reaccion de oxidación de NaSH a sulfato.....	80
Ecuación 23: Ecuación de Nernst para la oxidación de NaSH a sulfato. ....	80
Ecuación 24: Obtención del porcentaje de sólidos. ....	106
Ecuación 25: Obtención de la gravedad específica. ....	107

## Introducción

Chile es históricamente uno de los países con las mayores reservas y producción mundial de molibdeno. Más allá de la reducción de precios de *commodities*, entre los cuales se encuentra este metal, el diagnóstico y la mejora continua de procesos que permitan su separación y, con esto, el aumento de la productividad de operaciones industriales son objetivos relevantes de carácter permanente. La producción de molibdeno está sujeta a la eficiencia de procesos de flotación de minerales sulfurados, habitualmente asociada a la separación de sulfuros primarios de cobre del tipo pórfidos donde el molibdeno, típicamente presente como molibdenita, se presenta como un sub-producto del metal mencionado. El proceso obedece a una operación clásica de concentración donde la roca original se reduce en tamaño para producir la liberación de especies sulfuradas de cobre y molibdeno. En una primera etapa ambas especies sulfuradas son separadas de manera conjunta (flotación colectiva) del resto de los minerales. En esta etapa se toma ventaja de la flotabilidad natural del sulfuro de molibdeno y se incorporan reactivos para exacerbar la flotabilidad de los sulfuros de cobre. Luego, en una segunda etapa, se separan ambos sulfuros vía nuevamente un proceso de flotación donde los sulfuros de molibdeno son reportados en el concentrado mientras en la cola de proceso se obtienen los sulfuros de cobre (esto es el concentrado de cobre final). Para llevar a cabo la inhibición de la flotabilidad de sulfuros de cobre, se adicionan nuevamente reactivos que intentan desactivar los reactivos utilizados en la primera etapa.

Este trabajo se centra en el caso de Codelco, división El Teniente. El concentrado de molibdeno en esta división está principalmente asociado a la presencia de molibdenita. El año 2015 la corporación produjo alrededor de 27.683 tmf; ese mismo año el aporte de la división El Teniente fue de 7.326 tmf, siendo la segunda faena con mayor aporte en la producción de dicho mineral después de la división Chuquicamata (memoria anual Codelco, 2015). La división decide implementar el año 2015 un plan de ahorro de US\$ 1.000 millones poniendo el foco en dos ejes de gestión principalmente: eficiencia y productividad, los que contemplan parámetros como insumos y tipo de cambio. Si nos basamos en el primer eje es donde se pueden buscar mejoras en los procesos actualmente implementados, para poder disminuir los costos de producción, aumentar la recuperación y las leyes finales de los concentrados, además de disminuir los insumos en términos de reactivos, energía y agua implementada, que son de vital importancia para lograr cumplir con los objetivos y generar una mayor rentabilidad no sólo para la empresa, sino también un mayor beneficio para el país.

De lo anterior nace la necesidad de realizar una evaluación de la eficiencia de la planta de flotación selectiva de molibdeno implementada en la división. La evaluación de plantas de flotación es intensiva en el uso de recurso humano pues requiere de un muestreo exhaustivo de la planta en estado estacionario. Una de las primeras referencias relacionadas con este tipo de actividades de evaluación de planta, denominada en inglés como *surveys* fue realizada por Kelsall (1961). Dicha evaluación se basa en la construcción de balances de masa a partir de los flujos máscos y porcentajes de la(s) especie(s) de interés medidos. Lo anterior es la base sobre la cual se construyen estudios teóricos como estudios prácticos. Los estudios teóricos se basan en comprender el circuito desde la modelación y la simulación. Sin embargo, dichos modelos y simulaciones tienen habitualmente datos de entrada específicos cuya medición (estudios prácticos) en terreno es imprescindible para su correcta evaluación.

De esta forma, en este trabajo se consideran ambas formas de abordar el problema. Se hace especial énfasis en lo relativo a mediciones relacionadas con la dispersión de gas así como también estudios más específicos relacionados con la carga de burbuja y la estimación de la eficiencia de la

fase espuma en celdas de flotación industrial. En particular se miden celdas definidas como críticas dentro del circuito de flotación.

Una vez realizadas las mediciones, es posible evaluar modelos de forma más precisa y realizar predicciones (al menos en tendencia) frente a cambios operacionales. Este trabajo comprende también este tipo de estudios. Adicionalmente, se realizan estudios de balance de masa de reactivos, área poco explorada a escala industrial es también desarrollada en este trabajo sin la necesidad de aplicar el procedimiento de Duke (1947) implementada en múltiples plantas concentradoras en el mundo por investigadores de la Universidad de McGill en Canadá.

Realizando todo lo anterior se espera no sólo definir oportunidades de mejora en la planta selectiva de molibdeno en la división El Teniente de Codelco sino también sugerir estrategias que permitan lograr dichas mejoras.

# Objetivos

## Objetivo general

Evaluación conceptual y de campo de la eficiencia de la planta de flotación selectiva de molibdeno de Codelco División El Teniente.

## Objetivos específicos

- Análisis operacional del proceso de flotación selectiva de molibdeno: balance de masa general de la planta y de sus etapas.
- Identificar parámetros sub-estándar en la operación de flotación.
- Evaluar en terreno parámetros específicos de las columnas de flotación, tales como la distribución de tamaños y carga de burbujas en columnas de flotación.
- Estudiar los reactivos en las columnas de flotación utilizando la espectrofotometría UV-Visible.
- Estudio de la variación de la recuperación global mediante el análisis nodal del circuito de flotación.
- Modelar y simular las etapas de 3° y 4° limpieza de la planta de flotación.
  - Caso base, con las condiciones actuales de la planta.
  - Reemplazo de columnas por celdas convencionales.
  - Columna Corta e incorporación de una columna extra en la 4° limpieza.
- Evaluación económica de las alternativas simuladas.

## **Hipótesis**

El balance de masa de un circuito de flotación acoplado con la caracterización de celdas permite identificar oportunidades de mejora en la eficiencia local y global del proceso. El balance de masa es una fotografía de cómo el circuito está funcionando en un momento dado por lo que sólo provee del resultado de eficiencia consecuencia de múltiples síntomas los cuales pueden ser capturados, al menos parcialmente por la caracterización de celdas. Esta última, entonces, provee de información de la dinámica detrás de la fotografía instantánea del muestreo del circuito.

## **Alcances**

Los estudios realizados de caracterización de dispersión de gas, distribución de diámetro de burbuja, estudios de balance de reactivos y simulación de las etapas, se basan en las columnas de flotación y no en las etapas de primera, segunda y quinta limpieza, debido a los resultados entregados en el análisis preliminar y al interés de Codelco, división El Teniente. En relación al análisis de simulación y considerando los objetivos de la compañía es que no se incluye la compra de nuevos equipos, por lo que un análisis incluyendo este tipo de modificación no es de interés. Por otra parte, los costos asociados a modificaciones y mantenimientos de las celdas, quedan fuera del cálculo de los beneficios asociados a las modificaciones sugeridas.

Se debe considerar que dada la falta de información con respecto a los flujos de agua que ingresan a cada una de las celdas, los análisis que lo involucran no se consideran. Por otra parte, las pruebas de cinética de flotación a las etapas operadas por columnas quedan fuera del análisis, porque no existen los procedimientos necesarios para poder entregar resultados que sean comparables con los de planta.

## Estructura de memoria

Inicialmente se presenta la Sección “Análisis crítico de la literatura”, donde se realiza una revisión bibliográfica a los principios de flotación y los antecedentes de la faena minera y la planta de procesamiento mineral, donde se realiza el presente trabajo.

Luego se describe la metodología experimental en la Sección “Protocolos experimentales”, donde se muestran los procedimientos utilizados tanto en el laboratorio, como en la planta de flotación (muestreos a las celdas) que debieron ser llevados a cabo para obtener la información requerida para los posteriores análisis y como estos últimos se realizaron.

Posteriormente se presentan y analizan los resultados experimentales obtenidos en la Sección “Resultados y Discusiones”, según lo estipulado en los siguientes párrafos:

En la primera parte se presenta la evaluación a la planta, donde se realiza la caracterización del mineral recuperado de cada una de las etapas de la planta de flotación, con lo que se logra realizar el balance de masas global, para determinar cuáles de ellas presentan baja recuperación.

En la segunda parte se considera el análisis teórico de la recuperación global mediante el *software Matlab*, para obtener aquellas etapas que son las que tienen mayor influencia en el aumento de la recuperación global del proceso de flotación.

En la tercera parte se muestran los resultados de la caracterización de las columnas de flotación presentes en el circuito de limpieza, donde se estudia la dispersión de gas y la carga de burbuja. Se muestra también el estudio exploratorio a los reactivos de flotación utilizados en la planta (NaSH, Tiofos, ácido sulfúrico y kerosene), para determinar si estos interactúan entre ellos y si están o no presentes en las etapas de flotación.

La cuarta parte corresponde a los experimentos de cinética de flotación a escala de laboratorio, donde se evalúan las etapas *Rougher*, 1°, 2° y 5° limpieza, con el fin de determinar la o las componentes de flotabilidad, el tiempo máximo de flotación rougher, la recuperación metalúrgica y másica, y las curvas de recuperación versus ley.

La última parte corresponde a la simulación a la 3° y 4° limpieza, mediante el *software JKSimfloat*. Para obtener los parámetros utilizados como *input*, se utiliza la información de las secciones anteriores y los datos históricos de la planta. Se realiza además un análisis de sensibilidad para variaciones en la ley y el tonelaje de alimentación a las celdas columnares, considerando dos casos hipotéticos: el uso de columnas cortas con la incorporación de una celda extra en la 4° limpieza y el uso de celdas convencionales.



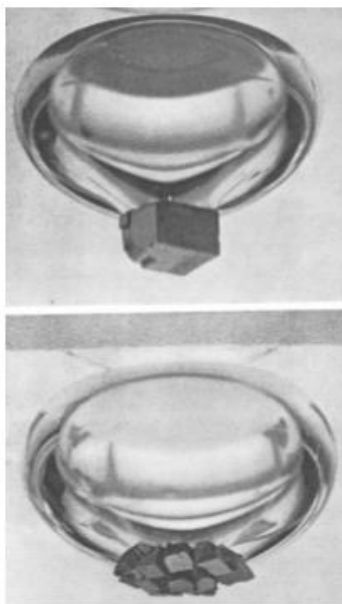
# Análisis crítico de la literatura

## Antecedentes de Flotación

### 1.1 Principios de flotación de minerales

El proceso de flotación es uno de los métodos de separación más utilizados en la concentración de minerales. Esta toma ventaja de las diferencias de las propiedades superficiales o interfaciales existentes entre los minerales presentes (Wills y Napier-Munn, 2006). Dicha separación es el resultado del funcionamiento e interacción de sub-procesos físico-químicos que ocurren en las interfaces sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas derivados del contacto entre las fases: sólida (mineral), líquido (medio acuoso) y gas (aire u otro introducido en forma de burbujas). El método depende de la probabilidad de formación y estabilidad de agregados partícula-burbuja en una fase compuesta por el líquido y el sólido denominada fase pulpa, lo cual está determinado por la hidrofobicidad, liberación de las especies minerales, entre otras variables asociadas a la superficie de las partículas. Los agregados partícula-burbuja, de menor densidad global con respecto a la fase pulpa, son transportados verticalmente hacia arriba hasta llegar a la superficie de la fase mencionada donde son recolectadas y, luego, recuperadas como concentrado separando las partículas de forma irreversible de aquellas que no fueron adheridas a la fase gas, las cuales permanecerán en la fase pulpa y serán reportadas en la cola o relave (Ullmanns, 2005).

Un aspecto relevante detrás de este proceso es que el transporte y estabilidad de los agregados partícula-burbuja dependerán también de la fluidodinámica local y global del sistema, así como de la carga de burbuja (cantidad de material particulado que es transportado por las burbujas) tal como se aprecia en la Figura 1.



**Figura 1: Fotografía de la adhesión de una partícula de galena a una burbuja y efecto de la carga y superficie de adhesión partícula-burbuja, modificado de Sutherland, 1955.**

### 1.1.1 Aspectos termodinámicos de flotación de minerales: balance de masa

En lo práctico, para evaluar un proceso de flotación por concentración (Figura 2), se utilizan dos parámetros principales, los cuales corresponden a la “Recuperación” y la “Ley” cuyas definiciones son las siguientes:

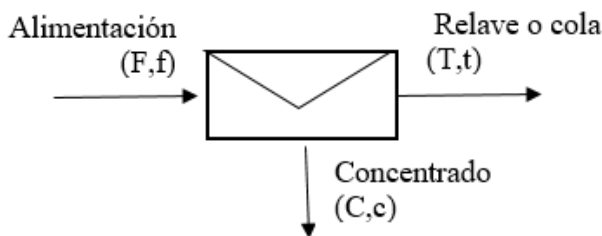
- La “Recuperación” de un cierto componente valioso (Cu, Mo, etc.) en un proceso de concentración, se refiere al porcentaje del contenido de una especie en particular que es recuperado en dicho proceso (o etapa) en cuestión.

$$R = \frac{cC}{fF} = \vartheta * R_m$$

**Ecuación 1: Recuperación metalúrgica y másica en función de los flujos y leyes de la alimentación y concentrado.**

donde R corresponde a la recuperación metalúrgica, mientras que  $R_m$  representa la recuperación másica,  $\vartheta$  corresponde a la razón de enriquecimiento. La ley del mineral valioso en el concentrado se expresa por letra c, mientras que el flujo másico de sólido en esta misma etapa es expresado por la letra C. Ley del mineral valioso en la alimentación es expresada por f y F es el flujo másico de sólido en la alimentación (Figura 2).

- La “Ley” o porcentaje de una especie en un mineral se refiere al porcentaje en peso de la especie referido al total de la muestra.



**Figura 2: Esquema de flujos típico de flotación.**

Los balances de masa globales y por especie para una etapa de separación se pueden escribir como sigue:

$$F = C + T$$

**Ecuación 2: Equivalencia entre flujos en la alimentación, concentrado y relave.**

$$fF = cC + tT$$

**Ecuación 3: Equivalencia entre flujo de material valioso en la alimentación, concentrado y relave.**

Asumiendo que la Ecuación 2 y la Ecuación 3 son satisfechas, se establece el criterio de reconciliación de datos entre las leyes y la recuperación másica (Morrison, 2008).

$$\frac{C}{F} = \frac{f - t}{c - t}$$

**Ecuación 4: Criterio de reconciliación de datos entre leyes y recuperación másica,**

Si la Ecuación 4 no se cumple, no se puede obtener la recuperación a partir de las leyes según la Ecuación 5.

$$R = \frac{c * (f - t)}{f * (c - t)}$$

**Ecuación 5: Recuperación metalúrgica obtenida por medio de las leyes de la alimentación, concentrado y relave.**

Es importante mencionar que dicha recuperación se obtiene no sólo vía el mecanismo de formación de agregados partícula-burbuja. También, debido a fuerzas mecánicas ejercidas por el movimiento ascendente de las burbujas en la pulpa, las partículas pueden ser arrastradas y transferidas a la fase espuma mineralizada y luego reportadas en el concentrado. Esta vía de recuperación es conocida como no-selectiva y es especialmente observada para partículas finas bajo 50  $\mu\text{m}$  de diámetro (Bisshop, 1974). Las partículas de mayor tamaño, no hidrofobizadas, que son igualmente reportadas en el concentrado se explican por mecanismos de atrapamiento (Savassi, 1998).

### 1.1.2 Aspectos cinéticos de flotación de minerales

La cinética de flotación es estudiada principalmente para evaluar el desempeño de operación en función del tiempo. Existen varios modelos matemáticos que se han desarrollado para el caso *batch*. Dichos modelos entregan una curva desde donde es posible obtener la recuperación, y la constante específica de velocidad de flotación del mineral. En lo siguiente se revisan brevemente algunos de estos modelos. Los modelos *batch* que se presentan se deben utilizar sólo con datos relacionados con flotación verdadera (formación de agregados partícula-burbuja). La flotación por arrastre para estudios de laboratorio se estima en este trabajo utilizando el protocolo desarrollado como Smith y Warren (1989).

#### a. Modelo de García-Zúñiga (1935)

La ecuación cinética de flotación *batch* fue desarrollada originalmente por García – Zúñiga en 1935, la cual se presenta en la Ecuación 6.

$$R = R_{\infty}(1 - e^{-k\tau})$$

**Ecuación 6: Cinética García-Zúñiga**

donde,

R: Recuperación acumulada para el tiempo t de flotación (%).

k: Constante cinética (1/min).

$R_{\infty}$ : Recuperación a tiempo infinito (%). Corresponde a la máxima recuperación obtenible de la especie o elemento de interés, para las condiciones dadas.

$\tau$ : Tiempo de flotación (min).

Los parámetros R y k son característicos de cada componente flotable (por ejemplo, Cu, Mo, Fe), dependiendo también de cada etapa de flotación (*Rougher*, *Cleaner*, *re-cleaner*, *Scavenger*, etc.) y de las características propias del mineral (granulometría, grado de liberación, etc.), condiciones de operación (pH, tipo y dosis de reactivos de flotación, velocidad de agitación, flujo de aire, diseño de la celda, etc.) por lo tanto se determinan para cada situación en particular, y para cada componente de la mena. Específicamente, el modelo de García y Zúñiga (1935) corresponde a una expresión de velocidad de flotación mono-componente. Esto es, un componente con un solo valor de k.

## b. Modelo de Klimpel (1980)

Otra fórmula utilizada para determinar la recuperación a tiempo infinito y la constante específica de cinética de flotación, es la propuesta por Klimpel (1980), la cual se presenta en la Ecuación 7. Destacando en este caso que, dicha constante plantea una distribución uniforme de constantes cinéticas (Gupta y Yun, 2006).

$$R = R_{\infty} \left[ 1 - \left( \frac{1}{kt} \right) (1 - e^{-k\tau}) \right]$$

**Ecuación 7: Modelo cinético de Klimpel.**

donde,

R: Recuperación acumulada para el tiempo t de flotación (%).

k: Constante cinética (1/min).

$R_{\infty}$ : Recuperación a tiempo infinito (%). Corresponde a la máxima recuperación obtenible de la especie o elemento de interés, para las condiciones dadas.

$\tau$  : Tiempo de flotación (min).

## c. Modelo Kelsall Modificado (Jowett, 1974)

Si bien existen numerosos métodos para poder describir la cinética de flotación de las partículas, otro modelo que también suele ser utilizados es el de Kelsall modificado, el cual se describe en la Ecuación 8, (Rodoljub et al., 2014).

$$R = R_{\infty} [(1 - \varphi)(1 - e^{-k_f t}) + \varphi(1 - e^{-k_s \tau})]$$

**Ecuación 8: Modelo Kelsall modificado.**

donde,

$k_f$ : Constante de flotación de partículas rápidas ( $\text{min}^{-1}$ ).

$k_s$ : Constante de flotación de partículas lentas.

$\varphi$  : Fracción del mineral con una tasa de flotación lenta.

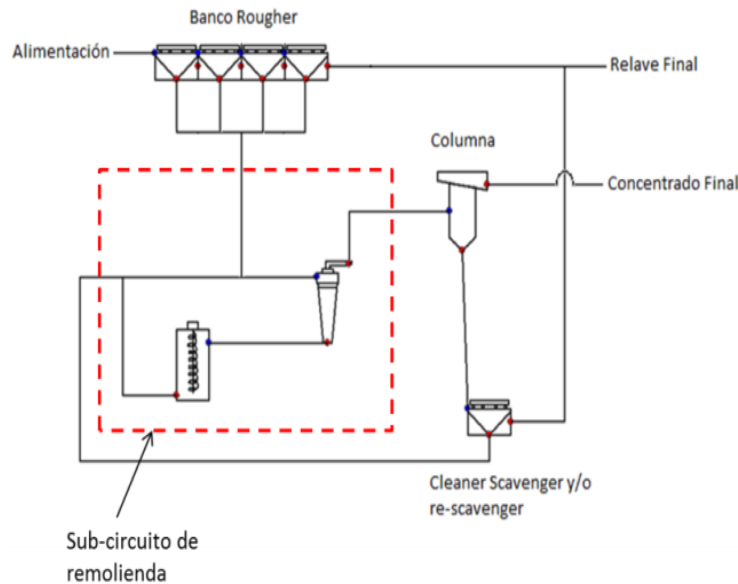
$\tau$ : Tiempo de flotación.

## 1.2 Celdas y circuitos industriales de flotación de minerales

A nivel industrial uno de los primeros circuitos de flotación en continuo a nivel mundial fue implementado por la empresa BHP en 1902 (Lynch et al., 2010).

En los circuitos de flotación es habitual incorporar etapas de remolienda de mineral y clasificación que tienen como objetivo aumentar la liberación del (de los) mineral(es) de interés reduciendo el porcentaje de partículas mixtas. Adicionalmente, estos circuitos cuentan con un número importante de equipos auxiliares tales como bombas para transporte de pulpa y tuberías, cajones de mezcla, hidrociclones, acondicionadores, etc; cuyo objetivo es apoyar los procesos de separación para obtener productos finales de calidad comercial.

Sin pérdida de generalidad, un circuito de procesamiento clásico es como el que se muestra en la Figura 3.



**Figura 3: Circuito de flotación típico en operaciones de flotación industrial, considerando etapas de flotación *Rougher*, *Cleaner* y *Scavenger*.**

- Flotación primaria o *Rougher*: la cual tiene por objetivo principal aumentar la recuperación, o, en otros términos, producir un relave con una baja concentración de especies de interés.
- Flotación de limpieza o *Cleaner*: destinada principalmente a aumentar la ley de concentrado con la finalidad de obtener un producto con la pureza requerida. En ocasiones existe más de una etapa de limpieza en un mismo circuito para alcanzar la ley deseada.
- Flotación de barrido o de agotamiento o de repaso o *Scavenger*: el objetivo de esta etapa es, al igual que la flotación *Rougher*, aumentar la recuperación. También puede ser asociada a etapas de limpieza y, en este caso, las celdas se denominan *Cleaner-Scavenger*.

Es importante además considerar que el mineral se compone de una fracción de rápida flotabilidad y otra lenta, es por esto que, en la realización del circuito de flotación, el material fácilmente flotable será recuperado en los circuitos *Rougher* o *Cleaner*, mientras que aquellas más lentas, en los procesos *Scavenger* de dichas etapas. Como cualquier proceso de separación, su eficiencia no es equivalente a 100% y en consecuencia, siempre existirá una ley o porcentaje de la(s) especie(s) de interés en la cola de proceso. En términos generales, la recuperación metalúrgica será muy sensible a dicha ley.

Dependiendo de las especies minerales que se traten y de los equipos utilizados, se pueden implementar diferentes configuraciones de las etapas de flotación, involucrando bancos con celdas dispuestas en serie o paralelo. Los bancos en serie tienen, entre otros objetivos, aumentar la recuperación mientras, los bancos en paralelo permiten aumentar la capacidad de tratamiento (Lauder, 1988). Adicionalmente, es reconocido que diferentes diseños de celdas de flotación permiten aumentar de manera preferencial ya sea la recuperación o la ley de una o más especies minerales (King, 2001). Por ejemplo, celdas mecánicas son ampliamente utilizadas para mejorar la

recuperación mientras celdas columnares se utilizan para aumentar la ley de la especie a concentrar (Finch y Dobby, 1990).

Celdas de flotación con incluso un mismo objetivo pueden tener diferencias tales como la geometría del equipo, la forma y diseño mecánico del impeler, la forma de los dispersores para dispersar el aire en burbujas, rangos de variación de la velocidad de agitación y flujo de aire, entre otras. Un cambio en alguno de estos factores provoca diferencias en las condiciones hidrodinámicas al interior de ellas afectando, en principio, la eficiencia del proceso de separación. En lo siguiente se describen brevemente las principales características de celdas mecánicas y columnares.

### a. Celdas mecánicas

Se caracterizan por que el movimiento del impeler es de forma mecánica, el cual tiene por finalidad agitar la pulpa dispersando y distribuyendo el gas al interior de la celda. Se utilizan principalmente en las etapas *Rougher* y *Rougher-Scavenger* debido a que aumentan la recuperación de los concentrados obtenidos. El gas que ingresa a la celda, si es aire, puede ser de forma autoaerada, es decir, el aire es inducido por medio de la depresión que genera el impeler o también puede ser incorporado a presión por medio de sopladores externos (Figura 4).

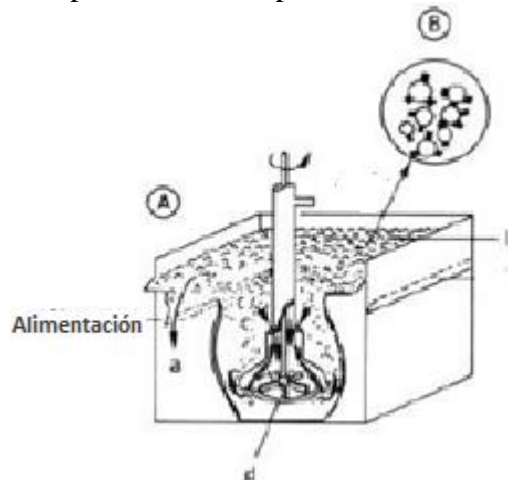


Figura 4: Celda de flotación mecánica; (a) Celda de flotación; (b) Zona de espuma; (c) pulpa; (d) rotor impeler, modificado de Ullmans, 2005.

### b. Columnas

La flotación en columnas a diferencia de la flotación con celdas mecánicas opera con un sistema en contracorriente de burbujas, las cuales suben a través de un flujo descendente de pulpa y de agua de lavado. En términos generales un diseño industrial típico posee una altura que varía entre 9 y 15 m. y un diámetro que oscila entre 0,5 y 3,0 m. Estas pueden tener una base de forma circular o cuadrada (Finch y Dobby, 1990).

Una de las diferencias más importantes que poseen las columnas en comparación con otras celdas, es el sistema de generación de burbujas y el uso de agua de lavado. Las burbujas son generadas directamente en aspersores o impulsores externos, y no existe agitación mecánica, lo que permite que los sólidos fluyan uniformemente y el contacto entre sólido-gas se realice en contracorriente a través de la celda. El agua de lavado es incorporada sobre la zona de espuma

mediante tuberías perforadas en forma de goteo (Finch y Dobby, 1990). La Figura 5 muestra un diagrama típico de una columna de flotación.

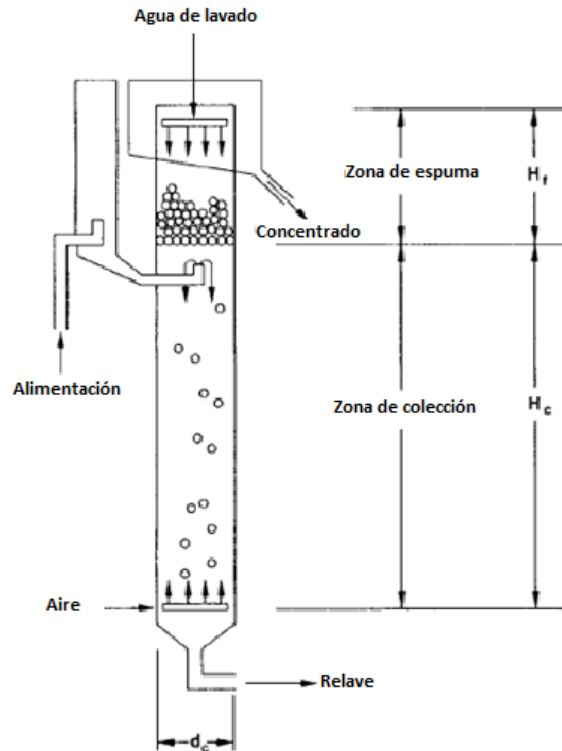


Figura 5: Esquema columna de flotación típica, modificado de Finch y Dobby, 1990.

En una operación típica, el flujo de pulpa es incorporado a un tercio del borde superior. De esta forma, se define la denominada “zona de colección” limitada por el punto donde se introduce la alimentación y la parte inferior por donde se descarga la cola o relave. Es en esta zona donde se produce el contacto en contracorriente entre la pulpa alimentada que desciende y las burbujas de gas que ascienden a través de la pulpa.

La zona de espuma formada por la espuma mineralizada es desde donde se obtiene el concentrado. El agua de lavado que es incorporada en forma de jets de líquido de baja presión tiene por función limpiar la espuma de partículas no valiosas aumentando la ley de concentrado.

El flujo de agua que pasa desde la zona de espuma a la zona de colección es denominado *bias* y arrastra a las partículas de baja ley o de ganga de vuelta a la pulpa. Como la velocidad de descenso del agua es mayor que la de ascenso de las burbujas, las partículas de ganga bajan debido al flujo de agua incorporado. El agua de lavado permite también el balance hídrico dentro de la celda, compensando el agua que es eliminada por rebose de la espuma (Finch y Dobby, 1990).

### 1.3 Caracterización de la dispersión del gas en celdas de flotación

Es ampliamente reconocido que la dispersión de gas en celdas de flotación puede afectar la eficiencia del proceso de flotación (Kelly y Spottiswood, 1982). En las celdas de flotación la dispersión del gas puede ser diagnosticada utilizando diversos indicadores: distribución de tamaño

de burbuja, fracción de volumen retenido de gas o *hold-up* de gas ( $\epsilon_g$ ), velocidad superficial de gas ( $J_g$ ), la velocidad superficial de área de burbuja ( $S_b$ ), entre otras. En lo que sigue se revisa cada uno de los indicadores en su definición, así como su análisis.

### Diámetro promedio de Sauter

El diámetro de Sauter ( $d_{32}$ ) se define según la Ecuación 9, donde  $x_i$  es el diámetro equivalente esférico de burbuja y  $n$  es el tamaño de la muestra (número de burbujas).

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i^3}{\sum_{i=1}^{i=n} x_i^2}$$

**Ecuación 9: Diámetro de Sauter.**

El diámetro fue diseñado por Sauter para identificar tamaños de gota de un combustible fuera de la media y en tamaños mayores dentro de un proceso de combustión (Sauter, 1932). Esto es, se trata de un valor sesgado hacia tamaños mayores de gota, o en el caso de flotación de minerales, hacia tamaños mayores de burbujas. Naturalmente, dicha información tiene valor; sin embargo, no permite definir el efecto neto de una distribución de tamaños de burbuja definido sobre la eficiencia del proceso. Es más bien un índice que indica cuan mal el proceso está funcionando (Heiskanen, 2000). En su contribución científica, Sauter también definió el diámetro promedio simple  $d_{10}$  y el diámetro de momento  $d_{21}$ , definidos según la Ecuación 10 y la Ecuación 11.

$$d_{10} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n}$$

**Ecuación 10: Obtención del diámetro promedio simple,  $d_{10}$ .**

$$d_{21} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i^3}{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}$$

**Ecuación 11: Obtención del diámetro promedio de momento 2 sobre 1,  $d_{21}$ .**

Los valores de diámetro de Sauter para columnas de flotación oscilan entre 1,5 y 2 mm (Power et al., 2000).

### Velocidad superficial de gas

La velocidad superficial del gas ( $J_g$ ) se determina estimando el flujo de gas ( $Q$ ) en unidades de ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ) que pasa por una sección transversal ( $A$ ) en unidades de ( $\text{cm}^2$ ) (Ecuación 12). En la práctica es reconocido que esta medición tiene un carácter local importante (Finch y Dobby, 1990). Diferentes puntos ubicados en el área transversal de la celda presentan diferentes valores de velocidad superficial generando un perfil de la variable.

$$J_g = \frac{Q}{A}$$

**Ecuación 12: Velocidad superficial de gas.**



La medición se realiza con diferentes dispositivos (Gorain et al., 1996; Gómez y Finch, 2002) y justo bajo la interface espuma-pulpa tratando de evitar movimiento de burbuja diferente del vertical. Lo anterior es particularmente cierto en celda agitadas.

Los valores reportados en la literatura para la velocidad superficial de gas en columnas de flotación oscilan entre 0,5 y 2,5 cm/s (Power et al., 2000).

### Velocidad superficial de área de burbuja

La velocidad superficial de área de burbuja ( $S_b$ ), corresponde a la superficie total de burbujas que atraviesan la sección transversal de la celda en un instante de tiempo, se define según la Ecuación 13 donde el  $J_g$  es la velocidad superficial de gas ya descrito anteriormente y el  $d_{32}$  es el diámetro de *Sauter* de burbujas (Acuña y Finch, 2010).

$$S_b = \frac{6J_g}{d_{32}}$$

Ecuación 13: Velocidad superficial de área de burbuja

La Figura 6 muestra un perfil de velocidades típico para diferentes valores de  $d_{32}$  para el caso de celdas convencionales (Jan, et al., 2006), La Figura 7 en cambio muestra los diferentes valores de  $J_g$  para columnas de flotación (Filippov, et al., 1998). Se observa que para ambos tipos de celdas los valores más altos para  $J_g$  se presentan cuando el diámetro de *Sauter* supera los 2 mm para el caso de celdas convencionales y es cercano a 1 mm para las columnas.

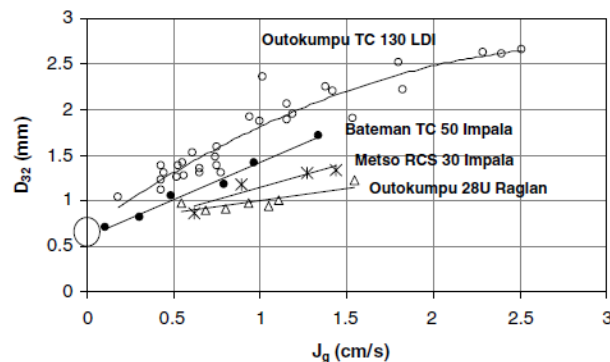


Figura 6: Diámetro de *Sauter* promedio versus velocidad de gas para tres tipos de celdas (Jan et al., 2006).

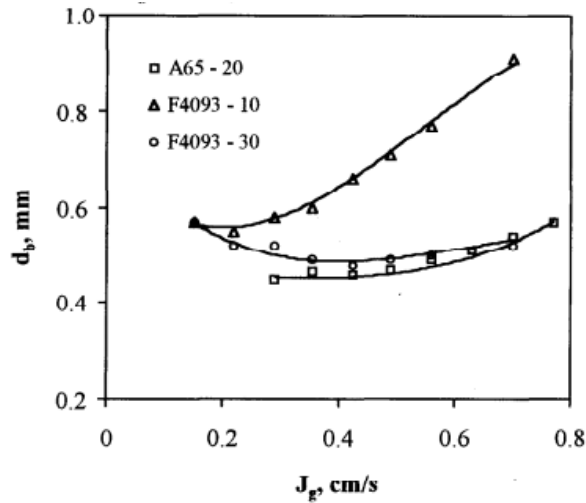


Figura 7: Diámetro promedio de burbujas y velocidad superficial de gas, para diferentes concentraciones y espumantes, estudio en columna piloto de flotación (Filippov, et al., 1998).

### Carga de burbujas

En la flotación de minerales las partículas pueden abandonar la zona de colección para pasar a la fase de espuma de dos formas diferentes: por flotación verdadera (colisión y adhesión de partículas a burbujas de gas) o por flotación por arrastre. La carga de burbuja está definida como la cantidad de material que es transportado por burbujas por flotación verdadera (Bhondayi, 2010). Experimentos realizados a burbujas individuales muestran como la carga de burbuja va aumentando a medida que la burbuja asciende a través de la fase pulpa (King et al., 1974).

Existen diversos métodos para medir la carga de burbuja, donde los equipos de medición desarrollados hasta ahora son relativamente simples (Bhondayi, 2010). Algunos de los métodos fueron desarrollados por Bradshaw y O'Connor (1996), Falutsu y Dobby (1992), Seaman (2006), Dyer (1995), entre otros. En este trabajo se utilizó el analizador de burbujas McGill el que se describe en la sección de anexos del presente informe.

La carga de burbuja ( $\theta_v$ ) puede ser obtenida mediante la Ecuación 14, donde  $V_\theta$  representa el volumen de burbujas de gas atrapado en la cámara de visualización, corregido por la presión atmosférica y  $m_\theta$  es la masa de mineral recuperado en dicha cámara (Seaman, 2006).

$$\theta_v = \frac{m_\theta}{V_\theta}$$

Ecuación 14: Cálculo de la carga de burbujas.

Esta medición es crítica para desacoplar el rol de la fase espuma mineralizada en la recuperación global. Seaman (2006) presenta una ecuación simple para obtener la recuperación de espuma a partir de la carga de burbujas y otras variables Ecuación 15.

$$R_f = \frac{\dot{m}_c}{J_g * BL * A} * 10^5$$

Ecuación 15: Recuperación de espuma.

donde,

$R_f$  : Recuperación de espuma (%).

$\dot{m}_c$ : Flujo másico de la especie de interés reportado en el concentrado por flotación verdadera (Kg/s).

$J_g$  : Velocidad superficial de gas (cm/s).

BL: Carga de burbujas (Kg/L).

A: Área transversal de la celda (cm<sup>2</sup>).

Es importante indicar que la medición de carga de burbuja y recuperación de espuma es una temática que actualmente se está desarrollando en el estado del arte (Bhondayi y Moys, 2014) por lo que los resultados obtenidos en este trabajo deben ser analizados sólo como una referencia. Particularmente debido a que no se han obtenido resultados consistentes en etapas de *Scavenger* y *Cleaner* (Montes-Atenas y Bradshaw, 2010).

#### **1.4 Reactivos de flotación y la determinación de su concentración a escala industrial**

En el proceso de separación de minerales, se utiliza una gran variedad de reactivos químicos y/o modificadores con el fin de aumentar la eficiencia del proceso. Estos modificadores permiten a grandes rasgos, exacerbar las características hidrofóbicas o hidrofílicas de minerales específicos, estabilizar las burbujas formadas, reducir la viscosidad de pulpa, etc (Napier-Munn y Wills, 2006). En muchos casos, se tratan de reactivos químicamente activos a nivel superficial por lo que su dosificación es baja (Ullmanns, 2005). En lo siguiente se revisan brevemente los reactivos más comunes y su función principal en el proceso.

##### **a. Colectores**

Los colectores son reactivos químicos que promueven la hidrofobicidad de un mineral (repelencia al agua). Estos se adhieren principalmente por mecanismos de adsorción a la fase mineral. Los colectores se pueden clasificar en dos grandes grupos: (i) apolares y (ii) polares o ionizados. Los reactivos apolares son aquellos que no poseen grupos polares y son fuertemente hidrófobos, por lo que son utilizados en general en la flotación de minerales con características pronunciadas de hidrofobicidad, como carbón, grafito, azufre y molibdenita (Napier-Munn y Wills, 2006). Por otra parte, los colectores polares se dividen a su vez en dos grupos, los aniónicos y catiónicos, ambos están compuestos de dos partes, una polar y otra no polar. Esta última se orienta hacia la pulpa y genera la condición de hidrofobicidad. La parte polar en cambio es aquella que tiene afinidad con el mineral que se quiere hidrofobizar. En la división se utiliza Tiofos, el cual es una solución de sulfhidrato de sodio y NaSH como depresante de cobre, este último al disociarse forma el ion sulfhidrato ( $HS^-$ ), produciendo la desorción del colector y la reducción del dixantógeno u otro disulfuro inorgánico sobre los minerales de calcopirita, calcosina, pirita y otros sulfuros. Estos efectos se traducen en una eventual destrucción del recubrimiento del colector y en consecuencia, pérdida de la flotabilidad de estos. El Kerosene en cambio es utilizado como colector de Mo (Lobos, 2015).

Cuando el uso del colector no es suficiente para asegurar la flotabilidad de una especie mineral, se puede modificar la superficie de éste típicamente vía el uso de sales solubles que se adsorben preferencialmente sobre él y en este caso se habla de activadores. Por el contrario, cuando se requiere inhibir la flotabilidad de un mineral, como es el caso de la flotabilidad de cobre en la flotación selectiva de molibdeno, se adicionan especies que desactivan reactivos presentes en la superficie de sulfuros de cobre. En este último caso, se habla de depresantes. En el caso de la

flotación selectiva de molibdeno, para desactivar la flotabilidad de sulfuros de cobre se utilizan reactivos de la familia de tiofosfato inorgánico o Tiofos. Otros de los depresores comúnmente utilizados corresponden al bisulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ), sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4$ ), entre otros. (Gupta, 2000).

### **b. Espumantes**

Se utilizan para estabilizar la interface gas-líquido en la espuma (fase espuma mineralizada) de forma de producir burbujas de tamaños acorde con la operación. Esto es, sólo a modo de referencia, no muy grandes pues su deformación reduce la capacidad de carga (diámetros  $< 2\text{-}4$  mm) y no muy finas pues las fuerzas de empuje disminuyen notablemente afectando negativamente la recuperación de pulpa (diámetros  $> 0,5$  mm), y como consecuencia, la recuperación global. Se trata de moléculas heteropolares donde la parte polar tiene afinidad por el agua mientras aquella no polar es afín con el gas. En la práctica, la bondad de reactivos del tipo espumante se puede diagnosticar vía varios tipos de mediciones de espumabilidad tales como altura máxima de espuma, tiempo de colapso, recuperación de agua, entre otros (Dong et al., 2010). De esta forma se ha logrado establecer, por ejemplo, que el espumante metil-isobutil-carbinol (MIBC) es un espumante débil frente a la familia de reactivos del tipo glicol (Gupta, 2000).

### **c. Reguladores o modificadores de pH**

Estos reactivos se utilizan para controlar la alcalinidad o acidez de la pulpa, contrarrestando así los efectos de la interacción entre los limos o arcillas, coloides y otras sales solubles con la solución acuosa presente en pulpas minerales. Los agentes alcalinos más usados son la cal viva ( $\text{CaO}$ ) o cal apagada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), la soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), la soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ) mientras el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) son muy usados como agentes acidificantes. La cal es fuertemente usada para minerales sulfurados, sobre todo para el caso de cobre y zinc, debido a que tiende a deprimir sulfuros tales como la galena, el oro libre, pirita entre otros (Hu, et al., 2009). Para acidificar la pulpa mineral, el agente más utilizado es el ácido sulfúrico debido a su rápido efecto en modificar el pH de la pulpa (Fee y Klimpel, 1986). Estos reactivos, a diferencia de los colectores y espumantes se adicionan en mayor cantidad pues deben afectar el seno de la solución acuosa de la cual se compone la pulpa del ingreso al proceso de flotación minerales. Las reacciones que tienen estos agentes corresponden a reacciones de ionización simples por lo que estas son omitidas en este trabajo (Bulatovic, 2007). En la planta de flotación selectiva de molibdeno de la división El Teniente se utiliza ácido sulfúrico para modificar el pH de la pulpa, donde se quisiera que este fuese lo más bajo posible, sin embargo, una adición de ácido sulfúrico elevada, promueve la formación de ácido sulfhídrico, el que no permite realizar las operaciones cotidianas al personal de la planta.

## **1.5 Flotación selectiva de molibdenita**

Generalmente la flotación selectiva de molibdenita esta previamente acompañada por una etapa de flotación primaria o colectiva, la cual recibe el mineral proveniente de la etapa de molienda, como se ejemplifica en la Figura 8 . En este caso el mineral es fino donde alrededor de un 50-70% está bajo #200 para liberar las especies minerales de cobre. En la flotación colectiva se utilizan xantatos alcalinos y espumantes como el MIBC. Luego, el concentrado obtenido contiene entre un 8-20% de Cu y un 0,1-0,5% de Mo. Donde, alrededor de un 48% de Mo es perdido en la flotación colectiva ya que el circuito está diseñado para obtener la máxima recuperación de cobre.

El concentrado de la flotación colectiva generalmente es acumulado en estanques acondicionadores para poder eliminar y/o desactivar los reactivos incorporados previamente y

posteriormente pre-tratar la pulpa para recuperar el molibdeno, en cuyo caso se agregan depresantes de cobre, donde los más comunes son los sulfuros de sodio o hidrosulfuros y cianuros, colectores con base de aceite y espumantes del tipo alcohol. Este concentrado ya acondicionado pasa a la flotación selectiva, donde la molibdenita será flotada y la cola será el concentrado de cobre (Gupta, 2000).

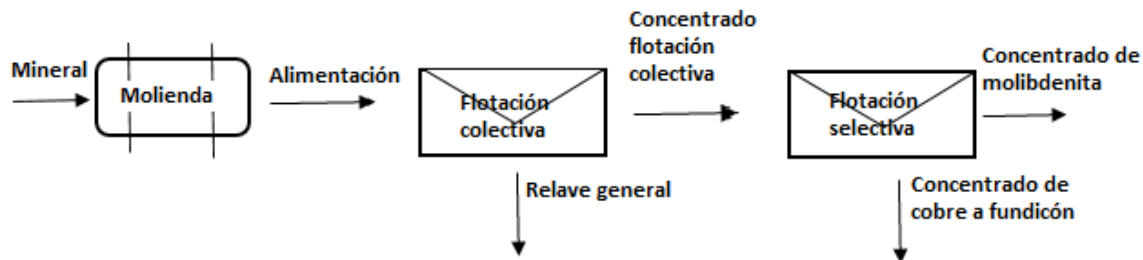


Figura 8: Diagrama de etapas de flotación colectiva y selectiva.

Dentro de los factores que afectan la recuperación de molibdeno se pueden considerar el pH, el porcentaje de sólidos en la alimentación, la granulometría o tamaño de partícula, la presencia de iones calcio/silicio, entre otros; que en lo siguiente se revisan. Mientras que las características y propiedades de la molibdenita se presentan en la sección A de anexos del presente informe.

### a. Efecto del pH

La recuperación de molibdenita varía al modificar el pH de la pulpa. Los datos obtenidos en la Figura 9 provienen de resultados a escala de laboratorio, donde se utilizaron cristales naturales de molibdenita provenientes de la mina La Caridad Sonora (Madrid, et al, 2005). Dichas condiciones no son idénticas a las observadas en planta donde se flota a un pH más bien básico (entre 9,5 -11,5) (Zanin, et al., 2010). Esto debido a que un cambio de matriz química es muy costoso pensando en que se debe neutralizar y acidificar todo el concentrado y, adicionalmente, se quiere disminuir la flotación de sulfuros, en particular, la pirita, que se deprime a dichos valores de pH (Dorfler y Laterty, 1981). La Figura 9 muestra como disminuye la recuperación de molibdenita al incrementar el pH, lo cual es independiente del tamaño de partículas con el que se trabaje dentro de un rango de 150 a 38  $\mu\text{m}$ , por lo que la utilización de reactivos para flotar a un pH básico es de gran importancia si se quiere obtener una alta recuperación de dicho mineral (López y Reyes, 2005).

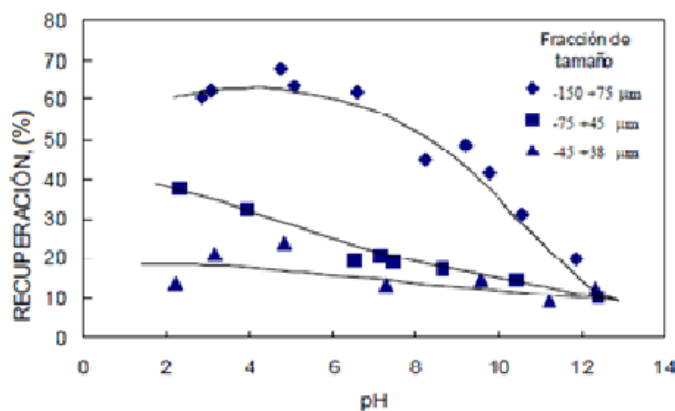


Figura 9: Recuperación de Molibdenita vs pH, modificado de López y Reyes, 2005.

La recuperación típica de circuitos de molibdenita oscila entre un 82 y 66% (Zanin et al., 2010).

#### **b. Efecto del porcentaje de sólidos**

El aumento del porcentaje de sólidos contribuye de forma desfavorable en la recuperación, vía flotación, de molibdenita. Probablemente, esto se deba a que, al aumentar dicho porcentaje en la alimentación, se produce un incremento de la viscosidad de pulpa e interacción entre partículas en suspensión reduciendo la turbulencia al interior de la celda y el número de colisiones entre burbuja y partícula. Para el caso de una flotación de mineral más bien grueso, la variación en la turbulencia será de gran importancia debido a que las partículas más densas tenderán a asentarse y separarse de la pulpa. Por lo tanto, mantener un porcentaje de sólido apropiado será de vital importancia para la correcta operación de las celdas y para lograr la recuperación esperada (Barker y Orel, 1953).

Los porcentajes de sólidos habitualmente utilizados en las etapas *Rougher* y de limpieza para circuitos de flotación selectiva de molibdeno varía entre un 27-41% para el caso de las operaciones con celdas convencionales (Ametov, 2014), (Zanin et al., 2010) y entre 15 a 33% para el caso de las columnas (Yianatos, 2004).

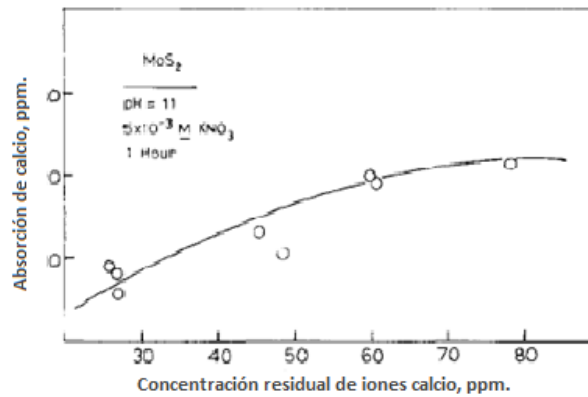
#### **c. Granulometría y tamaño de partículas**

La flotabilidad de la molibdenita se ve reducida al disminuir el tamaño de partícula de ésta. En términos generales, para el caso de la flotación selectiva de molibdeno, los circuitos de conminución generan sobre-molienda, lo que genera bajas eficiencias en etapas de flotación posteriores. Teóricamente, esto se debe a que las partículas más grandes de molibdenita se caracterizan por una relación cara-borde mayor y, por tanto, son propensas a exhibir una mejor flotabilidad. Estas poseen una carga química neutra y baja tensión superficial, por lo tanto, tendrán una leve atracción por el agua (Barker y Orel, 1953). Adicionalmente, la recuperación por flotación se puede ver reducida pues al disminuir el tamaño de partícula aumenta la preponderancia de mecanismos de recuperación por arrastre (Raghavan y Land, 1983; Konopacka y Dryzmala, 2010).

La granulometría típica de alimentación en plantas selectiva de molibdeno varía entre en 46 a 62% bajo la #400. (Miller, et al., 1990).

#### **d. Presencia de iones calcio e impacto de la calidad de agua**

En circuitos de flotación donde se recupera molibdenita, generalmente se adiciona cal para ajustar el pH con el fin de deprimir pirita (López y Reyes, 2005). La presencia de iones calcio en la pulpa de alimentación demuestra que al existir una relación 1:1 entre caras y bordes, la tendencia a formar monocapas en la superficie de la molibdenita es baja, como bien se muestra en la Figura 10, sin embargo, esto cambia al tener una relación cara a borde inferior a 1: 1 (es decir, partículas muy finas) entonces la formación de la monocapa será mucho más pronunciada (Raghavan y Land, 1983).



**Figura 10: Formación de monocapas de iones calcio en la superficie de las partículas de molibdenita, modificado de Raghavan y Land, 1983.**

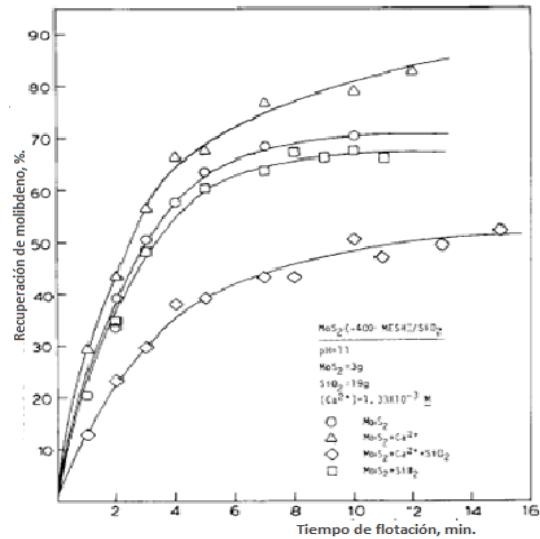
Otro factor que se consideró en el estudio es el potencial zeta de la molibdenita, el cual se hace menos negativo con el aumento de la concentración de iones calcio en solución y llega a un valor límite cuando la concentración de calcio es mayor que  $5 \times 10^{-4}$  M. El cambio en la magnitud del potencial zeta se puede atribuir a que los iones de calcio adsorbidos por especies como  $Mo_4^{2-}$  o  $HMO_4^-$  en la superficie, producen una disminución en el número de sitios oxigenados negativos sobre la superficie de la molibdenita.

El molibdato de calcio o powelita ( $CaMoO_4$ ), al ser un sólido poco soluble ( $K_{ps}$  a 25°C:  $1,46 \times 10^{-8}$ ), puede precipitar sobre la superficie como resultado de la interacción entre los iones de calcio disueltos y los sitios de molibdato en la superficie (Beas-Bustos y Crozier, 1992). El molibdato de calcio exhibe un comportamiento completamente diferente en los valores de pH ácidos, su potencial zeta se hace más negativo con una disminución en el pH. A partir de esto se puede concluir que este compuesto se puede formar en la superficie de molibdenita sólo cuando iones de calcio son adsorbidos en soluciones alcalinas.

La recuperación de molibdenita es ligeramente mejor en presencia de iones calcio, pero sólo en el caso en donde se flota a un pH 11 y para una distribución granulométrica bajo #200. Esta mejora puede atribuirse a una disminución de la repulsión eléctrica de la doble capa entre la burbuja y las partículas, la cual se vuelve menos negativa en la presencia de dichos iones (López y Reyes, 2005). Para la fracción de tamaños de partícula entre #120 y #200, la tasa de recuperación es extremadamente rápida, tanto en presencia como en ausencia de iones de calcio (Raghavan y Land, 1983).

#### **e. Presencia de sílice**

El recubrimiento de la molibdenita por partículas finas de cuarzo es en general uno de los mecanismos responsables de una mala recuperación de molibdenita (López, Reyes, 2005). La Figura 11 muestra que no se ve una notoria disminución en la recuperación de dicho mineral al estar en contacto con el cuarzo, lo cual cambia al coexistir sílice y calcio en solución, donde la recuperación se ve reducida de forma importante.



**Figura 11: Recuperación de las partículas de molibdenita flotadas en el tiempo (modificado de López, Reyes, 2005).**

Las partículas de sílice se caracterizan por poseer un potencial zeta negativo (-40 mV a un pH igual a 11), sin embargo al existir iones calcio en solución, este parámetro se reduce significativamente, eventualmente invirtiendo su carga superficial (positivo). Sin la interacción de iones calcio, tanto el potencial zeta de la molibdenita y de la sílice son negativos, por lo que la repulsión entre estos evita la coagulación de dichas partículas sobre la superficie de la molibdenita. Lo que se ve modificado al existir calcio, cambiando las condiciones del potencial, pudiéndose lograr una heterocoagulación de molibdenita y sílice lo cual afectará a la recuperación esperada.

### 1.6 Benchmarking de plantas de flotación de Molibdeno

La Tabla 1 muestra un resumen de los principales parámetros con los que se opera en las plantas de flotación de molibdeno tanto para el caso de las celdas convencionales como para las columnas de flotación.

**Tabla 1: Benchmarking de plantas de flotación de Molibdeno (N.R: no reportado).**

	Celdas convencionales	Columnas	Referencias
Porcentaje de sólido (%)	27-34	15-31	Zanin, 2010 - Ametovo, 2014
pH	9,8- 10,5		Zanin,2010
Hold up (%)	21-26	7,1	Zanin,2010
Jg (cm/s)	1,1-1,2	1,5-2,5	Power, et al., 2000 - Yianatos, Levy, 1989.
Sb (s <sup>-1</sup> )	35-65	58-63	Power, et al., 2000 - Barona,2007 - Yianatos, et al., 2009.
Profundidad de espuma (m)	N.R	0,5- 1,0	Zanin,2010
Flujo de aire (m <sup>3</sup> /h)	N.R	62	Zanin,2010



En columnas de flotación el porcentaje de sólido puede llegar a un 31%, lo que es bastante mayor a lo comúnmente utilizado en la operación. El control de pH debe ser estricto, no es más de una unidad de cambio. El valor de *hold up* para celdas convencionales es extremadamente alto lo que demuestra que habitualmente la flotación de molibdeno está asociado a material muy fino. Para el caso de columnas se recomiendan valores más bien bajo con respecto a lo que habitual en columnas (12%).

## Antecedentes de la faena

### 2.1 Mina El Teniente

La división El Teniente es una de las cinco divisiones de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco). Está ubicada a 49 km al este de la ciudad de Rancagua y se accede a ella a través la Carretera del Cobre. El Teniente tiene la característica de ser la mina subterránea más grande del mundo la cual está en operación desde 1905 y se estima que, con la realización de distintos proyectos de inversión, se podría explotar el yacimiento por unos 100 años más. La división posee un complejo integrado que comprende mina, planta, fundición, con US\$ 2200 millones en activos fijos y cuenta con una dotación de 5.200 trabajadores propios y 10.000 contratistas entre operaciones y preparación mina. La producción de fino de cobre es de 471.157 ton al año y también como resultado del procesamiento del mineral se obtienen 7.326 ton de molibdeno, el cual es el principal sub producto dentro de la faena.

El cuerpo mineralizado de El Teniente tiene medidas de 2,8 km de largo, 1,9 km de ancho y 1,8 km de profundidad, esquemáticamente este cuerpo está ubicado alrededor de una pipa compuesta de material estéril de 1,0 a 1,2 km de diámetro. Esto ofrece una gran ventaja en la planificación de la mina ya que el conjunto de instalaciones administrativas o “barrios cívicos” se ubican en la pipa y los distintos niveles productivos de cada mina se encuentran inmediatamente afuera de ésta. La Figura 12 muestra un diagrama 3D de la mina El Teniente, con sus diferentes sectores productivos.

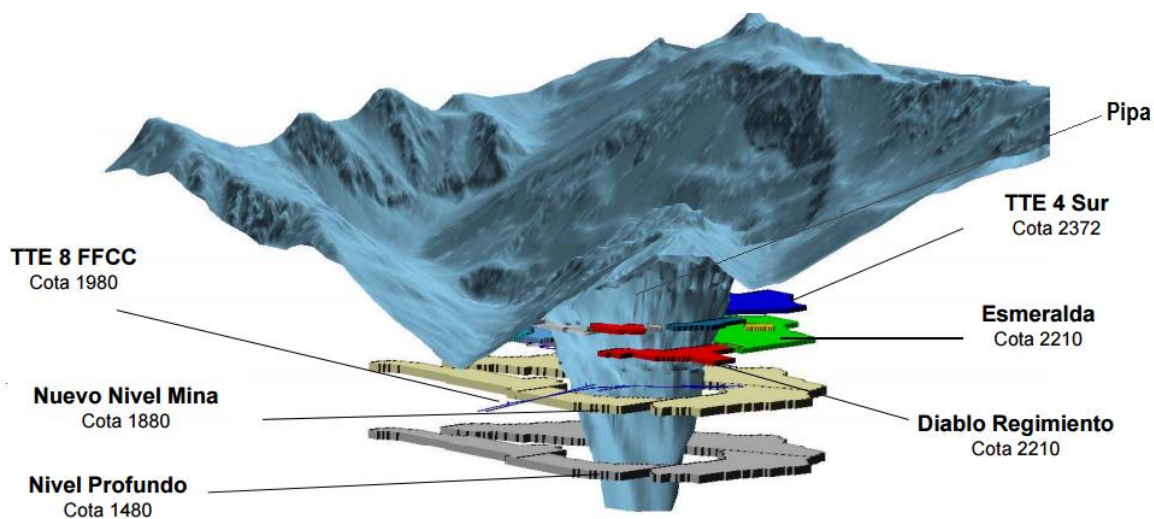


Figura 12: Diagrama 3D, mina El Teniente.

La división opera de forma paralela con diversos sectores de explotación, los cuales se distribuyen entre 8 distintos niveles de altura, siendo el Teniente 8 el nivel más profundo y donde se encuentra el nivel de transporte principal. Esta distribución espacial permite aprovechar la gravedad para transportar el mineral al interior de la mina.

Los niveles de producción y de hundimiento de los sectores productivos, RENO, Pilar Norte y Dacita se ubican en el nivel sub 6 (es decir, entre el nivel Teniente 6 y Teniente 7) el cual se encuentra a 2.120 m. de altura sobre el nivel del mar.

Por su parte la unidad de desarrollo y preparación mina (DPM) a través de empresas contratistas, se encarga de los desarrollos y preparación de la mina antes de que se ejecute el método de explotación de panel caving por hundimiento avanzado (PCHA) el cual, es utilizado tanto en la mina RENO como en el Pilar Norte.

## **2.2 Historia**

La historia de la mina El Teniente se remonta al siglo XIX donde se da origen a su nombre debido a “el teniente Juan de Dios Correa de Saa y Martinez”, quien fue uno de sus dueños. Años después, el yacimiento pasó a manos del norteamericano William Braden quien funda la Braden Cooper Company en 1905 y da paso a la explotación del yacimiento. Posteriormente, a mediados de la década del 40, se incorpora el método de explotación de Block Caving con traspaso manual. El año 1967 el Estado de Chile, bajo la presidencia de Eduardo Frei Montalva, adquiere el 51% de las acciones de la Braden Cooper Co. bajo el contexto de la llamada “chilenización del cobre”, con lo cual se empieza a entender a la minería del cobre como una pieza clave en el desarrollo del país. Este pensamiento se profundizó en el año 1971 cuando la mina El Teniente pasó completamente a manos del estado de Chile bajo la presidencia de Salvador Allende, quien expropió la totalidad de las acciones de la sociedad minera El Teniente S.A (51% del estado) con lo cual el 100% de las acciones pasaron al estado de Chile, este hito es recordado como la “nacionalización del cobre”. Desde entonces hasta la fecha el complejo minero El Teniente ha sido administrado por el estado chileno a través de Codelco.

Entre los años 2006 y 2009 Codelco entregó 26.000 millones de dólares en excedentes (llegando a producir 1,7 MMt de cobre fino el año 2009). Como división, El Teniente entregó entre esos años, excedentes por 6.700 millones de dólares lo que representa un 25,77% del total.

Entre los principales proyectos que están en ejecución en la división El Teniente se encuentran el Rajo Sur, Dacita y Nuevo Nivel Mina, siendo este último el más relevante debido a su gran envergadura y elevado ritmo de producción. Dichos proyectos aseguran una producción relativamente similar a la que posee en la actualidad (130 [ktd] aproximadamente) por los próximos 12 años, llegando el año 2025 a las 180 [ktd] cuando el Nuevo Nivel Mina (NNM) se encuentre en régimen.

La Figura 13 muestra el ritmo de producción esperado a futuro y el respectivo aporte de las distintas minas de la división. Se puede apreciar que las minas que se encuentran actualmente en operación, en un futuro muy cercano cesarán sus trabajos, por lo que se hace necesaria la pronta ejecución de los proyectos de inversión mencionados. En este contexto el proyecto Nuevo Nivel Mina, cobra una enorme relevancia ya que para el 2029 se espera que cubra por sí sólo, toda la producción de la división.

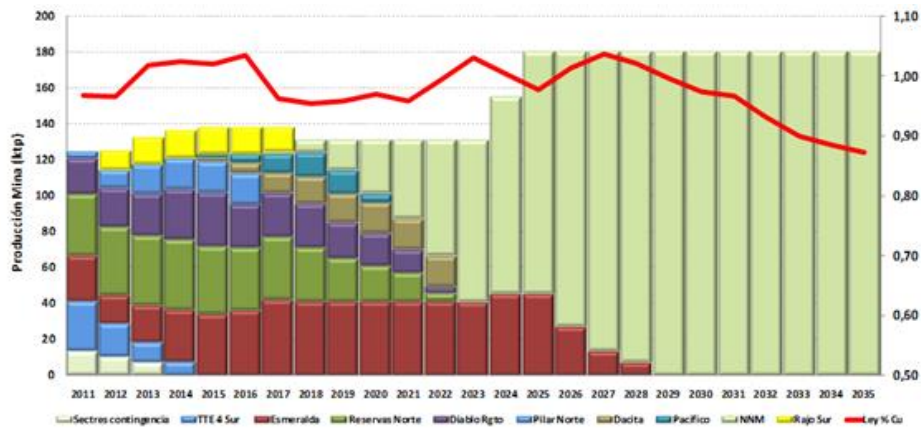


Figura 13: Ritmo de producción esperado división El Teniente.

### 2.3 Método de explotación y procesamiento de minerales

En El Teniente se emplea el método de explotación por hundimiento, que consiste en socavar mediante explosiones la base de columnas de mineral para que se fracturen, gracias a la fuerza de gravedad y los esfuerzos internos presentes en la montaña. Luego el mineral es recogido por modernos equipos LHD, que lo trasladan a los puntos de vaciado donde los martillos reducen el tamaño de las rocas, para luego ser transportadas hacia la superficie

La etapa de concentración se lleva a cabo en las áreas industriales de la división: Colón (planta Convencional y SAG) y Sewell donde el mineral se reduce de tamaño mediante el uso de chancadores y molinos, en la etapa de chancado el mineral logra disminuir su tamaño a 1,3 cm aproximadamente, mientras que en la etapa de molienda se obtiene una granulometría que está bajo 180  $\mu\text{m}$ . Una vez realizado esto, se mezcla con reactivos y agua para formar una pulpa mineral y quedar apto para el proceso de flotación, los cuales se llevan a cabo en las plantas de flotación colectiva Convencional y SAG, donde se obtiene un concentrado de cobre y molibdeno, separándose así del resto del mineral estéril. El concentrado colectivo pasa a la planta de flotación selectiva de molibdeno, el cual constituye el centro de este trabajo. En esta etapa se produce un concentrado de molibdenita para comercialización directa y una cola general de cobre, el cual pasa a la etapa de fundición para seguir con el proceso de purificación.

En la etapa de fundición, el concentrado pasa a una etapa de secado donde se extrae la humedad y a través de un sistema de transporte neumático, llega a los Convertidores Teniente para el proceso de fusión. El producto principal de estos convertidores es un metal blanco, que contiene 75% de cobre. Luego este metal blanco es vaciado en los convertidores Pierce Smith, donde se inicia el proceso de conversión que da origen al cobre blister y del que se obtiene cobre anódico. Finalmente, la electrorefinación permite transformar los ánodos en cátodos con 99,99% de pureza. En Anexos B se encuentran los diagramas de los procesos productivos de la mina.

El producto principal de comercialización de la molibdenita es el trióxido de molibdeno ( $\text{MoO}_3$ ), debido a la aleación que se forma entre este compuesto y el acero, por lo que una vez obtenido el concentrado de molibdenita este es sometido a un proceso de tostación mediante hornos Nichols – Herreshoff o Lurgi, a 600- 700° C, hasta lograr un contenido de azufre menor al 0,1% y de 85-90% de  $\text{MoO}_3$ . Otro proceso de obtención del trióxido de molibdeno es mediante sublimación, donde se alcanzan entre 1100-1200°C logrando una pureza de un 99%.

## 2.4 Planta de flotación selectiva de molibdeno

La Planta Molibdeno procesa aproximadamente 4500 a 5000 tpd de concentrados colectivos provenientes de las plantas Convencional y SAG con leyes aproximadas de Cu entre 28% y 33% y Mo entre 0,3% y 0,7%, respectivamente.

La alimentación de la planta, es a través de los espesadores P-1 y P-4, donde se opera para entregar una pulpa con un porcentaje de sólidos entre 42 y 52% hacia la etapa posterior de acondicionamiento, donde se agregan los reactivos necesarios para la flotación de molibdenita.

El circuito de flotación incluye los bancos de celdas *Rougher*, primera, segunda y quinta limpieza las que operan con celdas de flotación convencional, mientras que la tercera y cuarta limpieza corresponden a flotación mediante columnas. El circuito se muestra en la Figura 14.

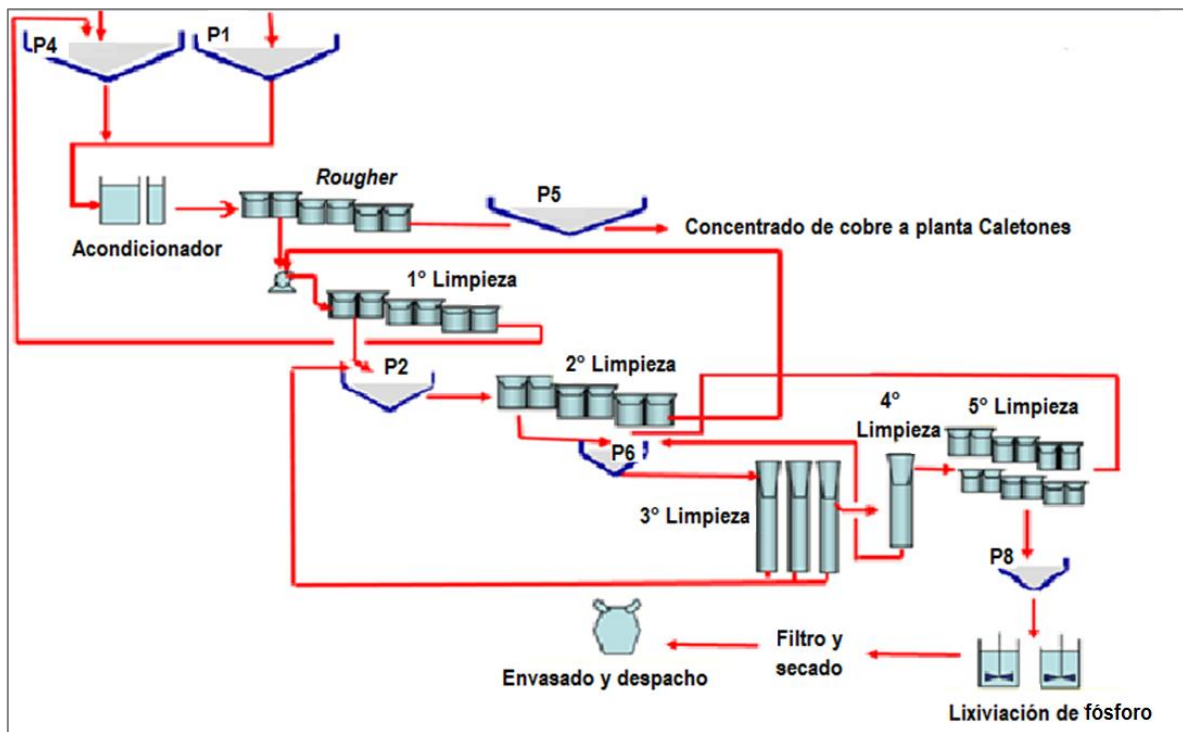


Figura 14: Diagrama de flujos planta de flotación selectiva de molibdeno.

Los siguientes corresponden a cada uno de los procesos pertenecientes a la planta de flotación de selectiva de molibdeno.

### a. Espesamiento

Esta actividad se realiza a través de la utilización de espesadores, los que cumplen la función de concentrar los sólidos en suspensión por sedimentación gravitacional, hasta alcanzar una concentración entre 42% a 52% de sólidos y un rebose de agua clara.

### b. Acondicionamiento

La función del acondicionamiento es dar un tiempo de residencia a la pulpa, utilizando un estanque de 350 m<sup>3</sup>, donde es agitada por aproximadamente 50 min, con el objetivo de producir la desorción de reactivos residuales tales como colectores y espumantes provenientes de la flotación

colectiva. En esta etapa se adiciona el colector de molibdeno (kerosene o diésel) con una dosificación de 200 a 300 g/ton de mineral tratado. Adicionalmente, se agrega  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) como modificador de pH que permite pasar desde una pulpa a un pH 10 a 11 a un pH entre 8,5 y 9 para una operación óptima (operación con ácido). Cuando el valor de este parámetro se encuentra por debajo de 8,5 (unidades de pH) se debe detener el flujo de ácido o reactivos, debido al riesgo de emanaciones de  $H_2S$ .

Desde este estanque acondicionador se alimenta por rebose al estanque mezclador, donde se adicionan el reactivo depresante de cobre (Tiofos 80-20 y/o NaSH en dosificaciones 600 y 660 l/h, respectivamente). Además, este estanque sirve de cajón alimentador para las bombas impulsadoras.

### **c. Circuito *Rougher***

Desde el estanque acondicionador de  $350\text{ m}^3$ , se alimenta el circuito. Este consta de 3 bancos de 6 celdas Metso de  $355\text{ ft}^3$  ( $10,1\text{ m}^3$ ) con inyección de gas forzado, en arreglos de 2-2-2. En este circuito obtenemos una cola rica en cobre o concentrado final de cobre, que es enviado al espesador P-5 para adecuar un sólido entre 55 a 65% que es conducido posteriormente a la planta Caletones. Los concentrados del circuito *Rougher* son enviados al circuito primera limpieza.

### **d. Circuito 1° Limpieza**

Los concentrados del circuito *Rougher*, más las colas del circuito 2° limpieza, alimentan a 2 bancos de 6 celdas Metso de  $355\text{ ft}^3$  ( $10,1\text{ m}^3$ ) cada una, en arreglos 2-2-2, cuya finalidad es limpiar estos concentrados, es decir, subir la ley de molibdeno. Los concentrados son enviados a espesador P-2 y las colas son enviadas al espesador P-4 o también se pueden compartir en un 50% al espesador P-4 y un 50% al estanque acondicionador.

### **e. Circuito 2° Limpieza**

Recibe la alimentación del espesador P-2 y trabaja con un banco de 6 celdas Metso de  $355\text{ ft}^3$  ( $10,1\text{ m}^3$ ) cada una, en arreglo 2-2-2, las colas llegan al cajón distribuidor de la 1° limpieza y los concentrados son enviados al espesador P-6.

### **f. Circuito 3° Limpieza**

Esta etapa es utilizada para concentrar la molibdenita por flotación mediante columnas de 12 m de altura y de  $5184\text{ in}^2$  ( $3,5\text{ m}^2$ ) de área basal, inyectando un flujo de gas ascendente de  $207,7\text{ m}^3/\text{h}$  ( $J_g$  igual a  $1,7\text{ cm/s}$ ) en su extremo inferior. Este gas al subir toma contacto en contra corriente con la pulpa (ésta alimenta a la celda a  $\frac{3}{4}$  partes desde su base). El flujo ascendente de gas produce también un arrastre hidráulico de partículas no deseadas, este efecto se controla con la utilización de agua de lavado en inyectada en la parte superior (en forma de lluvia) con un flujo de  $0,13\text{ m}^3/\text{h}$  (velocidad superficial de líquido,  $J_l$  igual a  $1,03 * 10^{-3}$ ). Las características principales de este equipamiento son su gran selectividad y la ausencia de elementos mecánicos móviles.

La alimentación a ésta, corresponde al producto espesado del P-6, mientras que el concentrado obtenido es enviado a la etapa de 4° limpieza, y las colas vuelven al espesador P-2.

### **g. Circuito 4° Limpieza**

Consiste en una celda columnar, de iguales dimensiones que las utilizadas en la 3° limpieza. En este caso, se recibe el concentrado de la 3° limpieza como alimentación, entregando un producto que es enviado al circuito de 5° limpieza. Las colas producidas retornan al espesador P-6 para volver a ser tratadas.

### **h. Circuito 5° Limpieza**

Recibe los concentrados provenientes de la 4° limpieza cuya descarga es alimentada al circuito de 5° limpieza, el que consta de dos bancos de 8 celdas Metso de 50 ft<sup>3</sup> (1,4 m<sup>3</sup>) en contracorriente, en arreglos 2-3-3. El concentrado es recibido en el espesador P-8 para pasar a las etapas de lixiviación de fosforo, filtración y luego a una operación de secado para posteriormente ir a envasado y despacho. Las colas retornan al espesador P-6.

### **i. Lixiviación de concentrado**

La lixiviación de los concentrados de molibdenita, se realiza agregando ácido sulfúrico a los estanques de lixiviación que contienen la pulpa de concentrado final, hasta obtener un pH de 1,5 a 1,7 para lixiviar el cobre y el fósforo derivado del tiofosfato inorgánico (Tiofos), el cual se agrega como depresante de cobre para lograr la flotación de la molibdenita. La lixiviación de los concentrados de molibdenita es una operación *batch*, donde se agita la pulpa por 1 h y se evalúa si es necesario repetir el ciclo nuevamente de acuerdo al contenido de fosforo presente en la pulpa. Posterior a esto se procese con las etapas de filtración, secado y envasado del concentrado.

### **j. Filtrado**

El filtro EIMCO es alimentado por el espesador P-8 o los estanques de lixiviación en caso de pulpa lixiviada. Esta etapa entrega a secado un concentrado con un rango de humedad entre 12% a 17%.

### **k. Secado**

Esta operación se utiliza para disminuir la cantidad de agua contenida en el concentrado proveniente desde el filtro de vacío, hasta lograr una humedad bajo el 15% y asegurar un producto con las características comerciales requeridas en términos de humedad.

Luego de esta etapa el producto obtenido es envasado e identificado, para luego pasar a control de calidad y poder ser despachado.

## **3.5 Producción y comercialización de concentrados**

El producto final de este proceso es envasado en maxisacos. estos son fabricados en base a cintas tejidas de polipropileno de alta tenacidad y resistencia. Un lote comercial se compone de 22 de éstos sacos donde cada uno de ellos tiene un peso estándar de  $1250 \pm 50$  kg. En general existen dos grandes clientes: Molymet (Molibdenos y Metales S.A) y división Andina. Los requerimientos para ambos clientes se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2: Requerimientos de los clientes del concentrado de molibdeno de la planta de flotación selectiva división El Teniente.**

Elemento	Concentración máxima (%)	
	Concentrados a Molymet	Concentrados a Andina
Cu	Máximo 4,0	Máximo 4,0
Mo	Mínimo 48	Mayor a 48
P	Máximo 0,039	Menor que 0,1
H <sub>2</sub> O	Máximo 15% con penalidades, sobre 15% se debe solicitar concesión especial.	



# Protocolos Experimentales

## 1. Evaluación de planta selectiva de molibdeno de El Teniente

La siguiente sección tiene por objetivo presentar los procedimientos con los que se llevaron a cabo los muestreos de planta, experimentos a escala de laboratorio, análisis del circuito y de datos. Los materiales y equipos utilizados se presentan en Anexos C.

### 1.1 Balance de masa y evaluación de la eficiencia del proceso

Se realiza una campaña de muestreo el día 6 de enero 2016, donde se evalúa la planta de flotación selectiva de molibdeno en estado estacionario. La actividad comienza con la llegada a la planta y la correspondiente autorización del jefe de turno para ingresar. Se debe verificar que la planta esté operando de forma estable y en régimen para poder comenzar con la toma de muestras. Una vez realizado esto se evalúan los riesgos involucrados y como controlarlos, se preparan los equipos de personas y se recorre la planta con personal de la operación para identificar los puntos de muestreo. Los puntos muestreados son los que se muestran con numero en la Figura 15

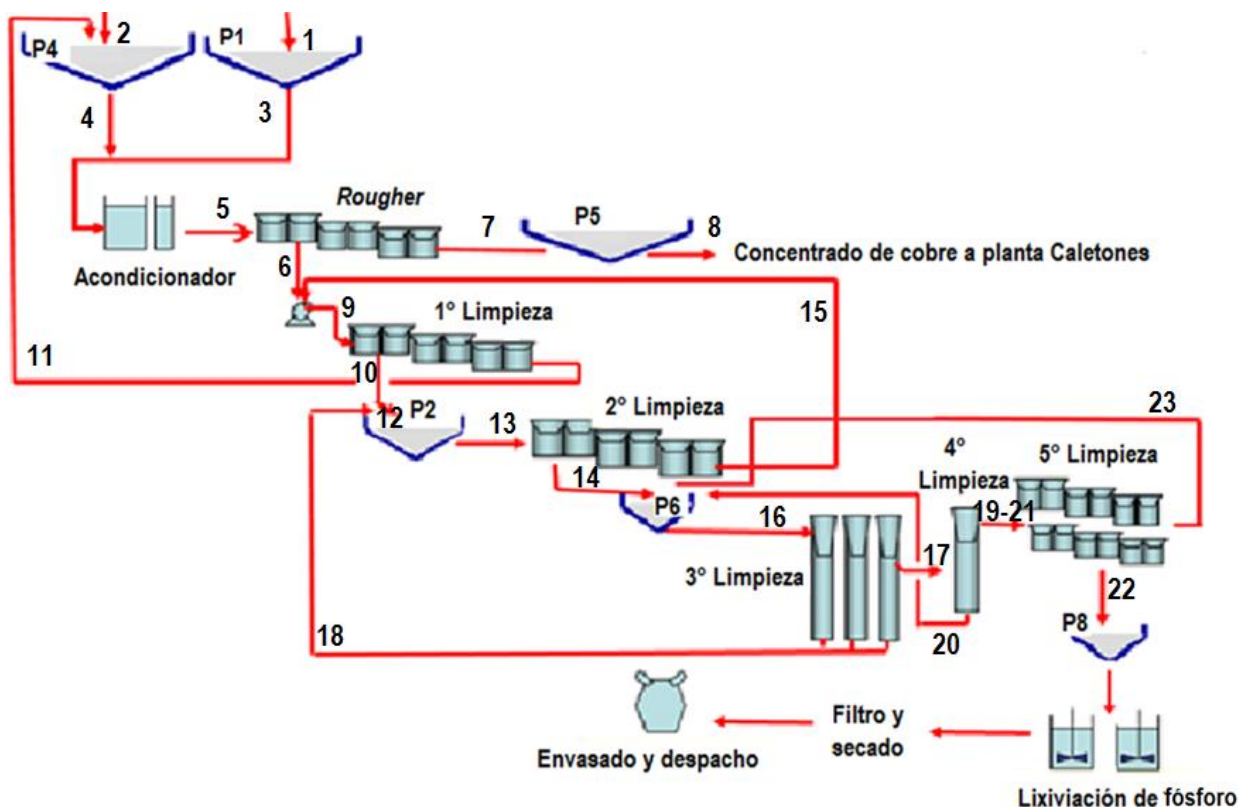


Figura 15: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo global.

1. Alimentación del espesador P-1 (Convencional).
2. Alimentación del espesador P-4 (SAG).
3. Alimentación estanque acondicionador (desde P-1).
4. Alimentación estanque acondicionador (desde P-4).
5. Alimentación *Rougher*.
6. Concentrado *Rougher*.

7. Alimentación espesador P-5.
8. Descarga espesador P-5.
9. Alimentación primera limpieza.
10. Concentrado primera limpieza.
11. Cola primera limpieza.
12. Alimentación espesador P-2 en canaleta.
13. Alimentación segunda limpieza.
14. Concentrado segunda limpieza.
15. Cola segunda limpieza.
16. Alimentación tercera limpieza.
17. Concentrado tercera limpieza.
18. Cola tercera limpieza.
19. Concentrado cuarta limpieza.
20. Cola cuarta limpieza.
21. Alimentación quinta limpieza.
22. Concentrado quinta limpieza.
23. Cola quinta limpieza.

Para realizar el muestreo se selecciona de preferencia una caída libre de la pulpa para cortar de forma transversal y a velocidad constante (dentro de lo posible) toda la muestra. Se utiliza la información provista por la sala de control o *PI (Plant Information)* para obtener los flujos de descargas de los espesadores P-4, P-6 y estanque acondicionador.

El equipo de trabajo se divide en 5 parejas a las cuales les corresponden un número de puntos de muestreo definido. Cada uno de ellos debe tomar un volumen de pulpa de aproximadamente tres litros de muestra por punto. Las muestras finales se obtienen como compósitos de cuatro cortes realizados cada 20 min. sobre una hora de muestreo. Una vez finalizado el muestreo se mide el pH, potencial redox y la conductividad de cada muestra de pulpa y se transportan al laboratorio en baldes rotulados y cerrados.

Se realiza un segundo muestreo el día 9 de febrero, 2016, según el mismo procedimiento de análisis que en el caso anterior, sin embargo, la actividad está focalizada en las columnas de flotación, las cuales corresponden a la 3° y 4° limpieza. Los puntos analizados son los que se muestran en el diagrama de flujos específico de la zona correspondiente a este análisis, estipulados en la Figura 16.

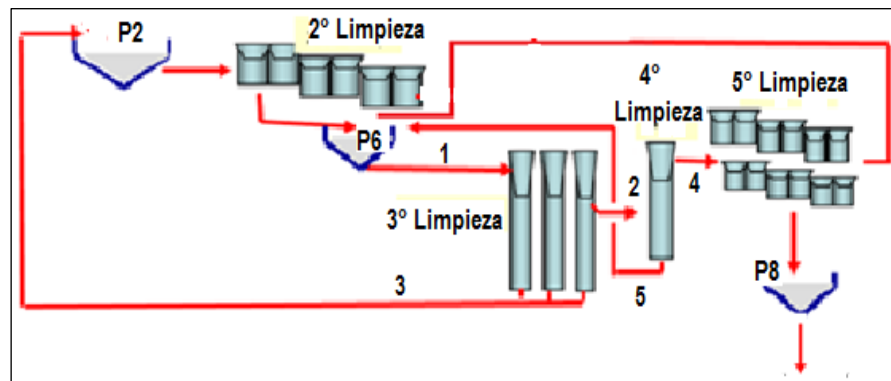


Figura 16: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo específico a las columnas de flotación.

1. Alimentación tercera limpieza.
2. Concentrado tercera limpieza.
3. Cola tercera limpieza.
4. Concentrado cuarta limpieza.
5. Cola cuarta limpieza.

La alimentación a la cuarta limpieza es el concentrado de la tercera limpieza y por lo tanto sólo se toma la muestra en una oportunidad. El caudal del concentrado de la cuarta limpieza para el caso del segundo muestreo realizado fue medido en terreno utilizando un tambor previamente medido y marcado a una altura de 20 L y se toma el tiempo que tarda el flujo en alcanzar dicho volumen. Se realizan 3 mediciones para poder tener certeza del resultado.

La Tabla 3 muestra los parámetros requeridos para la caracterización de las muestras tomadas tanto en el balance global de la planta, como en el realizado a las columnas de flotación. En la sección D de Anexos se detallan los protocolos y procedimientos requeridos para la obtención de estos.

**Tabla 3: Parámetros de caracterización de las muestras de pulpa del balance global y específico de columnas.**

	Método de obtención	Técnica o estrategia de medición
Densidad de Pulpa	Análisis de laboratorio	Pesaje en probeta
Porcentaje de sólidos	Cálculo teórico	$\% \text{ Sólido} = \frac{(G.E.*(\rho - 1))}{(\rho * (G.E. - 1))} * 100$
Gravedad específica	Análisis de laboratorio	Picnometría
Granulometría	Análisis de laboratorio	Tamizaje
Potencial redox	Análisis en terreno	Medidor de potencial redox, Schott
Conductividad	Análisis en terreno	Conductivímetro, Vario Cond Set
pH	Análisis en terreno	pHmetro Schott
Distribución de tamaños de partícula	Análisis de laboratorio	Cyclosizer
Leyes de molibdeno y cobre	Análisis químico	Espectroscopia de absorción atómica

Se debe destacar que el error que se comete al obtener las leyes depende del método empleado (Anexos D) y por lo tanto del tipo de muestra que se esté analizado. Para la estimación de la ley de cobre, el error varía desde un 0,05% en muestras con un contenido de cobre bajo el 3%, mientras que para el caso de muestras que contengan sobre dicho porcentaje, el error es de un 0,3%. En el caso de la estimación de la ley de molibdeno, el error es aproximadamente de 0,3% para las muestras con alto contenido de dicho mineral, para las muestras con leyes intermedias el error cometido varía desde un 0,01% a 0,5%.

Para realizar el balance de masa se recurre al método de mínimos cuadrados, mediante la reconciliación de datos experimentales, donde el error de muestreo incurrido se evalúa entre un 0-0,5%, dependiendo del tipo de ducto donde se tomó la muestra y de la dificultad/facilidad para cortar el flujo de forma apropiada.

Se calcula además el índice de selectividad, el cual se obtiene según la Ecuación 16, en este caso se utilizan las leyes entregadas por el balance de masa realizado. La ley de molibdeno y cobre en el concentrado deben ser las máximas posibles, por lo que se agrega un delta correspondiente al

error incurrido en el cálculo de estas, de forma contraria se realiza para las leyes de alimentación que deben ser las mínimas posibles, donde se resta dicho error.

$$I = \sqrt{\frac{L_{MoC}}{L_{MoA}} * \frac{L_{CuA}}{LCuC}}$$

Ecuación 16: Índice de selectividad.

donde,

$L_{MoC}$  = Ley máxima de molibdeno en el concentrado (%).

$L_{MoA}$  = Ley mínima de molibdeno en la alimentación (%).

$L_{CuC}$  = Ley máxima de cobre en el concentrado (%).

$L_{MoA}$  = Ley mínima de cobre en la alimentación (%).

## 2. Análisis teórico nodal de la recuperación global

El análisis teórico de la recuperación global del proceso de flotación de molibdeno se logra por medio del *software Matlab*, en este caso lo que se analiza es la derivada de la recuperación global con respecto a cada una de las recuperaciones por subetapas, es decir desde la etapa *Rougher* hasta la quinta limpieza. Las ecuaciones correspondientes implementadas en el *software Matlab* se muestran en Anexos D. Un análisis numérico permite no solo determinar qué etapa es la más relevante en el punto de operación actual de la planta sino también, identificar recuperaciones críticas dentro del circuito que se encuentran actualmente en valores bajos respecto de lo esperado. Un ejemplo de este procedimiento se presenta en la Figura 17 (Imaizumi y Inoue, 1963).

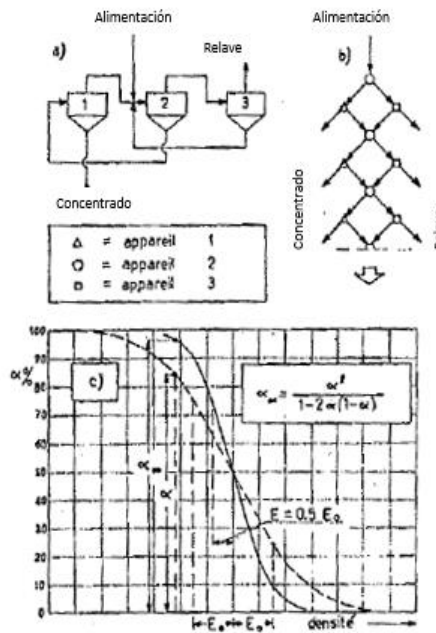


Figura 17: Ejemplificación de análisis nodal, modificado de Imaizumi y Inoue, 1963.

### 3. Caracterización de columnas presentes en el circuito de limpieza

#### 3.1 Caracterización de la dispersión de gas y estimación de carga de burbuja

Los parámetros con los que operan las columnas de flotación corresponden a la medición de la 3° y 4° limpieza. Se realiza la medición de la distribución de tamaño burbuja, velocidad superficial de gas ( $J_g$ ), (Ecuación 12), velocidad superficial de área de burbuja ( $S_b$ ), (Ecuación 13) y la carga de burbuja (Ecuación 14). El procedimiento se lleva a cabo usando el equipo *Bubble Viewer*®, adquirido en la Universidad de McGill, Canadá, De acuerdo a los siguientes pasos:

1. Llenar la cámara de visualización de burbujas con agua.
2. Posicionar la cámara de visualización y la cámara fotográfica en la celda a evaluar y con ayuda de una regla al interior de la cámara obtener la escala de trabajo.
3. Quitar la regla y cerrar la cámara, se debe señalar que el zoom de la máquina fotográfica no debe ser ajustado después de obtener la escala de trabajo.
4. Quitar el tapón de ingreso de pulpa y comenzar a medir el tiempo con cronómetro en el momento en que se realiza este acto.
5. Tomar fotografías desde que el tapón es retirado, hasta que la cámara esté casi completa con pulpa.
6. Medir la altura alcanzada por la pulpa dentro de la cámara.
7. Retirar el mineral al interior de la cámara para poder obtener su masa.
8. Filtrar, secar y secar la pulpa obtenida.

Las imágenes son analizadas por el procesador de imágenes *Empix Northen Eclipse* para obtener en base a éste, el flujo volumétrico de gas, flujo superficial de área, diámetros característicos y la carga de burbuja. A su vez el programa *ImageJ* se utiliza para el análisis de la distribución del tamaño de burbujas. El flujo de aire inyectado a las celdas ese día es tomado directamente desde la sala de control.

La carga de burbujas corresponde a la superficie total de burbujas que atraviesan la sección transversal de la celda en un instante de tiempo. Para obtener este parámetro de forma experimental, se retira el mineral al interior de la cámara de visualización, el que es filtrado, secado y pesado, obteniendo la masa transportada por las burbujas. El volumen de burbujas de gas corresponde al atrapado en la cámara de visualización, el que se obtiene por diferencia de volumen entre el volumen total de la cámara (7 L) y el alcanzado por la pulpa mineral al momento de la realización de la prueba para cada una de las columnas (el nivel de llenado para la columna 3 y 6 es de 5,75 L y para la columna 4 es 6,13 L). Con los valores anteriores se obtiene que el volumen de gas para cada una de las celdas es de 1,25 L para las columnas 3 y 6 y de 0,87 L para la columna 4. El valor final se obtiene en base a la Ecuación 14. La mineralogía de las muestras obtenidas en la cámara de visualización para cada una de las columnas se realizó usando la técnica *QESMCAN*®, modelo *QEMSCAN EXpress*.

#### 3.2 Estudio exploratorio sobre balance de masa de reactivos

Se realiza un estudio exploratorio del balance de masa de reactivos en la planta selectiva de molibdeno de El Teniente, el cual fue llevado a cabo el día 21 de julio de 2016. El estudio busca no sólo determinar la concentración de cada uno de los reactivos presentes en el circuito sino también obtener indicaciones sobre posibles interacciones entre ellos. Se muestrean 8 flujos en total, los cuales se especifican en la Figura 18.

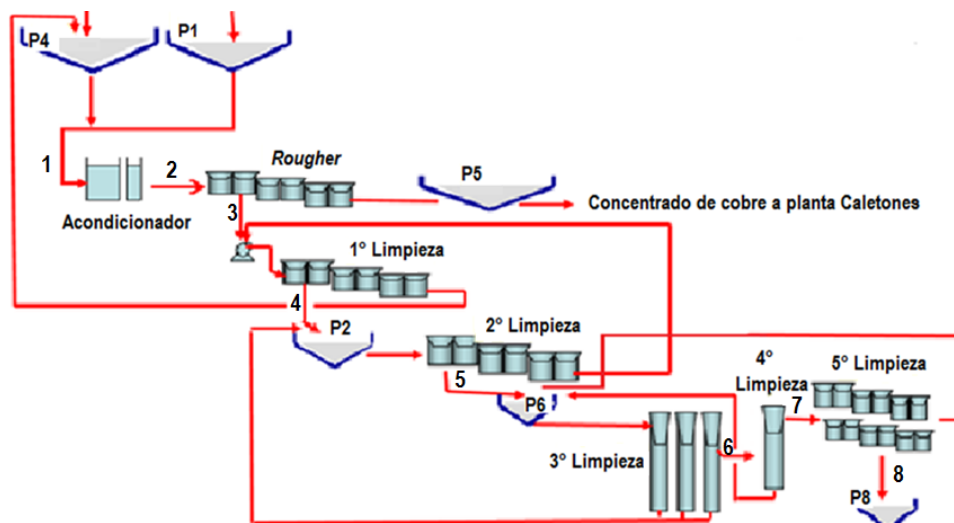


Figura 18: Diagrama de flujos de la planta de flotación selectiva de molibdeno con los puntos utilizados para el muestreo de reactivos.

1. Alimentación estanque acondicionador.
2. Alimentación *Rougher*.
3. Concentrado *Rougher*.
4. Concentrado primera limpieza.
5. Concentrado segunda limpieza.
6. Concentrado tercera limpieza.
7. Concentrado cuarta limpieza.
8. Concentrado quinta limpieza.

Para poder realizar estos análisis de las soluciones acuosas, se extrae agua desde el flujo que ingresa al estanque acondicionador.

Para cada uno de los puntos a muestrear se deben tomar aproximadamente 4 L de pulpa, en 4 incrementos cada 20 min, tomando los incrementos de forma apropiada. Una vez realizada la toma se transportan al laboratorio en baldes cerrados y rotulados para el posterior análisis por espectrofotometría UV-Visible.

### 3.2.1 Espectrometría reactivos de flotación

El estudio espectrofotométrico consta de tres partes, la primera consiste en analizar soluciones de los reactivos utilizados en la planta de forma individual (NaSH, Tiofos, ácido sulfúrico y kerosene) y luego se estudian las soluciones de mezcla entre los diferentes reactivos y finalmente se realizan pruebas a las muestras obtenidas desde la misma planta, las cuales corresponden a cada una de las 8 líneas muestreadas. En lo siguiente se detalla cada una de las partes del trabajo de análisis espectrofotométrico.

#### a. Espectrometría a reactivos individuales y mezclas

En este caso se realizan pruebas tanto, a los reactivos individuales como a las mezclas entre ellos. Para el primer caso se tiene el siguiente procedimiento experimental:

1. Se prepara la solución madre en un vaso precipitado, agregando 50 ml de agua de proceso y se agrega 0,05 ml de cada uno de los reactivos antes mencionados.

2. Agitar la solución por 5 min. con agitador magnético.
3. Extraer 1, 2, 3 y 5 ml de la solución madre y colocar cada muestra, en un matraz diferente de 100 ml.
4. Enrazar con agua de proceso.
5. Agitar por 2 min. cada una de las soluciones.
6. Tomar una muestra de agua de proceso en el espectrómetro (blanco), para minimizar el ruido.
7. Tomar una muestra de cada una de las soluciones (para cada reactivo) y medir la absorbancia versus longitud de onda para detectar los *peaks* de las muestras.
8. Extraer los datos desde el equipo y construir los gráficos de absorbancia versus longitud de onda.

Para el caso de las mezclas, la Tabla 4 muestra las concentraciones utilizadas y los reactivos combinados, sin embargo, el procedimiento se realiza de forma análoga a la estipulada en el caso de muestras individuales:

Tabla 4: Concentraciones y mezclas utilizadas en la espectrometría mezcla de reactivos.

Espectrometría Mezclas de Reactivos				
	Reactivo	Muestra Sol. dilución	Vol. Utilizado (ml)	Vol. Dilución
1	Tiofos 0,05 (ml) + NaSH 0,1 (ml)	100	1-2-3-5	100
2	NaSH 0,05 (ml) + Tiofos 0,1 (ml)	100		100
3	Tiofos 0,05 (ml) + Acido 0,1 (ml)	50		25
4	Acido 0,05 (ml) + Tiofos 0,1 (ml)	50		25
5	Tiofos 0,05 (ml) + Kerosene 0,1 (ml)	25		50
6	Kerosene 0,05 (ml) + Tiofos 0,1 (ml)	25		50
7	NaSH 0,05 (ml) + Acido 0,1 (ml)	50		100
8	Acido 0,05 (ml) + NaSH 0,1 (ml)	100		100
9	NaSH 0,05 (ml) + Kerosene 0,1 (ml)	100		100
10	Kerosene 0,05 (ml) + NaSH 0,1 (ml)	100		100
11	Acido 0,05 (ml) + Kerosene 0,1 (ml)	25		10
12	Kerosene 0,05 (ml) + Acido 0,1 (ml)	25		10

#### b. Espectrometría muestras planta de flotación

Las pruebas realizadas a las muestras obtenidas desde la misma planta, corresponden a la alimentación al circuito *Rougher*, alimentación al estanque acondicionador Titanic y al concentrado de la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta limpieza. Dichas muestras fueron tomadas y analizadas de forma inmediata para no perjudicar los resultados obtenidos por la degradación de los reactivos al estar expuestos al medio. En este caso el protocolo es más las sencillo que en el caso anterior, el cual se expone a continuación:

1. Sacar las muestras de forma directa a cada una de las etapas.
2. Filtrar para eliminar el contenido sólido y guardar la solución.
3. Agitar las muestras y tomar 100 ml de cada una de ella, en un matraz.
4. Analizar una fracción de ésta en el espectrofotómetro.

La concentración a la que se encuentran los reactivos en cada uno de los puntos muestreados de la planta y para cada concentración de este (1, 2, 3 y 5 ml) se obtiene de la división de la absorbancia de la muestra directa de la planta para la longitud de onda que minimiza el error de cada uno de los reactivos y la absorptividad promedio del reactivo en cuestión (longitud de onda que minimiza el error). Posterior a esto se aplica una de una regresión lineal, calculada en base a las absorbancias y concentraciones de las muestras de 1, 2, 3 y 5 ml. Como no se puede saber se forma precisa el resultado para la absorbancia estipulada, es que se opta por un análisis de sensibilidad, donde se varía la concentración de las muestras de 1 y 5 ml en la desviación estándar entre las absorptividades del reactivo, para la longitud de onda que minimiza el error. Lo antes descrito se obtiene en base a la ley de Beer Lambert según la Ecuación 17.

$$A = -\epsilon * C * d$$

**Ecuación 17: Ley de Beer Lambert.**

donde,

A = Absorbancia.

$\epsilon$  = Absorptividad molar.

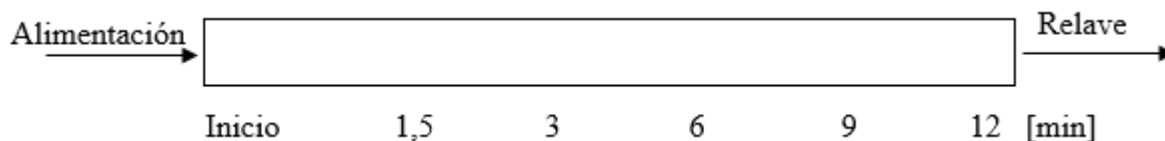
C = Concentración (mol/L).

d = espesor del recorrido por la radiación.

## 4. Experimentos cinéticos de flotación a escala de laboratorio

### 4.1 Procedimiento de laboratorio

El procedimiento para realizar la cinética de flotación a las muestras de la alimentación a las celdas *Rougher*, primera, segunda y quinta limpieza, se detalla de forma detallada en Anexos D. Es importante destacar que, por protocolos de seguridad de El Teniente, estos análisis deben ser realizados por personal propio de la empresa capacitado para esta labor. Para las etapas de 3° y 4° limpieza no fue posible realizar esta prueba debido a que no se contaba con los procedimientos necesarios para realizar estas pruebas. La Figura 19, muestra el proceso de recuperación de pulpa en los tiempos estipulados.



**Figura 19: Esquema test de cinética de flotación en laboratorio.**

Los valores de pH, densidad de pulpa y porcentaje de sólido para cada una de las etapas analizadas me muestran en la Tabla 5.



Tabla 5; de pH, densidad de pulpa y porcentaje de sólido, cinética de flotación *bath*.

	Densidad de pulpa (g/L)	% Sólido (%)	pH
<i>Rougher</i>	1.638	41,1	10,5
1° Limpieza	1.315	43,6	11,2
2° Limpieza	1136	35,9	10,7
5° Limpieza	1.160	31,3	9,7

## 4.2 Análisis teórico

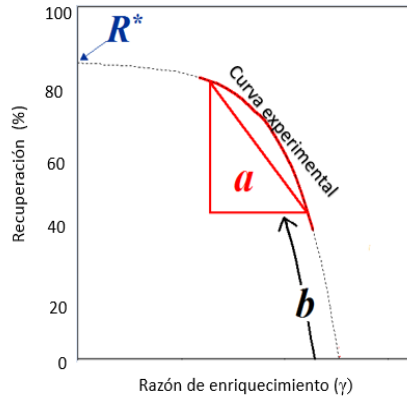
De los resultados de cinética de flotación se determina el tiempo máximo de flotación para la etapa *Rougher*, la(s) componentes de flotabilidad y las curvas de recuperación metalúrgica versus recuperación másica. Por último, se obtienen las curvas de recuperación y ley con la implementación del modelo Arev.

### a. Modelo Arev

El modelo Arev, muestra como varía la recuperación ( $R$ ) en función de la razón de enriquecimiento ( $\gamma$ ) como una función del seno hiperbólico, considerando los parámetros  $R^*$ ,  $b$  y  $a$ .  $R^*$  es un valor teórico de recuperación que excluye a partículas lentas no flotables que están presentes en el mineral de interés, las cuales son recuperadas normalmente en el relave, además este término corresponde a la recuperación cuando la razón de enriquecimiento tiende a 1. El parámetro  $b$  representa el grado de contaminación del concentrado en relación a las por partículas menos valiosas que están presentes en el sistema (es decir, una especie de ineficiencia), sin embargo, se cree que está asociado con las condiciones operacionales de la celda como flujo de aire, velocidad del impeler, concentración de los reactivos, etc. El parámetro  $a$ , el cual está asociado con las características físicas del mineral valioso, como el tamaño de partícula, forma, grado de liberación, etc. Este determina la flexibilidad del perfil de recuperación v/s razón de enriquecimiento, por lo tanto, podría estar relacionado el grado de liberación del mineral valioso. La Ecuación 18 muestra el modelo de recuperación Arev, mientras que la Figura 20 muestra de forma ejemplificadora en una curva experimental y los parámetros utilizados por el modelo (Vera, 2002). El modelo se lleva a cabo con los datos entregados en la cinética de flotación a escala de laboratorio, donde los parámetros  $R^*$ ,  $a$  y  $b$  son obtenidos en base al mejor ajuste encontrado por “*solver*” de *Microsoft Excel*.

$$R = R^* * a * \sinh(b * [\gamma - 1])$$

Ecuación 18: Modelo de recuperación Arev.



**Figura 20: Curva de recuperación y razón de enriquecimiento, con la identificación de los parámetros utilizados por el modelo Arev, modificado de Vera, 2002.**

Si bien al aumentar la recuperación, la ley disminuye debido a la relación inversa que existe entre estas dos cantidades, existe un punto de estabilización de la separación en el que puede lograrse un óptimo. La expresión matemática que describe este punto se expresa en la Ecuación 19, donde los parámetros son los ya definidos anteriormente (Vera, 2002).

$$\text{Curvatura}(\text{razón de enriquecimiento}) = \frac{a * b^2 * \sinh[b * (\gamma - 1)]}{\{1 + a^2 * b^2 * \cosh^2[(b * (\gamma - 1))]\}^{\frac{2}{3}}}$$

**Ecuación 19: Curvatura, obtenida con la razón de enriquecimiento, para obtener el punto óptimo de la curva recuperación versus ley, según modelo Arev.**

## 5. Modelamiento y Simulación del circuito de flotación selectiva

La simulación de la 3° y 4° etapa del circuito de flotación se realiza con el *software JKSimFloat*, donde se diseñan 3 circuitos de flotación, los que corresponden a, (i) Caso base, el cual replica las condiciones y equipos de la 3° y 4° limpieza de la planta de flotación selectiva de molibdeno, donde se utilizaron como *input* los valores obtenidos del balance de masa y de la caracterización de las celdas. (ii) Columna corta, donde se incorpora una celda extra en la 4° limpieza y se reduce la altura de las columnas a 6,2 m, considerando que en la actualidad si se dispone de una columna extra sin uso. (iii) Celdas convencionales, se evalúa el caso de implementar celdas convencionales en vez de columnas (3 bancos de 2 celdas), las cuales también están sin uso en la actualidad; en este caso y considerando la falta de información que existe en relación a ellas, se utilizan los parámetros de las celdas Wemco 84 descritos de forma teórica en Anexos D, debido a la similitud en el volumen total de la celda Wemco 84 (4,2 m<sup>3</sup>), con las existentes en la planta (5 m<sup>3</sup>) y al uso que se les daría de ser puestas en funcionamiento (etapa *Cleaner*). Para poder tener una mayor percepción de cómo se ven modificados los resultados dependiendo de la variación en las leyes y tonelaje, es que se realiza un análisis de sensibilidad, donde se evalúa un aumento en la ley a un 35% de Mo en la alimentación y una disminución de ésta a un 23%. Además, se modifican las toneladas por hora de alimentación a la 3° limpieza desde 60 a 12 tph de sólido.

El *software JKSimFloat* se basa en un modelo de flotación de cinética de pseudo-primer orden, la cual se introduce en la ecuación clásica de reactores perfectamente agitados, que operan en continuo. En base a dicha ecuación se adiciona el término de arrastre y haciendo uso de 20 supuestos (Montes-Atenas, 2013) se obtiene la Ecuación 20.

$$R_i = \frac{(k_i * \tau_i * (1 - R_w) + ENT_i * R_w)}{(1 + \tau_i * k_i) * (1 - R_w) + ENT_i * R_w}$$

**Ecuación 20: Recuperación de la especie i en procesos de flotación industrial continuos utilizado por el software *JKSimFloat*, (Savassi,1999).**

donde,

$R_i$ : Recuperación de la especie i.

$k$ : Constante específica por fracción de tamaño.

$R_w$ : Recuperación de agua.

$P$ : Flotabilidad intrínseca.

$ENT_i$ : Arrastre según fracción de tamaño.

$\tau_i$ : Tiempo de residencia según fracción de tamaño.

El factor cinético  $k$ , utilizado en la Ecuación 20, se obtiene en base a la Ecuación 21.

$$k = P * S_b * R_f$$

**Ecuación 21: Factor  $k$ , utilizado por el software *JKSimFloat* (Gorein,1998).**

donde,

$k$ : Constante cinética de primer orden.

$P$ : Flotabilidad intrínseca del mineral.

$S_b$ : Velocidad superficial de área de burbuja.

$R_f$ : Recuperación de espuma, que entrega el porcentaje de partículas que son recuperadas en el concentrado.

# Resultados y Discusiones

## 1. Evaluación de planta selectiva de molibdeno de El Teniente

### 1.1 Balance de masa global

La Figura 21 muestra las leyes de molibdeno, cobre e insoluble que se obtienen como resultado del balance de masa. Como es de esperar, se observa una disminución de la ley de cobre y un aumento en la ley de Mo a medida que avanza el proceso de flotación. Los flujos de concentrado colectivo provenientes de las plantas Convencional y SAG son los que alimentan a la planta selectiva de molibdeno con una ley de cobre de 24,6 y 31% respectivamente. El flujo proveniente de la planta Convencional representa un 36,3%, mientras que el flujo de la planta SAG representa un 63,7%. El proceso de flotación selectiva logra reducir este porcentaje hasta llegar a un concentrado final con una ley de cobre de 2,8%. Para el caso del Mo la ley aumenta desde 0,08 y 0,6% de Mo (plantas de flotación Convencional y SAG, respectivamente) a un 48% correspondiente al concentrado final. El insoluble en cambio, decrece en los concentrados de cada una de las diferentes etapas, a diferencia de lo obtenido en las colas, donde la ley es superior para cada una de éstas, lo que deja en evidencia que en su mayoría el insoluble no es recuperado.

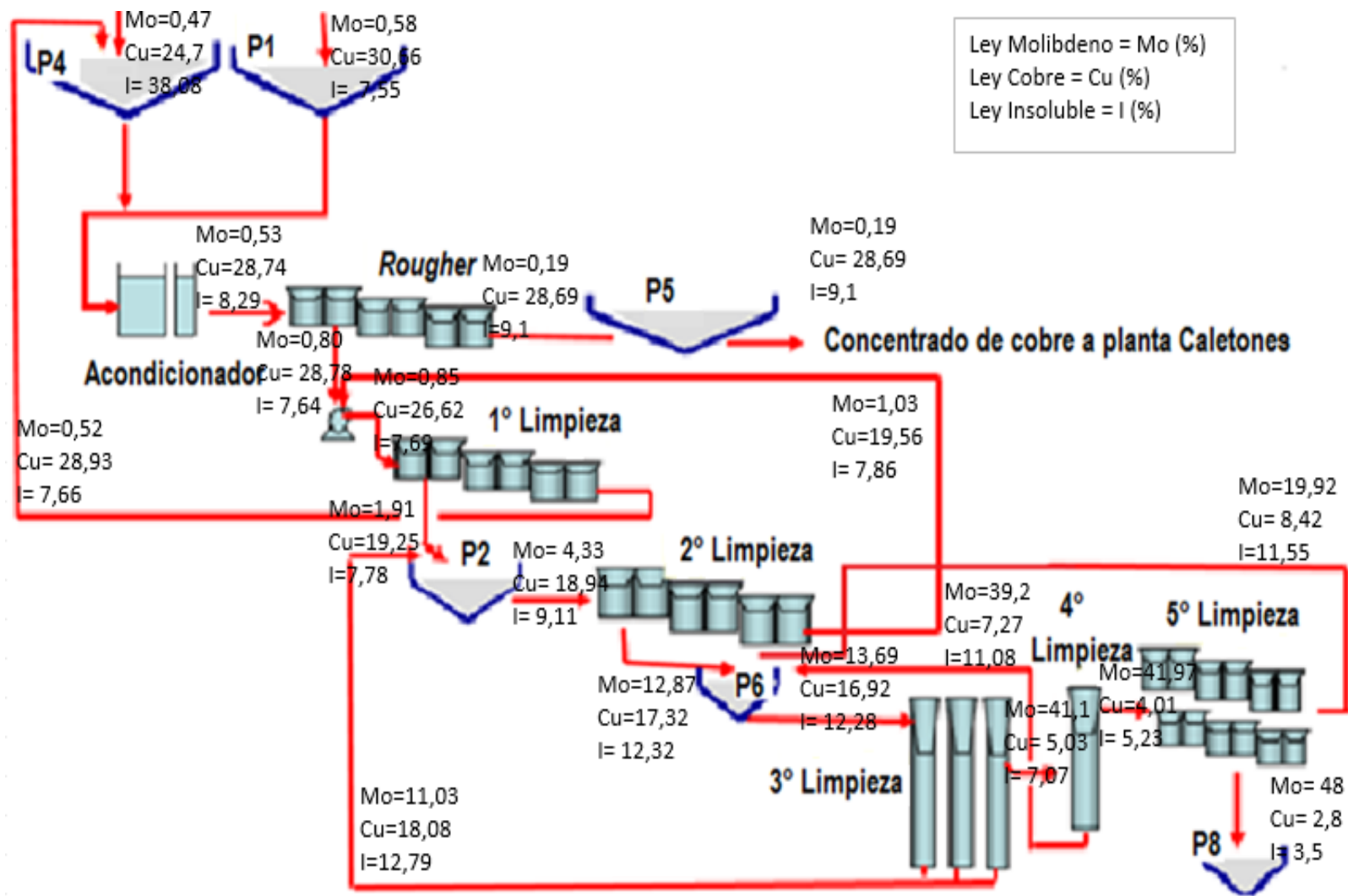


Figura 21: Diagrama de flujo con las leyes de molibdeno, cobre e insoluble en cada uno de los puntos muestreados

La Tabla 6 presenta los errores incurridos al realizar la reconciliación de datos. Para las leyes de Mo, el mayor error se presenta en el caso de la alimentación al espesador P-2, lo cual se puede deber a la dificultad que se tiene al tomar dicha muestra. Para el caso de la ley de cobre, el error mayor se ve en la cola de la 5° limpieza, debido a que se intenta ajustar el flujo para obtener el concentrado de molibdenita real, lo que repercute en el error que se tiene en la cola de la misma etapa. El insoluble muestra el mayor error para la alimentación a la planta desde la Convencional, lo cual se puede deber a un error de análisis químico y al ajuste realizado, debido a que el error para las otras leyes es bajo, en ese punto.

**Tabla 6: Error incurrido al realizar la reconciliación de datos.**

	Errores ley medida-calculada		
	Molibdeno (%)	Cobre (%)	Insoluble (%)
A. P-4 (Conv.)	0,25	0,00	1,41
A. P-1 (SAG)	0,16	0,01	0,33
A. Titanic (P-1)	0,10	0,05	0,25
A. Titanic (P-4)	0,30	0,04	0,25
A. Rouger	0,12	0,01	0,65
Conc. Rouger	0,23	0,04	0,34
A. P-5	0,54	0,01	0,00
Desc. P-5	0,60	0,00	0,00
A. 1° Limpieza.	0,24	0,05	0,15
Conc. 1° Limpieza.	0,64	0,22	0,06
Cola 1° Limpieza.	0,03	0,02	0,37
A. P-2	0,78	0,82	0,40
A. 2° Limpieza.	0,30	0,17	0,24
Conc. 2° Limpieza.	0,04	0,02	0,05
Cola 2° Limpieza.	0,21	0,28	0,34
A. 3° Limpieza.	0,10	0,09	0,04
Cola 3° Limpieza.	0,15	0,02	0,28
Conc 3° Limpieza.	0,02	0,11	0,03
Conc. 4° Limpieza.	0,10	0,11	0,71
Cola 4° Limpieza.	0,17	0,06	0,04
A. 5° Limpieza.	0,11	0,15	0,71
Conc. 5° Limpieza.	0,00	0,00	0,00
Cola 5° Limpieza.	0,12	0,47	0,16

El balance de masa global se presenta en Anexos E del presente informe. Los *inputs* utilizados para realizar el balance son los que se mencionan a continuación, notando que todos corresponden a datos tomados el día 6 de enero del 2016. Los caudales se obtuvieron del sistema en línea de información de planta (PI: *Plant Information*), mientras que los datos de leyes, densidad de pulpa y porcentaje de sólidos se realizaron de forma experimental para las muestras tomadas ese día (dichas muestras no corresponden a la totalidad de los flujos):

- Caudales
  - Descarga estanque acondicionador Titanic (Bomba 547 /548) (558,8 m<sup>3</sup>/h).
  - Descarga espesador P-2 (Bomba 533/534) (205,1 m<sup>3</sup>/h).
  - Descarga espesador P-6 (Bomba pp-83) (114,9 m<sup>3</sup>/h).
- Toneladas por día de concentrado 5<sup>ta</sup> limpieza (36 t/d).
- Densidad de pulpa y porcentaje de sólidos de los flujos muestreados (Anexos E).

El concentrado obtenido por la planta de molibdeno el día 6 de enero, representa un valor normal para la producción que se tiene de forma habitual. La descarga del espesador P-5 que contiene la cola general o concentrado de cobre también se encuentra dentro del rango habitual de la producción, tomando valores promedio entre 4500 a 5000 tpd de sólido. En este caso se obtuvo alrededor de 4900 tpd, por lo que se considera un parámetro normal.

Se debe considerar que, en términos generales, existe una falta de información de los flujos pertenecientes a las etapas intermedias del proceso por lo que realizar una comparación con parámetros anteriormente medidos es difícil. Sin embargo, los datos son consistentes con la disminución de leyes de cobre y el aumento con la ley de molibdeno, además el flujo va disminuyendo a medida que avanza el proceso, lo que concuerda con el hecho de que el mineral se va concentrando cada vez más hasta obtener un producto acorde a lo requerido. La recuperación por etapas y global obtenida desde el balance de masa se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7: Recuperaciones por etapas y global, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	R. Masa (%)	R. Metalúrgica (%)
<i>Rougher</i>	55,79	84,18
1°Limpieza	23,81	53,28
2°Limpieza	27,85	82,83
3°Limpieza	8,84	26,55
4°Limpieza	68,58	70,04
5°Limpieza	78,51	89,80
R. Global	0,73	65,05

El análisis de optimización que se realiza en la planta de flotación selectiva de molibdeno, va en directa relación con la recuperación obtenida del balance de masa y a los resultados mostrados en la Tabla 7. Se ve una notoria disminución en la recuperación obtenida para el caso de la 3° limpieza, la cual corresponde a las columnas, por lo que el estudio se basa en dicha etapa. Se considera además apropiado incluir en el análisis la etapa de 4° limpieza debido a que ésta opera con una sola columna y cuya alimentación es de forma directa el concentrado obtenido en la etapa anterior. Como bien es sabido la recuperación másica y metalúrgica son bastante inestables, sin embargo, al realizar un segundo muestreo a las columnas de flotación de forma específicas los datos para las etapas operadas con columnas son igual de insatisfactorios por lo que se focaliza el análisis en dichas etapas. El detalle de los resultados obtenido en el segundo muestreo se presenta en Anexos E.

En relación al índice de selectividad para cada una de las etapas, se espera que esta aumente al ir avanzando el proceso. La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos, donde se aprecia un notorio incremento en la alimentación a la 3° limpieza lo cual se puede deber a que esta etapa no solo procesa en concentrado de la 2° limpieza, sino también el relave de la 4° y 5° limpieza, por otra

parte, corresponde a la primera etapa operada por columnas. Para la 4° limpieza el índice baja, probablemente debido a que esta procesa el concentrado obtenido de la etapa anterior sin incluir ninguna recirculación, a diferencia de la etapa anterior. El índice para el concentrado de la 5° limpieza también aumenta debido a que esta es la última etapa del proceso, utilizada para lograr la ley esperada del concentrado y por lo tanto se torna más selectiva que las otras celdas, por otra para la alimentación a esta etapa contiene un alto porcentaje de molibdeno, lo que favorece a la selectividad ya que las partículas sin material valioso fueron descartadas en etapas anteriores.

**Tabla 8: índice de selectividad para cada una de las etapas de flotación.**

	1°	2°	3°	4°	5°
<i>Rougher</i>	Limpieza	Limpieza	Limpieza	Limpieza	Limpieza
	2,38	2,41	4,11	2,67	3,36

## 1.2 Otros parámetros

### a. Porcentaje de sólidos

El porcentaje de sólidos de cada una de las muestras se detalla de forma esquemática en la Figura 22 se observa que el porcentaje de sólidos de la descarga del espesador P-5, es aquel que presenta el mayor valor, esto se puede deber a que este mineral corresponde a la cola general de la planta, es decir, es el concentrado de cobre, el cual debe ser transportado posteriormente a la planta de fundición Caletones.

El porcentaje de sólidos en las etapas iniciales es bastante elevado si se compara con la literatura, por lo que es recomendable bajar este porcentaje para poder lograr un mejor funcionamiento de las celdas sobre todo en la alimentación de las etapas *Rougher* y 1° limpieza, en este caso y considerando que existe un espesador extra (P-3), sin uso en la planta, se podría hacer uso de este para alivianar la carga a las celdas si es que es requerido y disminuir el porcentaje de sólido de dichas etapas. En la 3° y 4° limpieza el porcentaje de sólidos, es en general menor que el de las otras etapas, debido a que las columnas operan normalmente con un menor porcentaje de sólidos. Se debe resaltar que, para la descarga de los espesadores, estos porcentajes son menores que los encontrados en la alimentación de éstos, debido a que, si bien en la planta de flotación de molibdeno los espesadores no tienen una gran función de espesar la pulpa, si se ve una disminución en el porcentaje de sólidos una vez ocurrido el proceso. Los valores de este parámetro son concordantes con lo obtenido en el segundo muestreo (específico a las columnas de flotación). En Anexos E se muestra el detalle de los valores obtenidos para ambos muestreos.



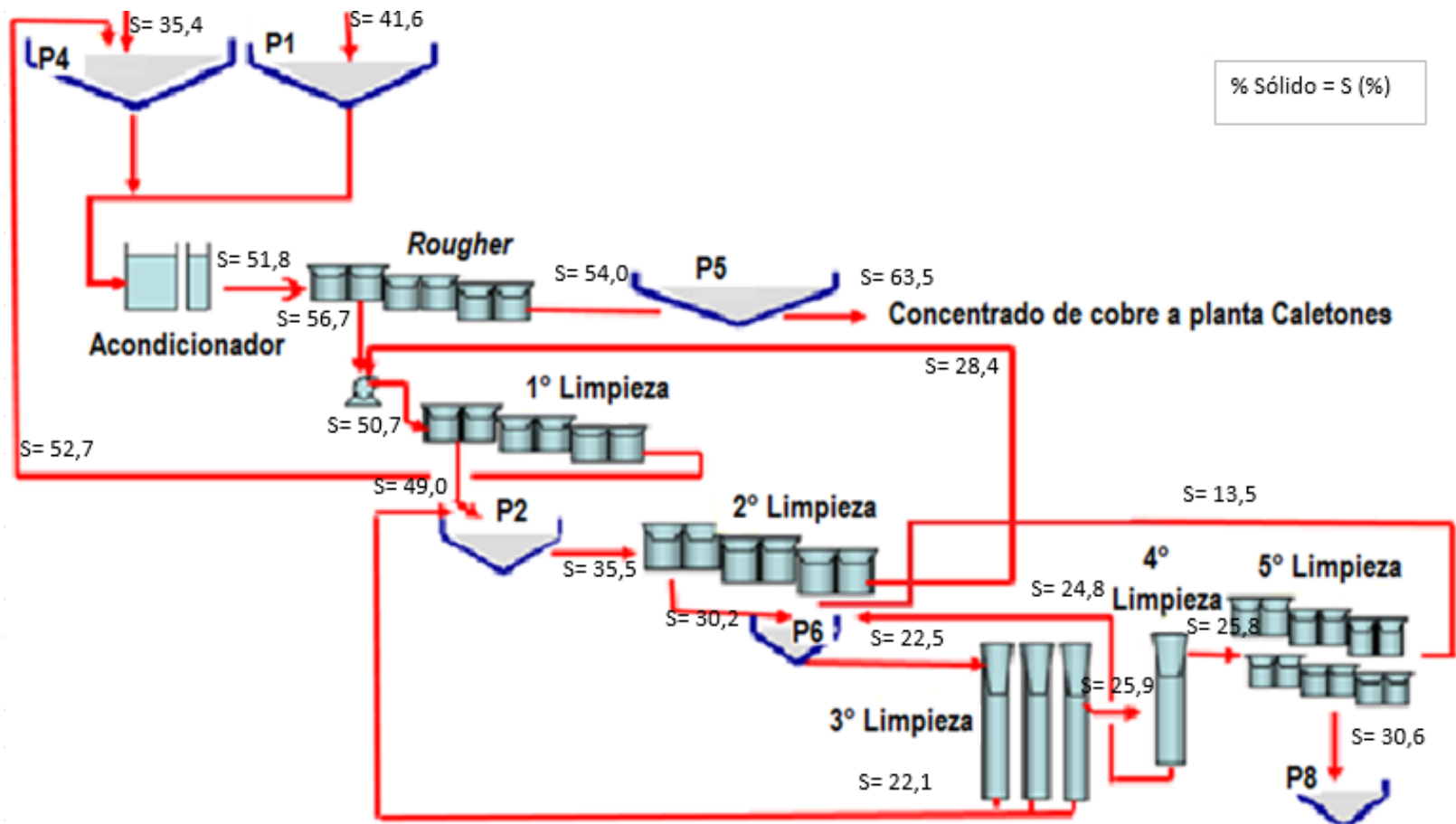


Figura 22: Diagrama de flujo con el porcentaje de sólido en cada uno de los puntos muestreados.

### c. pH

La Figura 23 muestra de forma esquemática el pH medido para cada una de las muestras. Se observa que el rango va desde 11,94 a 9,85, siendo este básico en todo su dominio y bastante acotado por lo que las variaciones se podrían deber a la incorporación reciente de ácido sulfúrico como ocurre en el caso de la alimentación *Rougher* y la descarga del estanque acondicionador Titanic. Para el caso de la alimentación a las celdas *Rougher* y a la primera limpieza, se cuenta con el pH entregado por el sistema automático de medición (*PI*). Se analiza el pH de éstas desde el periodo de enero a mayo del 2016, donde se obtiene en promedio un valor de 9,76 para las celdas *Rougher* y 10,03 para la alimentación de la primera limpieza. Sin embargo, los datos presentan una variación promedio de 0,54 para ambos casos, lo cual indica que en términos generales el pH cambia en un rango acotado y básico. El pH es levemente alto particularmente en las etapas finales (en la 5° limpieza se llega casi a pH 12), lo que se puede deber a la reacción o la disolución de sales básicas. El detalle de la información entregada por el sistema de monitoreo en línea, los valores obtenidos del muestreo experimental y el error cometido en la toma de datos se presentan en Anexos E.

Si se comparan estos resultados con los resultados obtenidos en las muestras realizadas en el muestreo específico, se puede notar que en este caso se opera a un nivel aún más básico. Esta situación puede ser consecuencia de una disminución en la dosificación de ácido o al aumento en la cal incorporada aguas arriba en el proceso. Los resultados sin embargo no cambian en más de una unidad de pH. El detalle se presenta en Anexos E.

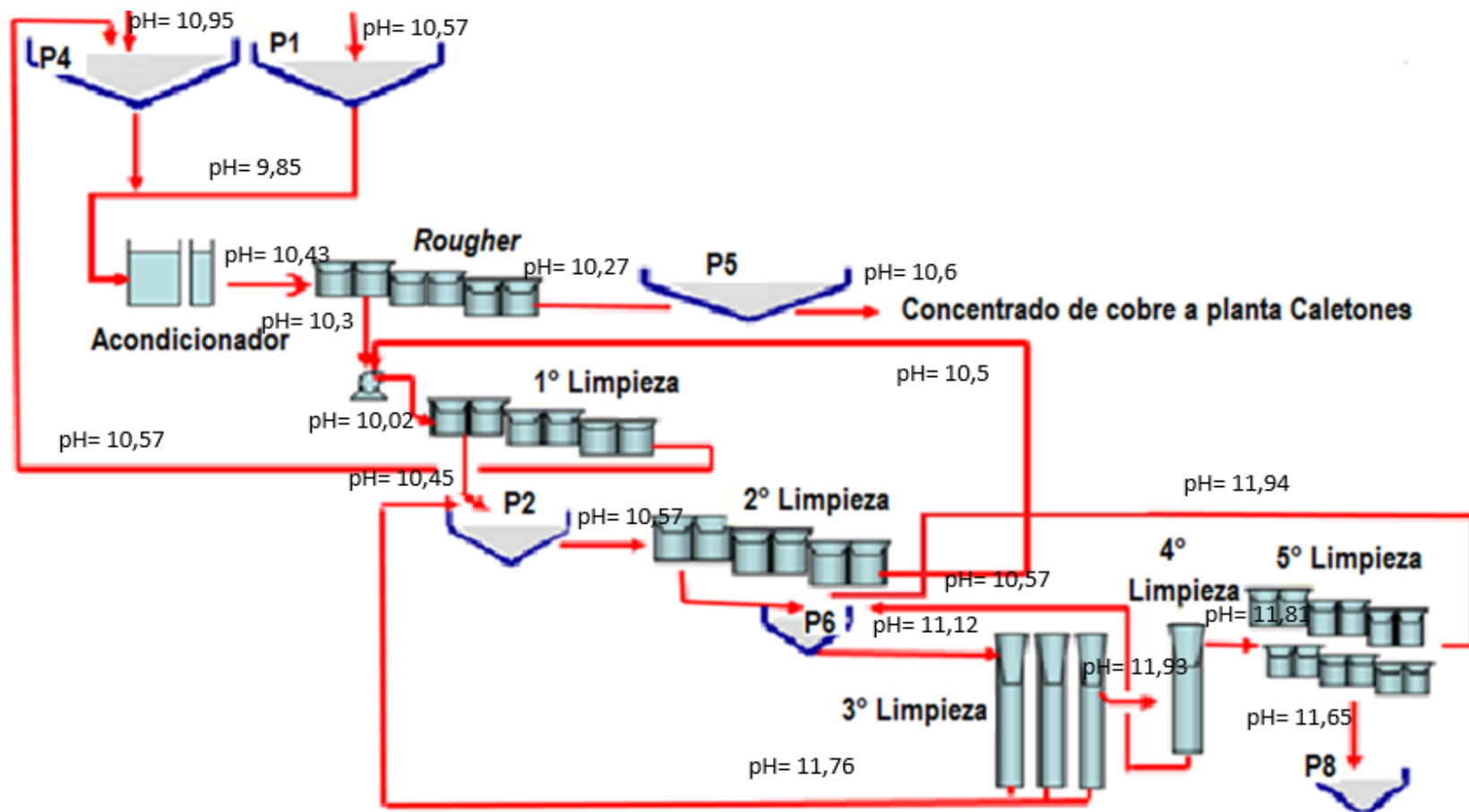


Figura 23: Diagrama de flujo con el pH en cada uno de los puntos muestreado

#### d. Potencial Redox

La Figura 24 se muestra el potencial redox medido en cada una de las muestras tomadas en la planta de flotación selectiva de molibdeno, con los resultados corregidos, contrastándose contra el electrodo de hidrogeno estándar (+198,8 mV). La Figura 25 muestra que los valores de potencial redox para cada una de las muestras están dentro del rango de estabilidad del agua, las celdas que operan con nitrógeno son las correspondientes a las etapas *Rougher* y 1° limpieza, lo cual es razonable porque si existiera oxígeno en abundancia el NaSH que es incorporado justo antes de estas se oxidaría de forma rápida. Como todos los datos obtenidos están dentro del rango de estabilidad del agua, se especula que no existe ni oxígeno, ni hidrogeno en las especies minerales, lo cual es favorable. En cuanto a la variación del potencial con la adición de ácido sulfúrico y el NaSH estos son incorporados en la misma etapa (estanque acondicionador) por lo que no es posible determinar cómo cambia el potencial con la adición de cada uno de ellos de forma independiente, sin embargo, el valor del potencial sube desde las muestras que ingresan a la planta por lo que la adición de ácido podría ser el causal de este aumento. El detalle de los valores con el respectivo error y el diagrama con los datos originales se presentan en Anexos E.

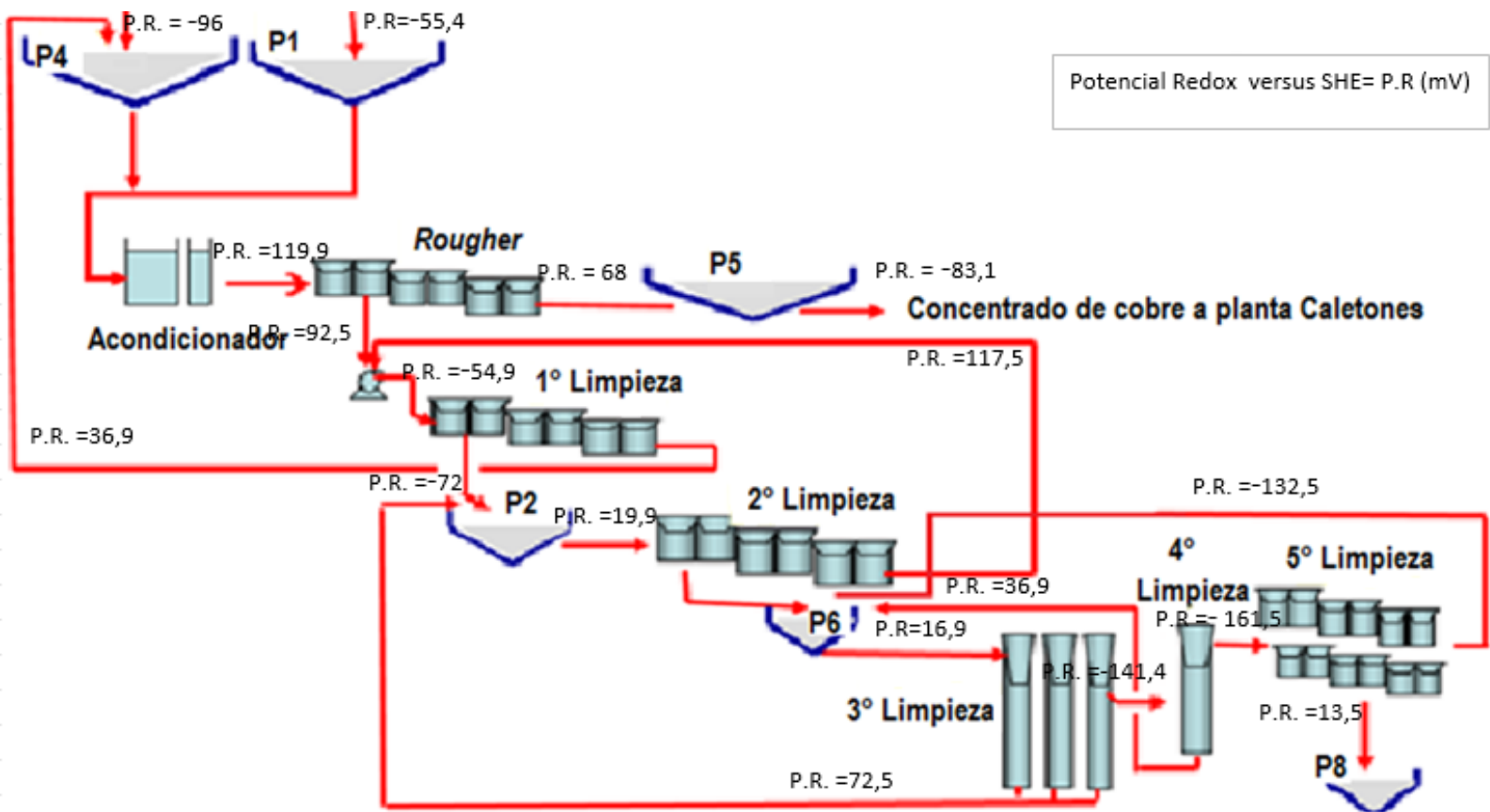
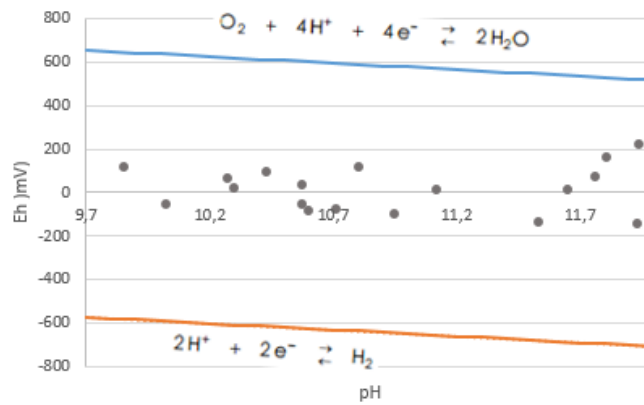


Figura 24: Diagrama de flujo con el potencial redox en cada uno de los puntos muestreados.



**Figura 25: Rango de estabilidad del agua para pH 9,7 a 12, con los valores de potencial redox obtenidos de forma experimental.**

Al comparar estos valores con los obtenidos en el muestreo específico de columnas, esta muestra diferencias son considerables, lo cual se puede atribuir a un cambio en las condiciones de flotación aguas arriba, debido a que la planta de flotación selectiva, no presenta cambios drásticos entre los meses transcurridos. El detalle de los resultados se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9: Potencial Redox, tomado a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.**

Muestra	Pot. Redox (mV)
A. 3° Limpieza	-155,2
Conc 3° Limpieza	172,6
Cola 3° Limpieza	-7,3
Conc. 4° Limpieza	225
Cola 4° Limpieza	81,3

### e. Gravedad específica

La Figura 26 presenta los resultados obtenidos de las muestras. Para el caso de la molibdenita, ésta presenta una gravedad específica de 4,8 g/cc. En términos generales el valor que se utiliza en la planta de flotación selectiva es de 4,2 g/cc (para cálculos en operación), la cual corresponde al valor de la calcopirita, sin embargo, este mineral se presenta en una alta concentración en las etapas iniciales, pero a medida que avanza el proceso esta tiende a disminuir, más aún considerando que el relave final es obtenido después de la primera limpieza. Se observa que aquellas muestras tomadas aguas arriba, presentan una menor gravedad específica, a diferencia de aquellas con una concentración de molibdenita mayor, las que corresponden a las etapas finales, esto debido al cambio en la composición de la pulpa. Al analizar la Figura 27 que muestra la ley de Mo versus la gravedad específica del mineral para cada una de las etapas evaluadas, donde se observa una baja correlación entre los datos (alrededor de 0,3), por lo que no se puede asegurar que la ley de molibdeno tendría una muestra en base a la gravedad específica de esta. Los valores obtenidos de la gravedad específica para el muestreo de las columnas son concordantes con los antes mencionado. Los valores mencionados y los errores se presentan Anexos E.

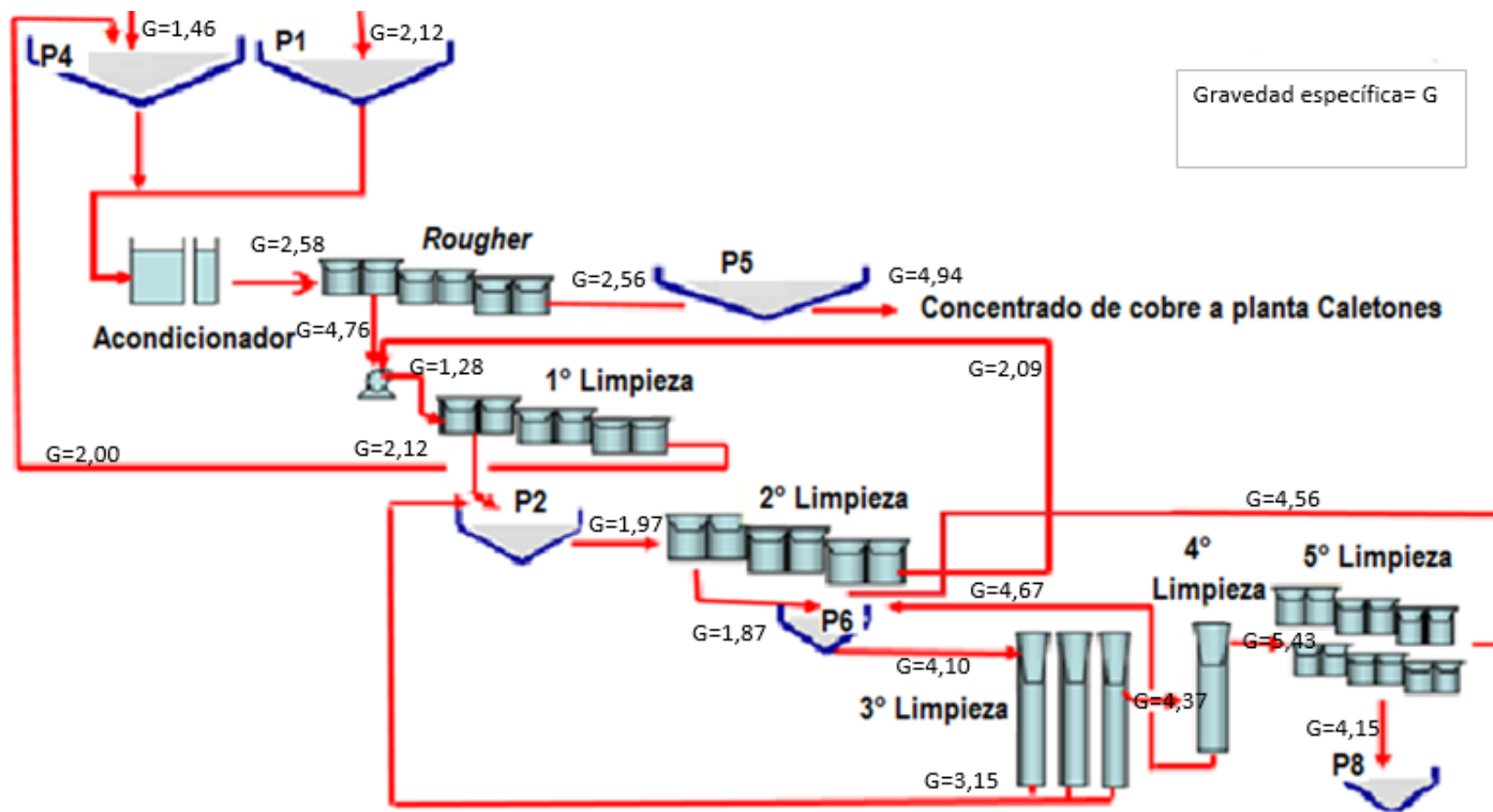


Figura 26: Diagrama de flujo con la gravedad específica en cada uno de los puntos muestreados.

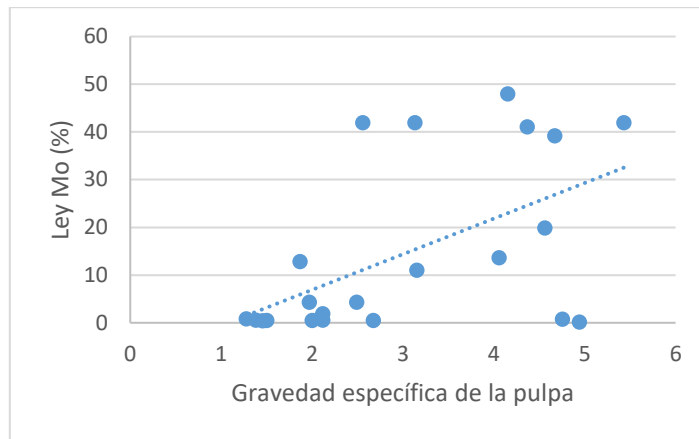


Figura 27: Porcentaje de Mo en las muestras de planta versus la gravedad específica.

### f. Densidad de pulpa

La Figura 28 muestra el resultado obtenido para este parámetro en las muestras analizadas. Este parámetro es generalmente el que se controla más frecuentemente en una planta, mediante el uso de la balanza de Marcy, sin embargo y para efecto de realizar un análisis más prolijo en laboratorio, la densidad de pulpa se mide con la ayuda de una probeta de precisión.

Este parámetro se relaciona con la gravedad específica obtenida y el porcentaje de sólido, por lo que las variaciones se deben a estos parámetros, destacando que el valor máximo obtenido es de 2,04 y el mínimo de 1,12 g/cc. Lo que indica que se trabaja en un rango acotado, más aún, todos los valores son relativamente cercanos a 1 g/cc, lo que corresponde a la densidad del agua. Es importante que este parámetro sea relativamente bajo ya que al aumentar de forma excesiva este parámetro la velocidad de flotación se vería afectada, típicamente los problemas de alta densidad de pulpa se presentan en las etapas iniciales, sin embargo, en este caso los valores relativos a las etapas *Rougher* y 1° limpieza no son elevados, si bien es cierto al existir un porcentaje de sólidos elevados la densidad de pulpa debería aumentar sin embargo al ser baja la gravedad específica de las muestras este parámetro se mantiene realmente bajo. Los valores correspondientes al segundo muestreo son concordantes con los expuestos anteriormente por lo que se verifica lo antes descrito. El detalle de los datos obtenidos y los errores se presentan en Anexos E.



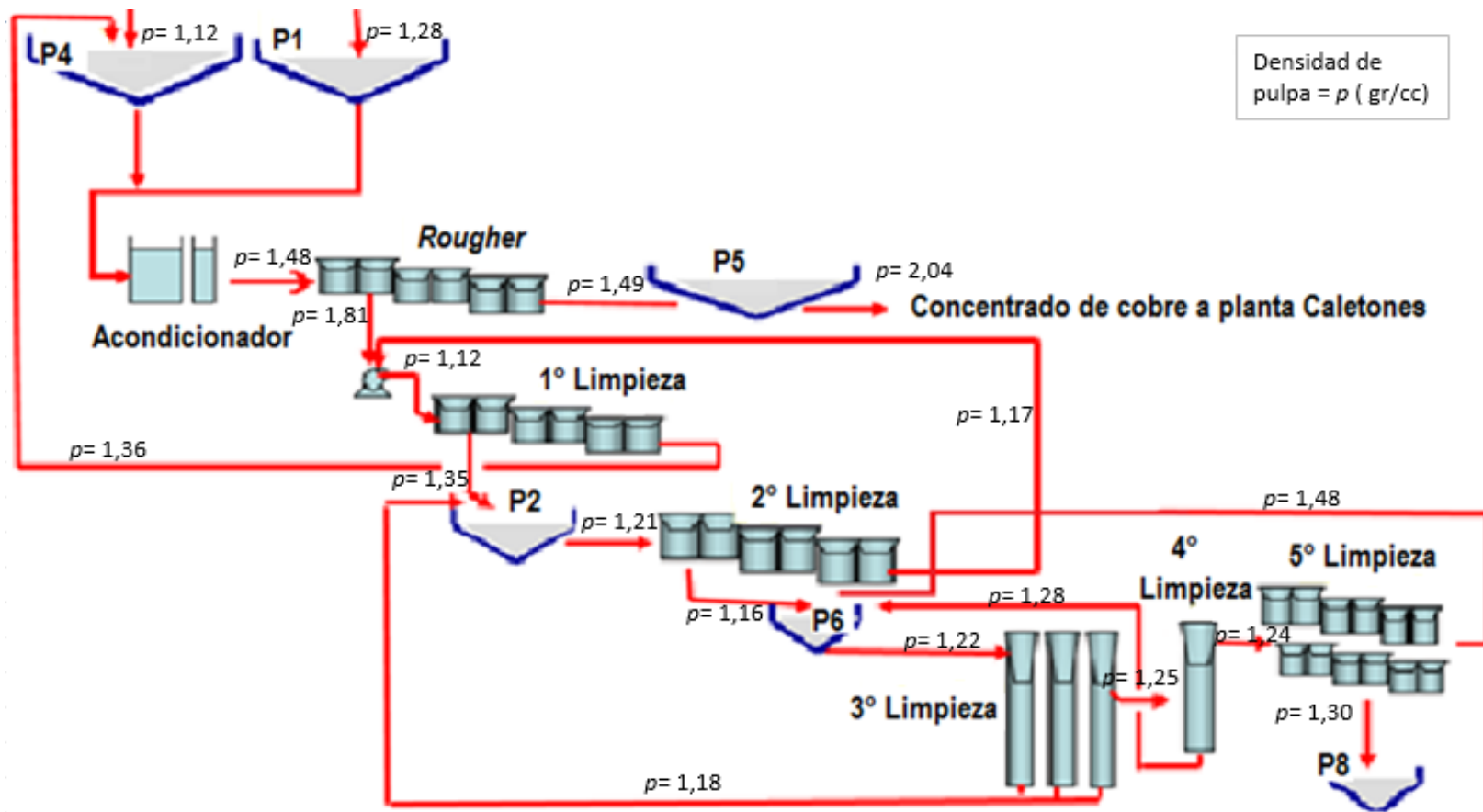


Figura 28: Diagrama de flujo con la densidad de pulpa en cada uno de los puntos muestreados.

## **g. Conductividad**

La conductividad es una medida de la carga iónica de la solución acuosa de la pulpa. Se observa que en términos generales las muestras aguas arriba del proceso, presentan una mayor conductividad, esto debido a que los reactivos son incorporados en estas etapas y por lo tanto se presenta mayor carga, ocurriendo la disolución de reactivos. En las etapas correspondientes a los procesos finales esta baja debido, en parte, a la incorporación de agua de proceso incorporada en las etapas de 3° y 4° limpieza, donde ocurre la dilución de estos, lo cual es favorable debido a que a menor conductividad existe mayor oportunidad de adsorción del reactivo con la especie mineral. La Figura 29 resume los resultados de conductividad obtenidos. Los valores descritos y los errores se muestran en la Anexos E.

Al comparar los datos con los realizados en el segundo muestreo, no se aprecian diferencias realmente considerables por lo que los datos son consistentes. El detalle se presenta en Anexos E.

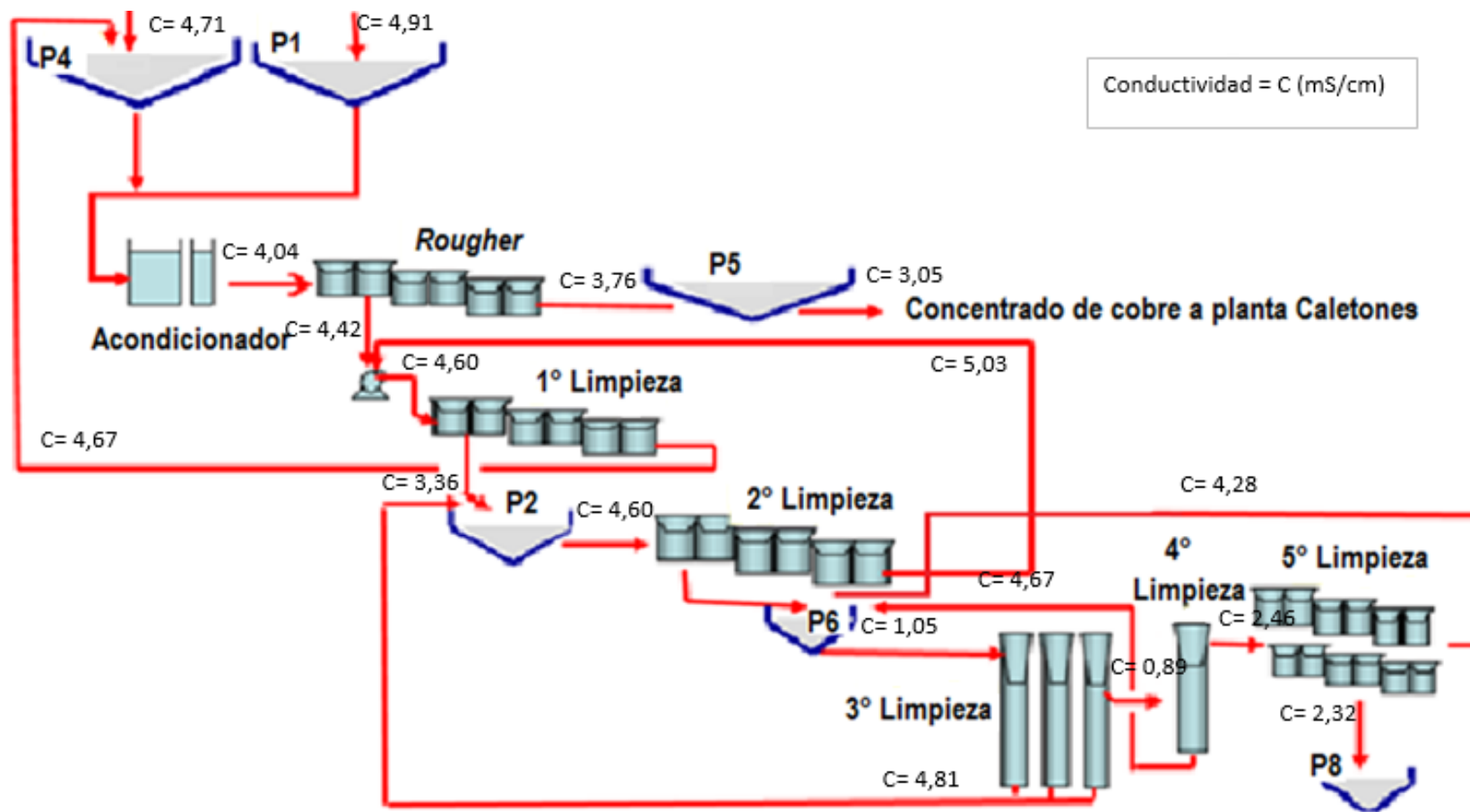


Figura 29: Diagrama de flujo con la conductividad en cada uno de los puntos muestreados.

## h. Granulometría

El tamaño considerado como fino, es aquel inferior a  $44 \mu\text{m}$  (#325). La Figura 30 presenta de forma esquemática el porcentaje que se encuentra bajo  $44 \mu\text{m}$  en cada una de las muestras. La Figura 31 muestra la granulometría obtenida en las muestras analizadas

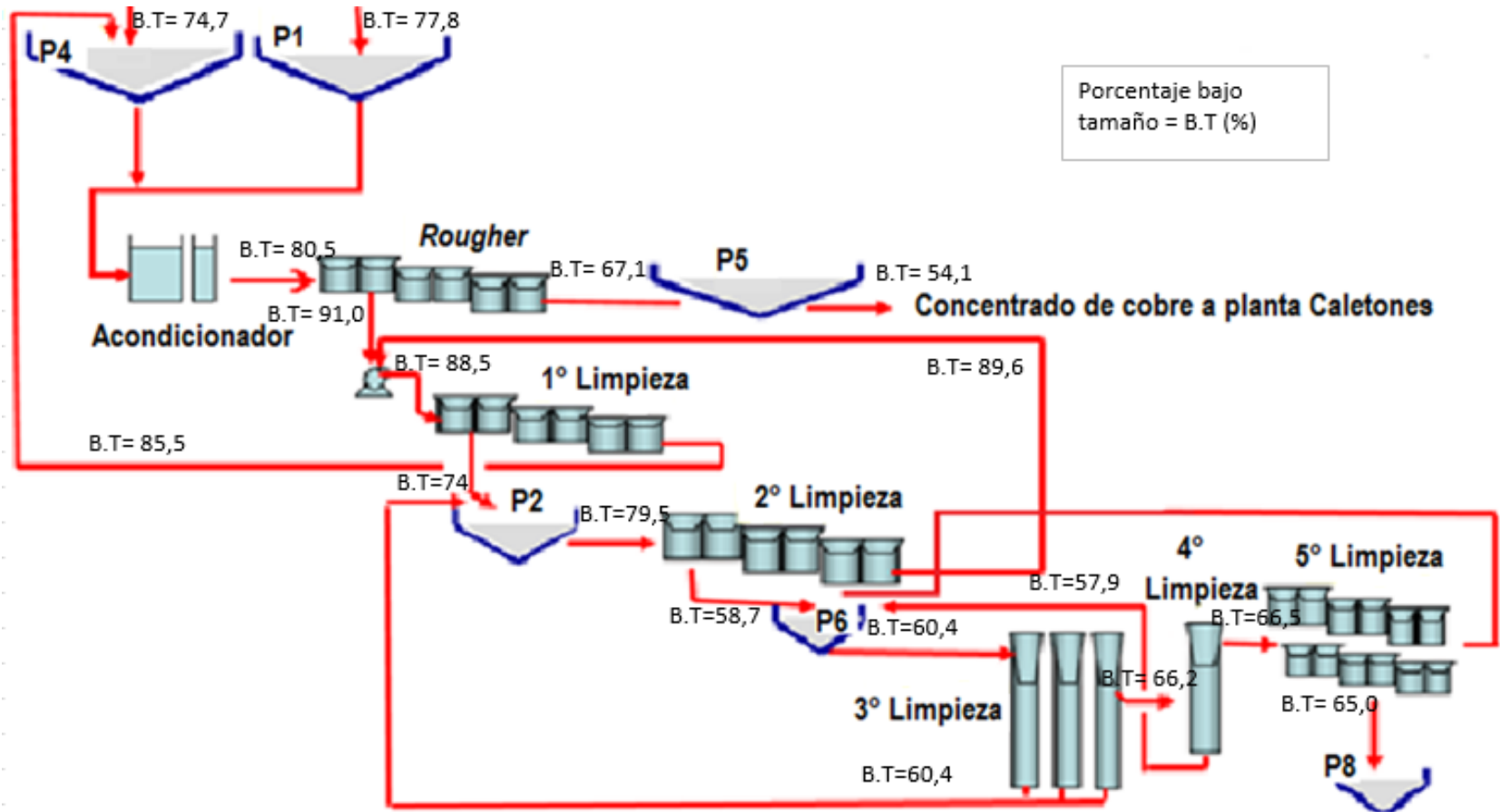
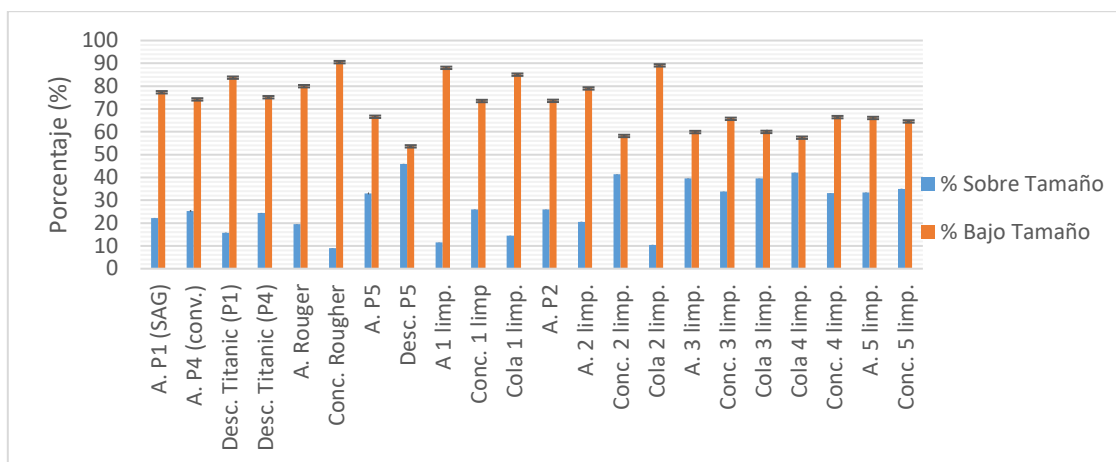


Figura 30: Diagrama de flujo con el porcentaje bajo tamaño en cada uno de los puntos muestreados.



**Figura 31: Granulometría tomada en el muestreo general de la planta selectiva de molibdeno, incorporando el error estimado para las muestras.**

En la Figura 31 se ve claramente la predominancia de material ultrafino, más aún un 43,5% de las muestras presenta un porcentaje de finos mayor al 70%, mientras que todas las muestras presentan un contenido de ultrafinos mayor al 50% del total. Es importante destacar que, para el caso del mineral clasificado como grueso, menos del 1% es mayor a  $250 \mu m$  en 13 de las 23 muestras, siendo el porcentaje del concentrado de la primera limpieza el que alcanza el mayor valor, llegando a un 29,74%. Lo anterior indica que se trabaja en un rango mayoritariamente fino, debido probablemente a que la etapa de molienda se realiza con la finalidad de optimizar la máxima liberación (recuperación) del cobre y no de la molibdenita. Como el mineral es prioritariamente menor a  $44 \mu m$ , para aumentar la recuperación sería necesario aumentar el *holp up* de gas, lo cual puede ser logrado con una mejor mantención de los aspersores de gas y/o aumentando el flujo gas que ingresa a la celda. Otro factor a considerar es que el porcentaje bajo tamaño es mayor en las etapas iniciales que en las finales, lo cual no concuerda con el hecho de que la molibdenita es un mineral de menor dureza que la calcopirita y por lo tanto debería ser más fino, en este caso se especula que el mineral de molibdeno estaría aglomerándose, lo que podría ocurrir debido que en las etapas iniciales la conductividad es mayor. El detalle de la granulometría entregada por malla se presenta en Anexos E.

Al analizar los datos estos son concordantes con lo obtenido en el muestreo específico a las columnas, sin embargo, en este caso se realizó el estudio de distribución de leyes según granulométrico debido a que el porcentaje de mineral es mayoritariamente fino, donde todo el material correspondiente a las muestras de la 3° y 4° limpieza que está bajo  $440 \mu m$ , es separado en ciclones, para realizar análisis químicos y determinar la ley de cobre, molibdeno en cada una de las muestras obtenidas. Sin embargo, en términos generales no se observa una granulometría donde exista una presencia preponderante de un mineral sobre otro, en consiguiente el porcentaje de cobre o molibdeno en cada una de las mallas queda determinada por el tipo de muestra analizada y no por la granulometría de estos. El detalle de los valores obtenidos y los gráficos respectivos se presentan en Anexos E.

## 2. Análisis teórico de la recuperación global

Los resultados del análisis teórico se presentan desde la Figura 32 a la Figura 37, donde se incluye el punto actual de operación (en rojo) de recuperación para cada una de las etapas. En base a la Figura 32 se visualiza que las variaciones de la recuperación metalúrgica global aumentan a medida que la recuperación de la etapa en particular aumenta. En este sentido realizar incrementos en la recuperación individual de esta etapa trae consigo un beneficio extra al proceso en general. Se debe considerar que en todo el tramo evaluado (desde 0% a 100% de recuperación *Rougher*), la pendiente es positiva y por lo tanto siempre que se aumente la recuperación se obtendrán mejores resultados a nivel global.

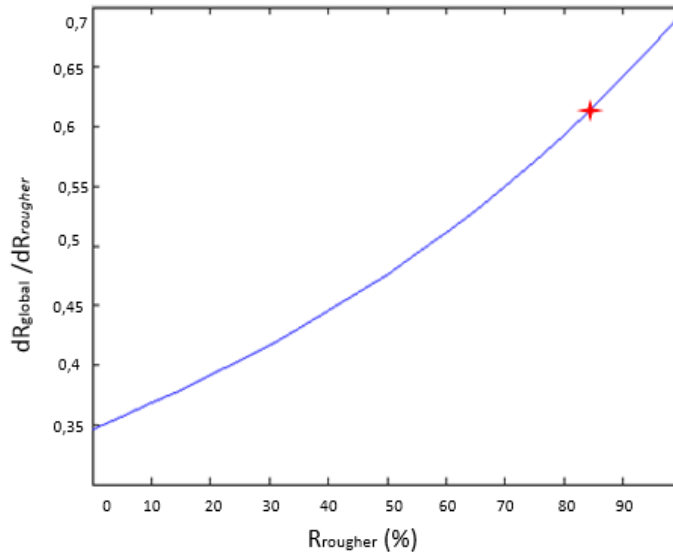
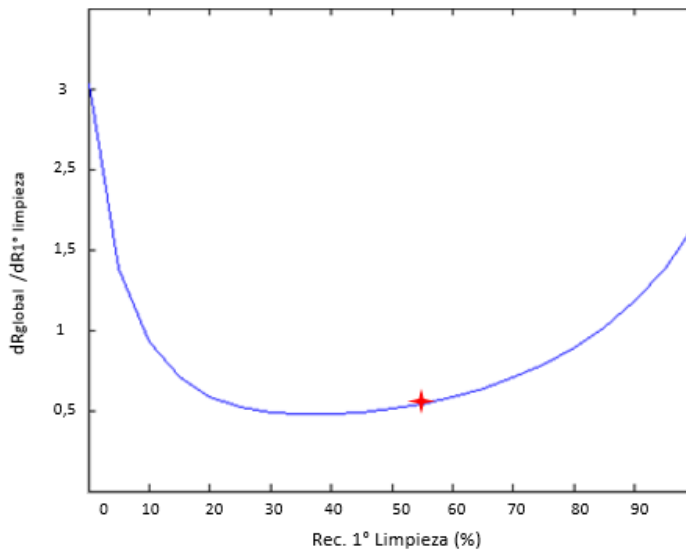


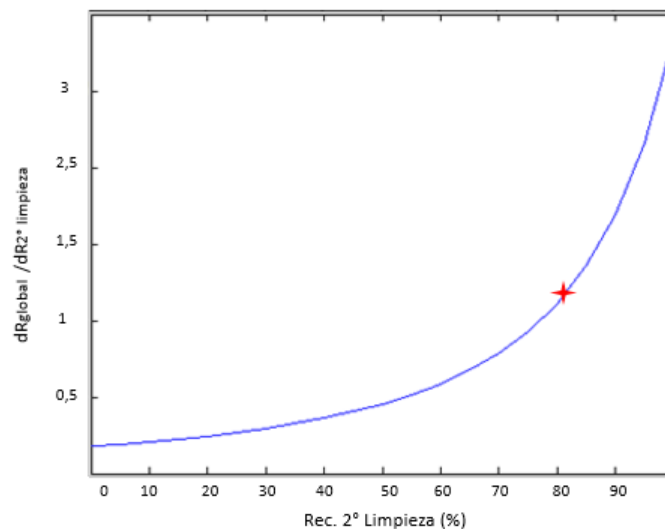
Figura 32: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación *Rougher*.

Con respecto a la variación de la recuperación global con respecto a la recuperación de la primera limpieza, expuesta en la Figura 33 los valores de variación de recuperación global máxima se obtiene para una recuperación de la etapa cercana a 0%, más aún en el tramo correspondiente a una recuperación entre 0 a 30% aproximadamente se tiene una pendiente negativa, es decir que, un aumento en la recuperación individual de dicha etapa trae consigo variaciones negativas en la recuperación global del proceso. Sin embargo, luego de alcanzar este límite, la variación se torna constante para comenzar a aumentar una vez alcanzado un 60% de recuperación en la primera limpieza. Si se considera que la recuperación metalúrgica obtenida en dicha etapa es de aproximadamente un 55%, se obtiene que incrementar los esfuerzos por subir la recuperación en la primera limpieza, si trae cambios beneficiosos de forma global.



**Figura 33: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 1º Limpieza.**

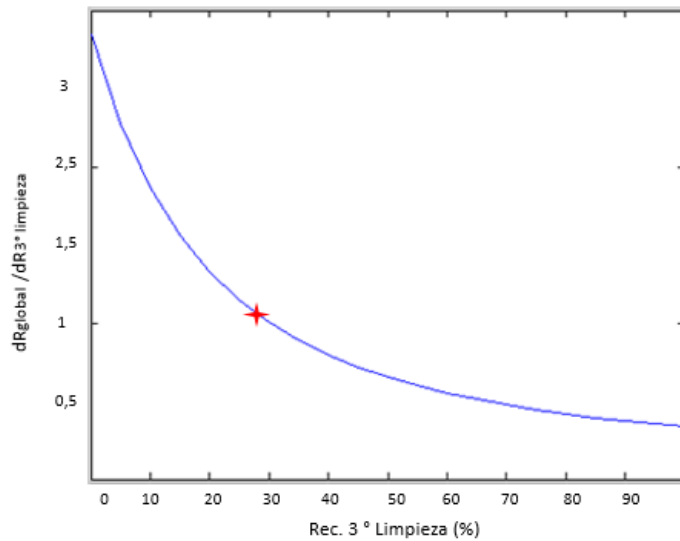
La Figura 34 muestra al igual que lo ocurrido en el caso analizado para la etapa de flotación *Rougher*, que a medida que se aumenta la recuperación en esta etapa las variaciones en la recuperación global aumentan de forma notoria, es más, en este caso se llega a valores notoriamente mayores que para el caso *Rougher*. Por lo que un esfuerzo en el incremento de la recuperación en la segunda limpieza, conlleva a un aumento en la variación de la recuperación global de forma importante, considerando además que no existen intervalos en donde la pendiente sea negativa y por lo tanto un ascenso puntual siempre entregarán mejores resultados globales. En términos de la recuperación en esta etapa, el valor obtenido está sobre el 80% y por lo tanto se trabaja en el tramo en donde la curva se torna más cercana a la vertical, por lo tanto, pequeñas modificaciones traerán consigo mejoras notorias en el proceso global, al ser esta curva la de mayor pendiente.



**Figura 34: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 2º Limpieza.**

Hasta el momento sólo se han mostrado resultados en base a celdas convencionales, sin embargo, la Figura 35 muestra como varia la recuperación global con respecto a la recuperación en la tercera limpieza, la cual corresponde a la primera etapa que opera con celdas columnares. En

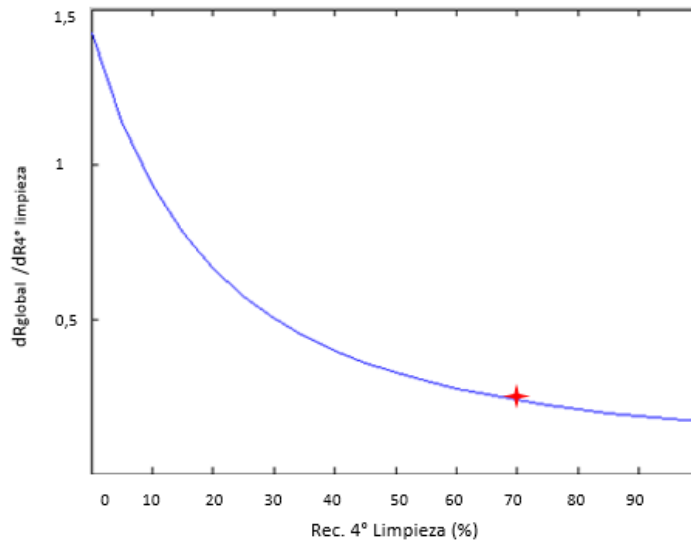
este caso se tiene una pendiente negativa en todo momento, es decir, al aumentar la recuperación de la etapa en sí, las variaciones de la recuperación global serán cada vez menores y por lo tanto incurrir en demasiados esfuerzos por levantar la recuperación en esta etapa no trae cambios importantes en el proceso general. Esto se debe entre otras cosas a que, al existir recirculaciones en el proceso, la recuperación global queda en función de estas y al sacar la derivada de la misma, la ecuación puede arrojar una pendiente negativa para los valores con los que se está evaluando la ecuación (valores de las recuperaciones obtenidos desde el balance de masa), sin embargo el factor de mayor relevancia es la medida de cambio de la recuperación global frente a las recuperaciones por etapas, por lo que esto es lo que se debe considerar en mayor medida. Es importante notar en este caso que la recuperación de esta etapa obtenida por medio del balance de masa es bastante bajo, sin embargo, desde ese rango en adelante la curva comienza a tornarse constante y por lo tanto no representa una gran ganancia para el proceso en general aumentar esta recuperación.



**Figura 35: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 3° Limpieza.**

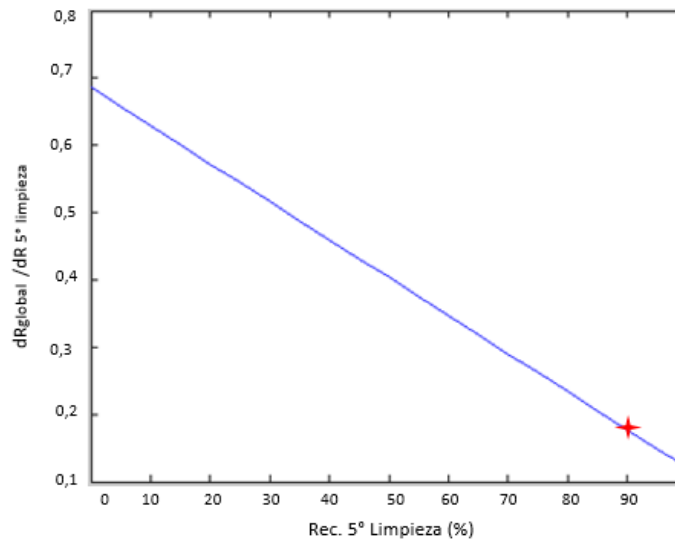
La Figura 36 corresponde a la segunda etapa operada por columnas, la cual recibe de forma directa el concentrado entregado por la etapa anterior, donde la pendiente es negativa en todo el rango evaluado, por lo que, si se considera esta etapa de forma puntual dentro de todo el proceso, esta no genera variaciones positivas de gran magnitud. Más aún, las variaciones en la recuperación global tenderán a ser aún menores, al ser esta de menor pendiente que 3° limpieza.





**Figura 36: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 4° Limpieza.**

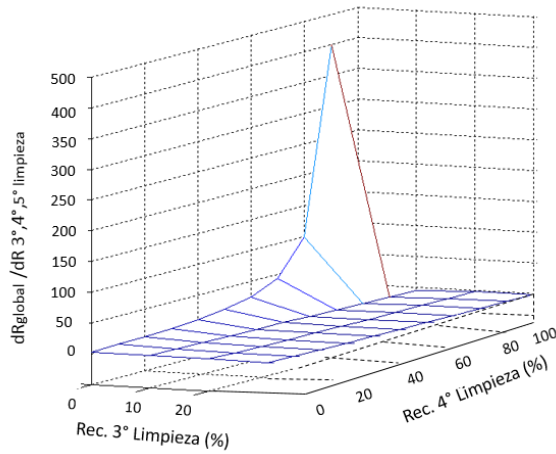
La Figura 37 corresponde última etapa del proceso de flotación selectivo de molibdeno (quinta limpieza). En este caso la pendiente es negativa al igual que las dos etapas anteriores, lo que se debe a que, aguas abajo aumentar la recuperación de un producto que presenta menor proporción de ganga es más dificultoso y por lo tanto es de esperar que incrementos en esta etapa no logren mejorar los resultados del proceso global. En este caso la pendiente es mayor al de las etapas de 3° y 4° limpieza por lo que se esperaría que tuviese mayor influencia que las otras dos en la variación de la recuperación global.



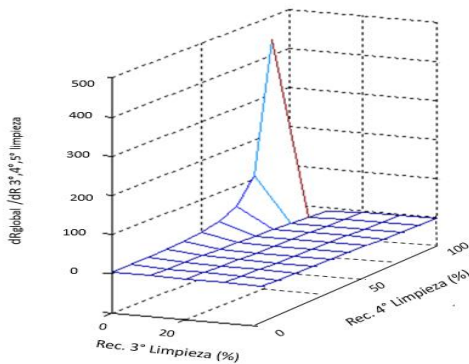
**Figura 37: Variación de la recuperación global con respecto a la recuperación 5° Limpieza.**

Para finalizar se evalúa la variación de la recuperación global con respecto a la últimas tres etapas para determinar si estas en conjunto producen cambios positivos en la recuperación global. Desde la Figura 38 a la Figura 40 se muestra lo expuesto anteriormente, es este caso la variación en la recuperación de la 3° limpieza no genera ningún cambio, por lo que el grafico solo se muestra hasta una recuperación de un 20%, sin embargo, si existe una variación positiva en la recuperación global al evaluarse las tres etapas en conjunto, sobre todo después de que la 4° limpieza ha superado

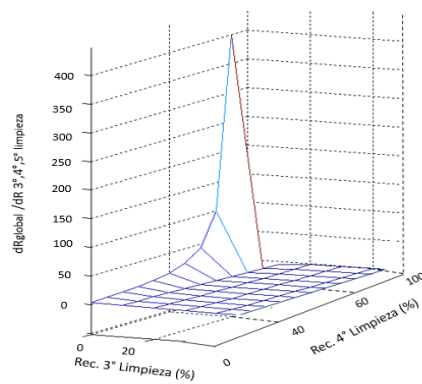
el 60%. Esta etapa es la que posee mayor potencial para elevar la recuperación global, mientras que, un aumento o disminución en la 5° limpieza de un 10% no produce casi ningún cambio.



**Figura 38:** Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 89,8% (punto de recuperación actual).



**Figura 39:** Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 80,8%.



**Figura 40:** Variación de la recuperación global con respecto a la 3°, 4° y 5° limpieza evaluando la 5° limpieza en 98,8%.

En términos generales el límite de las variaciones de la recuperación global puede estar dada por factores externos como, por ejemplo, la altura de la espuma, el funcionamiento de las celdas, el flujo y la dispersión de aire al interior de las celdas, etc. Sin embargo, se puede destacar que para el caso de las etapas iniciales aumentar la recuperación de dichas celdas traerá mayores beneficios en la recuperación global del proceso, que realizarlo en las etapas aguas abajo.

### 3. Caracterización de columnas presentes en el circuito de flotación

#### 3.1 Caracterización de la dispersión de gas y estimación de la carga de burbujas

La caracterización de los parámetros de dispersión de gas y tamaño de burbujas requiere de un análisis de imágenes, el cual se realiza con ayuda del programa *Empix Northen Eclipse*. En base a dichos resultados y datos tomados desde la sala de control de la planta de operaciones, se pueden obtener diversos parámetros que ayudan a caracterizar la dispersión de gas al interior de la celda, para poder obtener un mayor conocimiento del funcionamiento de estas.

Para cada una de las celdas analizadas se realiza el ajuste en base a la presión atmosférica, para las celdas 6 y 3 el cálculo es muy similar ya que el nivel de llenado de la cámara al momento de realizar las mediciones es prácticamente el mismo. El volumen total de la cámara es de 7 L y el nivel de llenado tanto para las celdas 3 y 6 es de 5,75 L a diferencia del análisis realizado en la columna 4 donde el nivel alcanzado es de 6,13 L.

El flujo volumétrico de gas ( $J_g$ ) corresponde a la velocidad superficial de gas, el cual representa el flujo de aire inyectado a las celdas de flotación, normalizado por la sección transversal de esta, por lo que es posible comparar los flujos de aire de celdas de diferente tamaño. La obtención de este parámetro se logra en base al aire inyectado a cada una de las columnas dividido por la sección transversal de estas, la que equivale a  $3,35 \text{ m}^2$ . en este caso todas celdas poseen las mismas dimensiones, por lo que el área se mantiene para los 3 casos. La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos, los cuales fueron tomados el mismo día del muestreo:

**Tabla 10: Velocidad superficial de gas medido en las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	Flujo aire ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$J_g$ global (cm/s)
Columna 3	0,058	1,74
Columna 4	0,060	1,79
Columna 6	0,061	1,82

Como la columna 3 y 4 procesan el mineral de la 3° limpieza en paralelo, tienden a ser un poco menor al utilizado para el caso de la columna 6, la que procesa toda la pulpa correspondiente a la cuarta etapa de procesamiento, por lo que el flujo de aire inyectado es levemente mayor. Aunque lo anterior corresponde al flujo volumétrico de gas al interior de la celda, este también puede ser medido al interior de la cámara de visualización, donde ahora el área que se utiliza corresponde al de la sección transversal del tubo utilizado, con un diámetro de 0,052 m. El error en la obtención de  $J_g$  es aproximadamente de un 14%, lo que se interpreta como un mismo valor de  $J_g$  local y global para todas las celdas. Los detalles del  $J_g$  local se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Velocidad superficial de gas medido de forma local en la cámara de visualización para las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	Flujo de aire ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$J_g$ local (cm/s)
Columna 3	0,44	2,07
Columna 4	0,38	1,8
Columna 6	0,33	1,55

Otro factor de relevancia es la velocidad superficial de área de burbuja ( $S_b$ ) el cual es descrito por la Ecuación 13. En base a los valores de  $J_g$  para cada una de las columnas y a los

valores de  $d_{32}$  se obtienen los resultados de  $S_b$ . El error en la obtención de este parámetro es de alrededor de un 14%, ya que las fluctuaciones para  $d_{32}$ , son menores al 1%, con lo que los datos obtenidos de  $S_b$  podrían alcanzar valores de mayor magnitud, ya que son bajos con respecto a lo reportado en la literatura. Los resultados se exponen en la Tabla 12:

**Tabla 12: Velocidad superficial de área de burbuja.**

	$d_{32}$ (mm)	$S_b$ ( $s^{-1}$ )
Columna 3	4,19	24,92
Columna 4	3,77	28,01
Columna 6	3,79	28,81

Los diámetros característicos  $d_{10}$ ,  $d_{21}$  y  $d_{32}$  se materializan a partir de la base a los datos de burbujas obtenidas en el procesamiento de imágenes. Para este punto se utiliza la base de datos que ha eliminado las anómalas; obteniéndose los datos de burbujas “validadas” por el test de *outliers*. Para la evaluación de estos parámetros se emplean desde la Ecuación 9 a Ecuación 11. La Tabla 13 muestra los resultados entregados para cada una de las columnas, ya corregidos por la presión atmosférica.

**Tabla 13: Diámetros característicos  $d_{32}$ ,  $d_{21}$  y  $d_{10}$  obtenidos del análisis realizado a las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación de molibdeno.**

	$d_{32}$ (mm)	$d_{10}$ (mm)	$d_{21}$ (mm)
Columna 3	4,19	2,09	0,08
Columna 4	3,77	1,93	0,85
Columna 6	3,79	1,87	0,87

La distancia Euleriana entre los valores  $d_{10}$  -  $d_{21}$  expresada como  $d_1$  y  $d_{21}$  -  $d_{32}$  expresada como  $d_2$  junto al promedio de estas se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14: Distancia Euleriana entre  $d_{10}$  -  $d_{21}$ ,  $d_{21}$  -  $d_{32}$  y distancia promedio de estas para las 3 columnas de flotación analizadas.**

$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$d_{promedio}$ (mm)
2,01	4,11	3,06
1,08	2,92	2,00
1,00	2,92	1,96

La columna 3 es la que presenta menor uniformidad de tamaño de burbujas al ser las distancias Eulerianas y promedios ( $d_1$  y  $d_2$ ) mayores que para el caso de las otras dos columnas, por lo que se observa menor heterogeneidad de tamaño, siendo la columna 4 de la mayor heterogeneidad.

La carga de burbuja, resulta de la división de la masa de mineral recuperado desde la cámara de visualización por el volumen de gas presente en la celda, destacando que dicho volumen corresponde al restante de la cámara, sin considerar el volumen de las burbujas por ser este despreciable en comparación al gas de la celda. Los resultados de este análisis entregan valores de carga de burbuja de 7,2, 9,77 y 5,52 g/L, para la columna 3, 4 y 6 respectivamente, sin embargo, según lo reportado por Yianatos y Concetreras (2013), este parámetro debe ser al menos cercano a 24 g/L, por lo que se aumenta en 3 los valores obtenidos con el fin acercarse a lo reportado, aunque estos siguen siendo bajos.

**Tabla 15: Carga de burbuja, para cada una de las columnas de la planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	Volumen gas (L)	Mineral (g)	Carga de burbuja (g/L)
Columna 3	1,25	9,0	21,6
Columna 4	0,87	8,5	21,3
Columna 6	1,25	6,9	16,6

Los valores obtenidos para la recuperación de espuma ( $R_f$ ) y la recuperación en la zona de colección ( $R_c$ ), se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16: Recuperación de espuma y recuperación en la zona de pulpa.**

	$R_f$ (%)	Recuperación por etapas (%)	$R_c$ (%)
Columna 3	6,88	52,01	94,03
Columna 4	3,74		96,67
Columna 6	8,40	33,28	85,59

Los valores de recuperación de espuma, muestran que la columna 6 es la que posee el valor más elevado, seguido por la columna 3 por lo que se puede considerar que existe más mineral que se está recuperando por arrastre en dichas celdas. En términos de la recuperación en la zona de colección ( $R_c$ ), estos valores bastante altos, lo que implica que las partículas si estarían siendo flotadas por medio de la adhesión a las burbujas y en consiguiente la flotación por arrastre no sería preponderante, en ninguna de las columnas.

Las columnas 3 y 4 son las que presentan mayor carga de burbuja y por lo tanto es esperable que la recuperación de pulpa también sea elevada, lo cual indica que las burbujas si están recuperando el mineral de interés y por lo tanto existe una alta recuperación en esa zona, sin embargo, el valor de  $d_{32}$  para estos casos debería ser bajo lo cual se contradice para el caso de la columna 3.

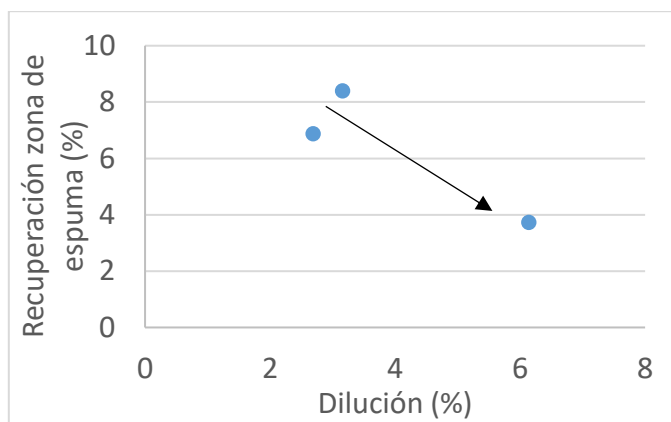
Los resultados de las leyes tomadas desde la zona superior de la espuma de las celdas (*Top of Froth*), deberían indicar una ley mayor a los resultados obtenidos en las muestras de los concentrados de estas, ya que es la ley más alta que se puede esperar de una muestra de las columnas, alcanzada en el tope de la espuma; lo cual marcaría el límite en la ley esperada. Los valores para cada una de las celdas se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17: Valores promedios de *Top of Froth* tomados en todas las columnas 3, 4 y 6 de la planta de flotación selectiva de molibdeno.**

Etapa	Equipo	Mo-total <i>Top of Froth</i> (%)	Mo-total conc. (%)	Diferencia (%)	
3° Limpieza	Columna 3	35,12	32,43	2,69	
	Columna 4	38,57	32,43	6,14	
4° Limpieza	Columna 6	44,9	41,74	3,16	

Se ve de forma clara el incremento de la ley de Mo desde la columna 3 y 4 a la columna 6. Para el caso de la columna 4 esta es la que presenta una mayor diferencia de leyes (ley *Top of Froth* vs ley de concentrado), por lo que esta celda podría ser la con mayor dilución, bajo este punto de vista aumentar el nivel de espuma ayudaría a aumentar la ley en dicha celda, además al comparar estos resultados con el análisis mineralógico de dicha columna se aprecia que esta posee un mayor porcentaje de cobre que las otras dos celdas.

Al comparar los resultados de la recuperación en la zona de espuma con los obtenidos de la diferencia de la ley de *Top of Froth* con la ley en el concentrado, se observa que la columna 4 es la que presenta menor recuperación en dicha zona y mayor dilución, lo concuerda además con el hecho de que es esta columna la que presenta el mayor contenido de cobre en el concentrado, según el análisis mineralógico *QESMCAN*, el cual se detalla en el siguiente párrafo. La Figura 41 muestra a grandes rasgos la tendencia observada, donde a mayor dilución, menor es la recuperación en la zona de espuma.



**Figura 41: Recuperación en la zona de espuma versus dilución.**

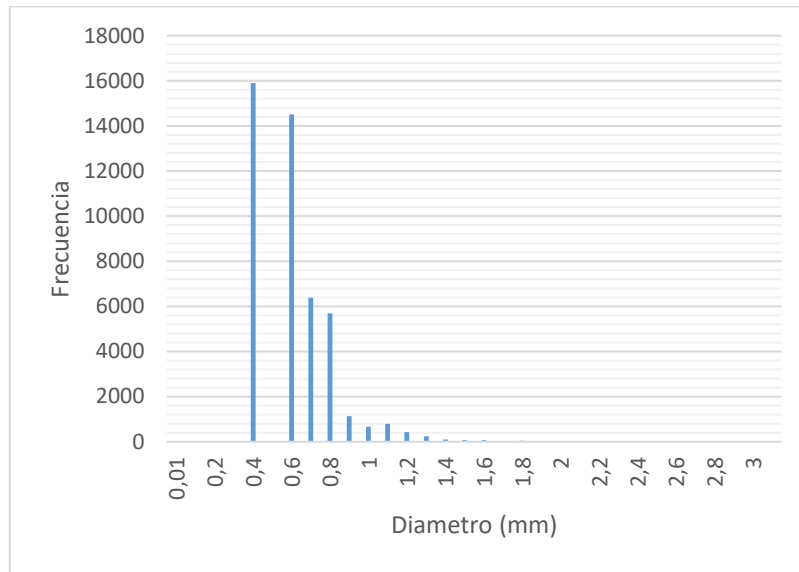
Del análisis realizado por equipo *QESMCAN* se tiene que en relación a las especies minerales en las columnas la molibdenita y la calcopirita, son las de abundancia, aunque esta última solo alcanza un máximo de 9,1%, mientras que la molibdenita es la de mayor abundancia llegando a un 83,6% del total, lo que es satisfactorio al considerar que se está trabajando con muestras pertenecientes a etapas de flotación finales. En cuanto a los elementos de abundancia es lógico pensar que el molibdeno, cobre, azufre y fierro son los de abundancia al ser estos los que constituyen dichos minerales, lo cual se corrobora con el análisis realizado, donde el molibdeno alcanza un 50,1%, seguido por el azufre con un 36,8% y cobre y fierro con menos de un 3% (máximos para las tres muestras analizadas).

En relación al grado de liberación de las especies se puede decir que la molibdenita está casi toda liberada, sobre todo para la muestra de la columna 6 y 4, siendo la de la columna 3 la más baja, sin embargo, la ley de cobre en esta muestra es la más baja por lo que la flotación por arrastre en la columna 3 debería ser menor al menos que al compararla con la columna 4, donde la ley de molibdenita es menor, sin embargo, en esta última se encuentra más liberada, esto también se puede deber a que en esta etapa la molibdenita está asociada en mayor proporción con la calcopirita. En relación a la columna 6 esta procesa el producto de flotación de las otras dos, lo que concuerda con los resultados obtenidos, es decir, mayor ley de molibdeno y molibdenita, pero también se observa un aumento en la ley de cobre, lo cual no es satisfactorio debido a que el concentrado se encuentra con más impurezas que el de la etapa anterior (columna 3) por lo que es recomendable aumentar el nivel de espuma de esta etapa para limpiar el concentrado. Un factor importante a considerar es que el concentrado de la columna 4 tiene una ley de cobre alta (en comparación a las otras dos), por lo que el alto porcentaje de este en la columna 6 se puede deber a una alimentación ya contaminada con contenido de cobre, porque lo que para mejorar el concentrado de esta columna es importante generar un concentrado más limpio en la columna anterior.

En relación a la distribución del tamaño de burbujas, se aprecia que aquella con mayor fineza (estreches de la distribución), es la columna 3 donde los diámetros de burbujas son en su mayoría cercano a la moda, a diferencia de la columna 4 y 6 donde se aprecia menor fineza y por lo tanto se encuentra un mayor rango de diámetros de burbuja.

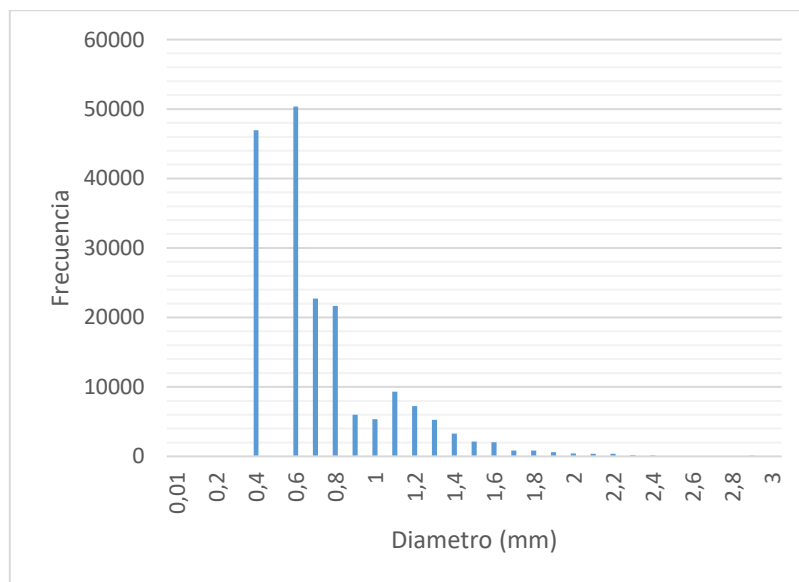
En particular se puede ver que para el caso de la columna 3 un 94,44% de las burbujas es menor a 1 mm de diámetro, mientras que sólo un 0,05% es mayor a 3 mm. Se puede decir que la distribución es bimodal centrada en 0,4 y 0,6 mm lo que permite dilucidar que se está trabajando con burbujas en un rango bastante pequeño, esto es satisfactorio si se considera que la mineralogía

también está mayoritariamente en un rango inferior a la #325. En base a esto se puede decir que la dispersión de gas dentro de la celda es llevada a cabo de forma óptima, logrando diámetros pequeños que permiten mayor área y por lo tanto una mejor eficiencia. La distribución del tamaño de burbujas en la columna 3 queda expuesto en la Anexos F.



**Figura 42: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 3.**

Para el caso de la columna 4, esta posee un 78,71% de las burbujas menores a 1 mm de diámetro, lo cual es un porcentaje menor a lo analizado en la columna 3, por lo que la dispersión de gas puede ser mejorada al menos para alcanzar los niveles de su celda paralela y por lo tanto se debe rescatar que la mantención de los dispersores de gas en este caso, podría no ser la más óptima. En este caso y al igual que el anterior existe una distribución bimodal con centros en 0,4 y 0,6 mm, no obstante, la frecuencia para los diámetros de 0,7 y 0,8 mm también se muestran elevados. La distribución de tamaño de burbuja queda expuesta en Anexos F.



**Figura 43: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 4.**



La columna 6 en cambio presenta un 79,5% de las burbujas con diámetro inferior a 1 mm, en relación al porcentaje que supera los 3 mm esta posee un 0,22% sobre este diámetro, lo cual deja en evidencia que se podría disminuir el diámetro de las burbujas con una mejor mantención, logrando así una mayor carga de burbuja, la cual es notoriamente inferior a las otras dos columnas. Otro factor a considerar en este caso es la altura de espuma, la cual suele ser mayor en esta celda que en las otras dos, por lo que se tiene una menor zona de colección de partículas. Esto estaría relacionado con la menor carga de burbuja al verse disminuido el tiempo de contacto. En este caso se trata de una distribución cuatrimodal con centros en 0,4, 0,6, 0,7 y 0,8 mm. La distribución del tamaño de burbujas se presenta en Anexos F.

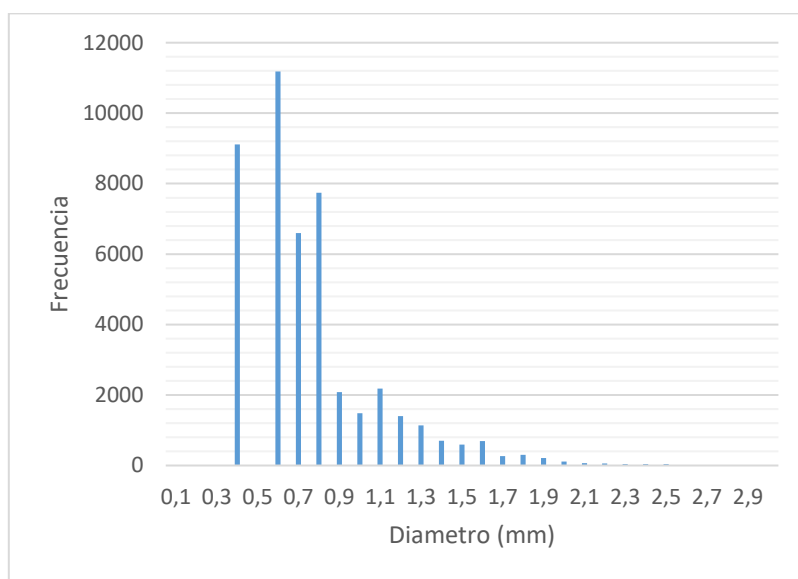


Figura 44: Distribución del diámetro de burbujas para la columna 6.

### 3.2 Estudio exploratorio de balance de masa de reactivo

El análisis de espectrometría se realiza con el fin de poder comparar las muestras individuales o mezclas, con los resultados obtenidos de las muestras tomadas directamente desde la planta. Los espectros son analizados en términos de absorbancia y longitud de onda entre otros. Los errores de las curvas de absorbancia se presentan en la sección de Anexos F.

#### 3.2.1 Espectrometría reactivos individuales

Las absorbancias, absorptividades para la longitud de onda que minimiza el error se presenta en la Tabla 18, mientras que los resultados para el espectro completo se presentan en Anexos F.

**Tabla 18: Absorbancia, Absortividad, longitud de onda que minimiza el error y error incurrido para el NaSH, Tiofos, Kerosene y ácido sulfúrico, para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml.**

		1 (ml)	2 (ml)	3 (ml)	5 (ml)	Longitud de onda (nm)	Error (%)
NaSH	Absorbancia	0,22	0,43	0,62	1,02	208	0,88
	Absortividad	16,77	16,80	16,48	16,74		
Tiofos	Absorbancia	0,09	0,24	0,32	0,49	196	11,37
	Absortividad	7,58	10,00	8,92	8,57		
Kerosene	Absorbancia	20,1	4,25	2,26	1,18	221	127,6
	Absortividad	20,1	4,25	2,26	1,18		
Ácido sulfúrico	Absorbancia	0,04	0,06	0,09	0,10	222	23,12
	Absortividad	2,10	1,67	1,57	1,18		

Para el NaSH la concentración del reactivo en la muestra, es de 0,013, 0,025, 0,038 y 0,06 g/L para 1, 2, 3 y 5 ml del reactivo respectivamente. La Figura 45 muestra el espectro completo, notándose el aumento de la absorbancia al incrementar la concentración del reactivo en la solución. Además, la banda crece notoriamente alrededor de los 200 nm para después de los 300 nm caer completamente.

Del análisis realizado a las muestras de Tiofos para 1, 2, 3 y 5 ml se obtiene una concentración de 0,012, 0,024, 0,036 y 0,058 g/L respectivamente. Los resultados de absorbancia y absortividad para dicha longitud de onda se presentan en la Tabla 18 mientras que el espectro completo se muestra en Anexos F. La Figura 46 muestra el espectro completo, notándose que la absorbancia se ve incrementada a medida que la concentración también aumenta, independiente de la longitud de onda que se esté visualizando. Además, la banda incrementa de forma notoria alrededor de los 200 nm para después de los 400 nm caer completamente.

Las concentraciones obtenidas para las muestras de kerosene son de 0,008, 0,016, 0,023 y 0,038 g/L para 1, 2, 3 y 5 ml respectivamente. En este caso el coeficiente de variación es elevado en todo el rango, por lo que, para encontrar la longitud de onda que mejor ajuste entrega, se realiza un análisis visual y gráfico de absorbancia versus saturación, donde se determina que la longitud de onda apropiada y por lo tanto la utilizada en los posteriores cálculos es de 221 nm. En Anexos F se muestra el ajuste entregado para dicha longitud. La absorbancia y absortividad en este caso se presenta en la Tabla 18 mientras que los resultados para el espectro completo se presentan en Anexos F. La Figura 47 muestra el espectro completo, donde la absorbancia incrementa a medida que la concentración también aumenta para los casos de 1 y 2 ml de forma evidente. Sin embargo, para los casos de 3 y 5 ml esto no ocurre en todo el rango del espectro, sino más bien existe una tendencia contraria a lo que se esperaría, siendo la banda de 3 ml la que presenta mayor absorbancia comparada con la de 5 ml en la mayoría de los casos. Los errores en la obtención de datos son elevados por lo que las discrepancias pueden deberse a un error asociado. Además, el *peak* en absorbancia se presenta para todos los casos alrededor de la longitud de onda 200 nm, para disminuir posteriormente.

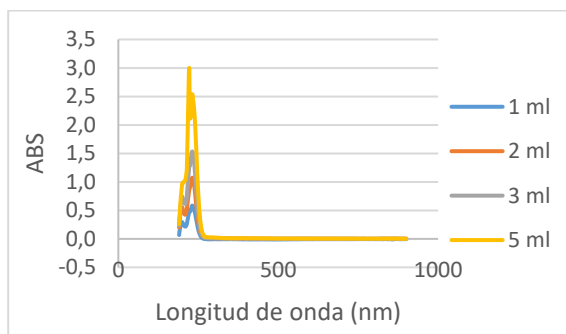
Las concentraciones para el ácido sulfúrico son de 0,02, 0,036, 0,054 y 0,088 g/L para las muestras de 1, 2, 3 y 5 ml respectivamente. Los resultados de absorbancia y absortividad para dicha

longitud de onda se presentan en la Tabla 18, mientras que el espectro completo se muestra en Anexos F. La Figura 48 muestra el espectro completo, donde la relación entre la absorbancia y la concentración no sigue el patrón esperado, es decir, que la absorbancia sea mayor al aumentar la concentración, esto se puede deber a que debido a la presencia de material particulado sólido en las muestras, quedando en evidencia al obtenerse absorbancias negativas, lo que puede haber alterado los resultados.

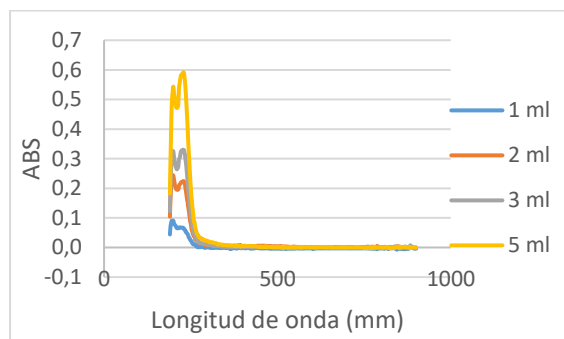
La desviación estándar para cada caso, (utilizados en todas las etapas del circuito de flotación) se muestra en la Tabla 19, destacando que tanto el kerosene como el Tiofos, son aquellos que muestran un porcentaje de variación bastante mayor que los otros reactivos.

**Tabla 19: Desviación estándar de los reactivos analizados de forma individual.**

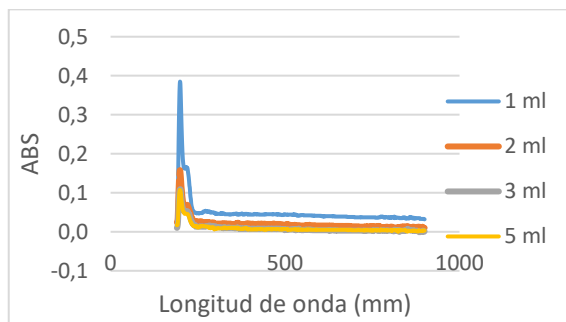
	NaSH	Tiofos	Ácido Sulfúrico	Kerosene
Desv. Estándar	0,45	8,57	0,45	8,87



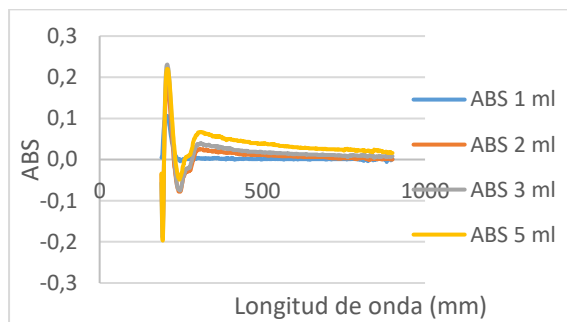
**Figura 45: Espectrometría muestra individual NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 46: Espectrometría muestra individual Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 47: Espectrometría muestra individual de kerosene para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 48: Espectrometría muestra individual ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

### 3.2.2 Espectrometría de mezclas

Para las mezclas el principal propósito es evaluar si éstas, están o no interactuando entre sí, lo cual se logra mediante la combinación de los reactivos individuales en concentraciones determinadas, para poder calcular la absorbancia y la concentración de los reactivos en la mezcla. En base a esto y comparando la absorptividad de la mezcla con la obtenida para las muestras individuales, es que se determina si están interactuando o no. Se debe destacar que el análisis se realiza para las longitudes de onda que minimizan el error del cálculo de absorbancia, como bien

se explicita en la sección anterior. Las absorbancias obtenidas para cada una de las mezclas en todas las longitudes de onda y la concentración de los reactivos en cada una de las mezclas se muestran en Anexos F, para todos los casos evaluados.

Las absortividades de las mezclas para el caso del Tiofos-NaSH, para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 196 nm (Tiofos), se presenta en la Tabla 20. Al comparar estos resultados con los obtenidos anteriormente para las muestras de dichos reactivos, se observa de forma clara la similitud de los resultados para el caso del NaSH, sin embargo, es totalmente disímil para el Tiofos, lo cual lleva a sospechar que dichos reactivos podrían estar interactuando. No obstante, al realizar la prueba NaSH-Tiofos, en donde las concentraciones iniciales de estos en la solución se invierten, se obtienen resultados bastantes acertados. La Tabla 21 presenta las absortividades en dicho caso.

**Tabla 20: Absortividad mezcla Tiofos-NaSH, para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 196 nm (Tiofos), para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Tiofos-NaSH				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3(ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	13,23	15,88	16,55	17,87
Tiofos	51,99	57,67	57,22	50,69

**Tabla 21: Absortividad mezcla NaSH-Tiofos, para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 196 nm (Tiofos), para muestras con una concentración del reactivo de 1, 2, 3 y 5 ml.**

NaSH-Tiofos				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	14,40	14,02	19,32	21,58
Tiofos	13,97	12,50	17,47	18,10

Otro método mediante el cual se puede analizar la interacción entre los reactivos, es comparando la suma de las absorbancias individuales, con los resultados de las absorbancias de las mezclas para los dos casos realizados de forma gráfica. Se debe notar que este estudio se hizo para una determinada concentración (3 ml), de forma ejemplificadora, bajo el supuesto de que se cumple lo mismo para el total de las concentraciones. La Figura 49 muestra las 3 curvas antes mencionadas, notándose que éstas corresponden a la suma de los reactivos individuales, curva Tiofos-NaSH y NaSH-Tiofos. Visualmente se observa que las 3 curvas siguen el mismo patrón, presentan los *peaks* y decaimientos en las mismas longitudes de onda, lo que confirma el hecho de que los reactivos no interactúan entre si y que la alteración de los resultados mostrados en la Tabla 20, se pueden deber a un error neto de laboratorio y manejo de material.

Para la mezcla de Tiofos-ácido sulfúrico, se tienen las absortividades mostradas en la Tabla 22, para una longitud de onda de 196 nm (Tiofos) y 222 nm (ácido sulfúrico). Al comparar estos resultados con los de las muestras individuales de los dos reactivos en estudio, se logra obtener que tanto, para el caso del Tiofos y del ácido sulfúrico ambas presentan una alta similitud con las absortividades individuales, por lo que se puede decir que los reactivos no interactúan entre sí, más aún si se analizan ahora los resultados entregados para la muestra ácido sulfúrico-Tiofos, expuesto en la Tabla 23, se corrobora lo expuesto anteriormente.

**Tabla 22: Absortividad mezcla Tiofos-ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Tiofos-Ácido sulfúrico				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Ácido sulfúrico	1,86	1,64	1,57	1,53
Tiofos	8,10	7,25	6,97	7,17

**Tabla 23: Absortividad mezcla ácido sulfúrico-Tiofos, Absortividad mezcla Tiofos-ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Ácido sulfúrico-Tiofos				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Ácido sulfúrico	5,72	5,72	5,54	5,76
Tiofos	5,71	5,65	5,46	5,43

Mediante el análisis gráfico de las absorbancias de las mezclas y la suma de absorbancias individuales de estos dos reactivos para una concentración de 3 ml se observa, que en base la Figura 50 que las curvas muestran una clara similitud en su forma, alcanzando *peaks* y descensos de absorbancia para similares longitudes de onda, lo cual confirma lo ya mencionado anteriormente.

La mezcla entre Tiofos-kerosene es analizada en cuanto a su absortividad para una longitud de onda de 196 nm (Tiofos) y 221 nm (kerosene), en base a su semejanza con las absortividades de las muestras individuales. En ambos casos se notan ligeras diferencias lo cual lleva a dilucidar que ambos reactivos podrían estar interactuando, como se especifica en la Tabla 24 siendo el Tiofos el que presenta mayor disimilitud con respecto a la muestra individual. Si se observan ahora las absortividades de la mezcla kerosene-Tiofos, en la Tabla 25, se confirma lo ya explicitado debido a que existen claras diferencias sobre todo para el caso del kerosene.

**Tabla 24: Absortividad mezcla Tiofos-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Tiofos-Kerosene				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Kerosene	10,31	10,30	9,25	9,68
Tiofos	28,13	21,54	18,33	13,08

**Tabla 25: Absortividad mezcla Kerosene-Tiofos, Absortividad mezcla Tiofos-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Tiofos-Kerosene				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Kerosene	30,44	35,67	34,50	39,47
Tiofos	15,96	12,92	11,21	7,29

La Figura 51 muestra las absorbancias de las mezclas entre Tiofos y kerosene y la suma de ambos reactivos individuales para una concentración de 3 ml. Se observa bastante semejanza entre las curvas tanto en la forma, como en las longitudes de onda donde se presentan los *peaks*, además al analizar la semejanza entre absorptividades totales para ambas longitudes de onda, de forma matricial con las absorptividades de las especies en ambas longitudes de onda para cada una de las concentraciones, se obtiene que estas difieren y por lo tanto no estarían interactuando.

Las absorptividades para el NaSH y el ácido sulfúrico en la mezcla NaSH-ácido sulfúrico para una longitud de onda de 208 nm (NaSH) y 222 nm (ácido sulfúrico) se presenta en la Tabla 26, donde existen diferencias de poca envergadura para el caso del NaSH, sin embargo, el ácido muestra una cercana semejanza con las absorptividades de la muestra individual. La misma diferencia en el caso del NaSH se mantiene en la mezcla ácido sulfúrico-NaSH, pero en este caso el ácido también exhibe discrepancias, aunque no importantes. Se puede especular entonces, que estos reactivos podrían tener algún tipo de interacción. Las absorptividades para la mezcla ácido sulfúrico-NaSH se presentan en la Tabla 27.

**Tabla 26: Absortividad mezcla NaSH-Ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

NaSH-Ácido sulfúrico				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	7,08	4,60	3,89	3,67
Ácido sulfúrico	2,19	1,06	0,72	0,56

**Tabla 27: Absortividad mezcla Ácido sulfúrico-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Ácido sulfúrico-NaSH				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	7,32	6,64	6,21	6,72
Ácido sulfúrico	11,98	12,00	11,89	13,00

La Figura 52 ejemplifica la absorbancia a una concentración de 3 ml para las mezclas descritas anteriormente y la suma de los resultados de absorbancia de los reactivos individuales. Se aprecia que si bien, las curvas poseen los *peaks* en longitudes de onda cercanas, éstas presentan una forma similar. De acuerdo a lo descrito en base a las absorptividades y el análisis gráfico de la absorbancia se puede especular que dichos reactivos no están interactuando entre ellos, además al realizar el análisis matricial de absorptividades totales los resultados difieren por lo que se especula que estos no interactúan.

En base a las absorptividades para la mezcla NaSH-kerosene se presentan diferencias claras, pero no trascendentales en el caso del kerosene, sin embargo, el NaSH muestra tener una cercana semejanza a las absorptividades de las muestras individuales de dicho reactivo. Los resultados de ese estudio se presentan en la Tabla 28. Si se observa la mezcla kerosene-NaSH se obtiene una correcta relación para el caso del NaSH, donde las diferencias entre las absorptividades no son elevadas, no obstante, el kerosene muestra discrepancias notorias y muy disímiles con respecto a los resultados obtenidos para la muestra individual. Esta diferencia insinúa que ambos reactivos

pueden estar reaccionando entre sí, sin embargo, hay que tener en consideración que el análisis de absorbividad para el kerosene de forma individual, presenta un error mucho mayor que el resto de los reactivos. La Tabla 29 muestra los resultados de las absorbividades para la mezcla de kerosene-NaSH.

**Tabla 28: Absortividad mezcla NaSH-Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

NaSH-Kerosene				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	10,17	10,00	11,11	11,87
Kerosene	7,95	10,69	13,78	16,03

**Tabla 29: Absortividad mezcla Kerosene-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Kerosene-NaSH				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
NaSH	10,79	11,40	12,63	13,74
Kerosene	54,04	66,45	74,33	85,26

La Figura 53 indica que las curvas presentan una forma parecida, más aún los *peaks* y decaimientos son obtenidos para longitudes de onda similares, además del análisis matricial de las absorbancias totales para cada una de las longitudes de onda se obtienen diferencias claras y por lo que se puede especular que ambos reactivos no están reaccionando.

La mezcla de ácido sulfúrico y kerosene es analizada en base a su absorbividad para una longitud de onda de 222 nm (ácido sulfúrico) y 221 nm (kerosene), en relación a los resultados para el ácido en dicha mezcla, se observa una gran semejanza con las absorbividades del mismo reactivo de forma individual. Para el kerosene los resultados si no consideramos el de la muestra de 1 ml de concentración, son bastante parecidos. De forma análoga para la mezcla kerosene-ácido sulfúrico, los dos reactivos guardan completa semejanza con los resultados de las muestras individuales, por lo que es de esperar que éstos no reaccionen entre sí. Los resultados de las absorbividades para ambas mezclas se explicitan en la Tabla 30 y Tabla 31.

**Tabla 30: Absortividad mezcla ácido sulfúrico- Kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

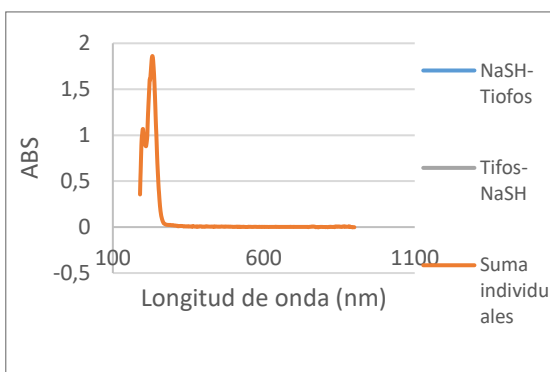
Ácido sulfúrico-Kerosene				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Acido	6,67	3,82	3,09	1,57
Kerosene	7,75	4,52	3,92	1,96

**Tabla 31: Absortividad mezcla Kerosene - ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

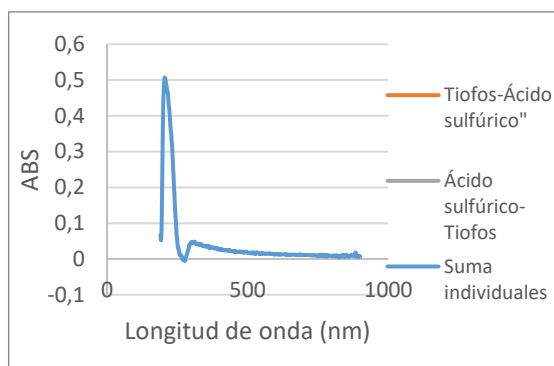
Kerosene-Ácido sulfúrico				
	Absortividad 1 (ml)	Absortividad 2 (ml)	Absortividad 3 (ml)	Absortividad 5 (ml)
Acido	3,88	1,82	1,16	0,77
Kerosene	18,38	8,87	5,49	3,68

La Figura 54 muestra que las curvas de las mezclas se asemejan bastante entre ellas, sin embargo, la suma de las muestras individuales discrepa notoriamente con las otras dos.

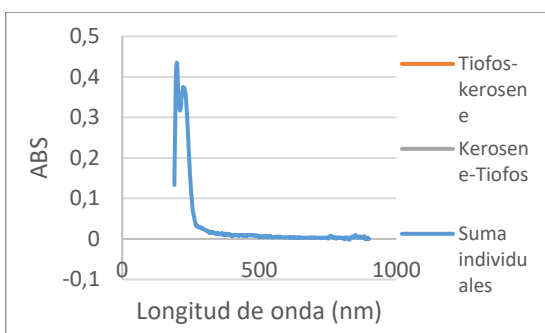
Esto se puede deber a que una de ellas (ácido sulfúrico) presenta absorbancias negativas y por lo tanto podría poseer material particulado, entregando así un resultado sujeto a error. En conclusión, ambos reactivos no interactúan entre sí, debido a que la diferencia gráfica entre la suma de las muestras está sujeta a errores y no se contradice con lo antes analizado. Además de esto, los *peaks* y descensos de absorbancia se dan para longitudes de onda similares al de las curvas de las mezclas.



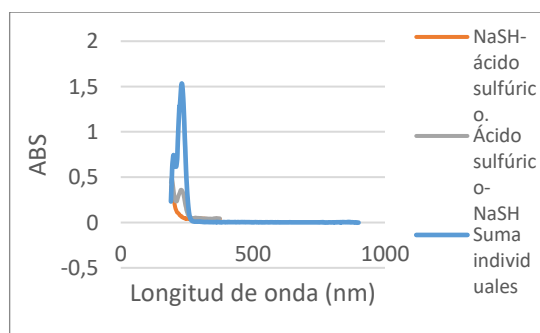
**Figura 49: Absorbancia Tiofos y Nash para una concentración de 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.**



**Figura 50: Absorbancia Tiofos y ácido sulfúrico para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.**

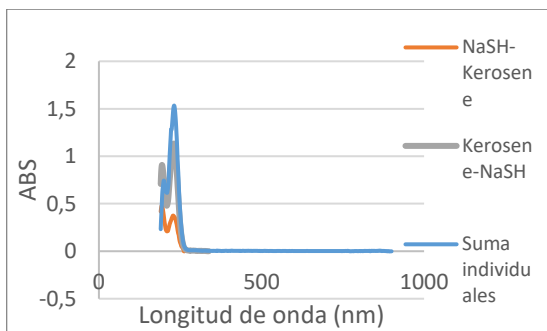


**Figura 51: Absorbancia Tiofos y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.**

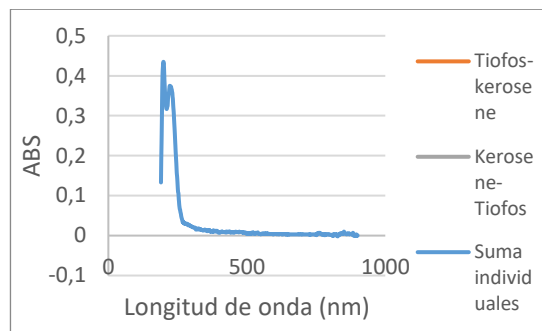


**Figura 52: Absorbancia NaSH y ácido sulfúrico para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.**





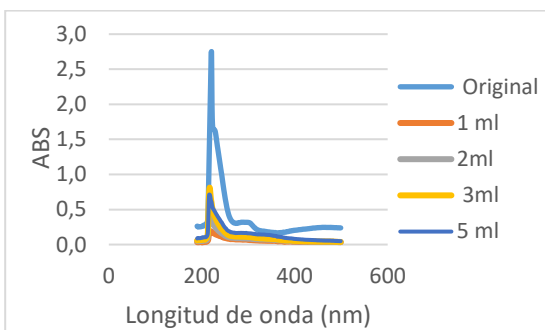
**Figura 53:** Absorbancia NaSH y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.



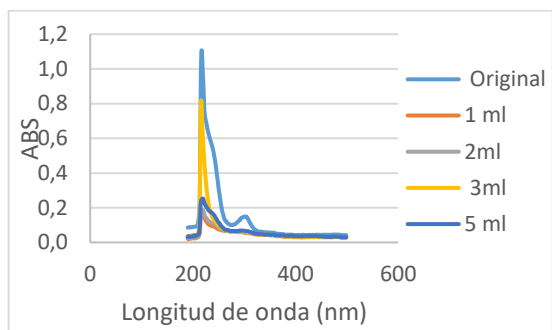
**Figura 54:** Absorbancia ácido sulfúrico y kerosene para 3 ml, para las dos mezclas entre estos reactivos y la suma de las curvas individuales de estos.

### 3.2.3 Espectrometría de muestras directas de la planta de flotación

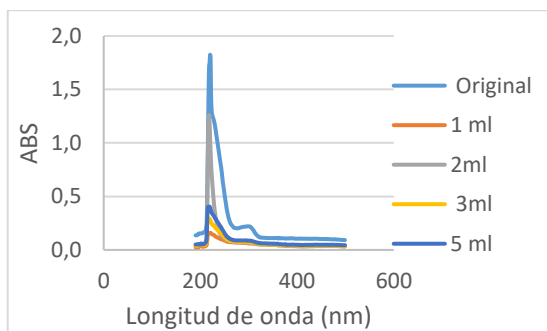
Los resultados de la espectrometría para las muestras tomadas directamente desde la planta se muestran desde la Figura 55 a la Figura 62.



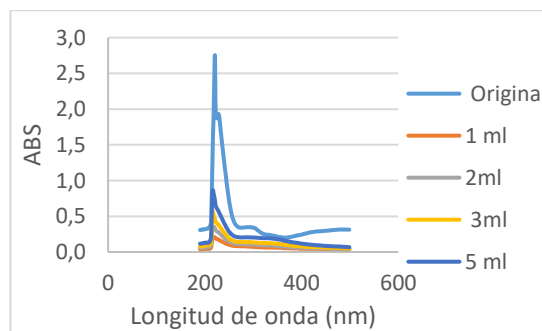
**Figura 55:** Espectrometría muestra alimentación Rougher, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.



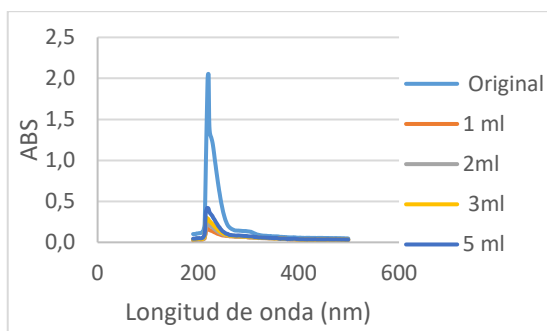
**Figura 56:** Espectrometría muestra alimentación Titanic, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.



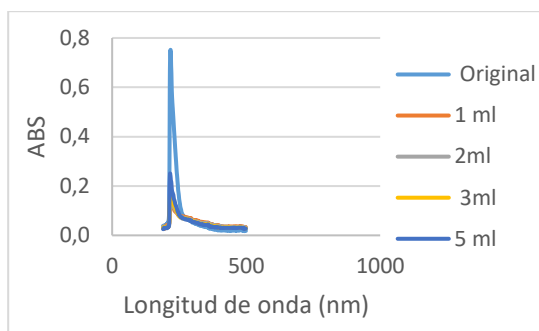
**Figura 57:** Espectrometría muestra concentrado Rougher, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.



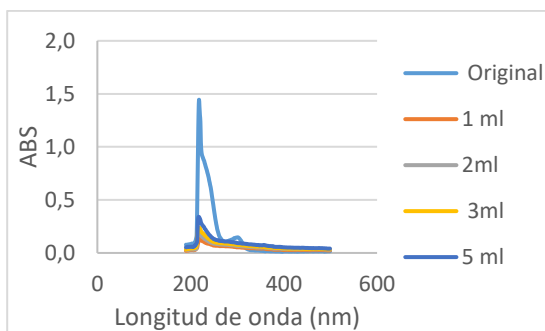
**Figura 58:** Espectrometría muestra concentrado 1° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.



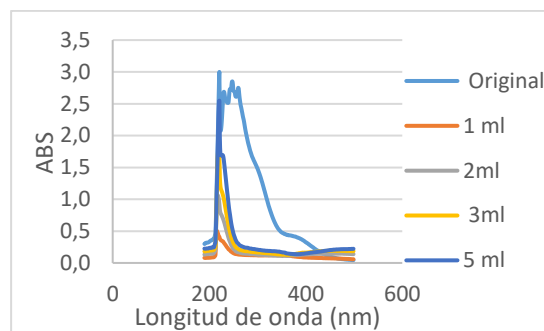
**Figura 59: Espectrometría muestra concentrado 2° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 60: Espectrometría muestra concentrado 3° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 61: Espectrometría muestra concentrado 4° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**



**Figura 62: Espectrometría muestra concentrado 5° limpieza, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

Del análisis gráfico de absorbancias se obtiene que, dentro de los reactivos individuales, aquellos que presentan un predominio en la etapa de alimentación al estanque acondicionador (Titanic), son el ácido sulfúrico y el kerosene, esto se puede deber al flujo de recirculación del relave de la primera limpieza.

Para la alimentación y el concentrado de la etapa de flotación *Rougher*, se observa que, de los reactivos individuales todos a excepción del Tiofos, muestran presencia en este proceso. Lo anterior se puede deber a que en esta etapa la concentración de cobre es alta y por lo tanto el Tiofos, que es utilizado principalmente como depresor de cobre, estaría adsorbiendo este reactivo de forma casi completa, lo que repercute en que no se encuentre presencia de éste en solución.

Los concentrados de la 1° y 2° limpieza presentan una curva bastante similar tanto en forma, como en *peaks* y decaimientos. En ambos casos existe un predominio de los reactivos NaSH, kerosene y ácido sulfúrico, lo que puede estar vinculado directamente al hecho de que en la etapa de 1° limpieza se vuelve a agregar NaSH y ácido sulfúrico si es que se requiere y por lo tanto la presencia de éste no debería ser rara en estas etapas.

Las etapas de 3° y 4° limpieza son aquellas que operan con columnas y no con celdas tradicionales, además de esto, en ambas se agrega Tiofos y kerosene por lo que se espera que ambos sean los que gobiernen en dichas etapas. En los dos casos los reactivos que tienen predominancia, son el ácido sulfúrico y el kerosene, sin embargo, no se aprecian muestras claras de Tiofos ni NaSH en solución.

Para finalizar, la 5° limpieza no muestra presencia de ninguno de los reactivos analizados, por lo que en esta etapa ya se encontrarían todos con el mineral, ya sea cobre o molibdeno o estarían disociados, lo que en el caso del NaSH, al ser un sulfuro hidratado de sodio presentaría un problema, al estar en su forma oxidada como sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) debido al potencial redox y el pH de la muestra (13,5 mV. pH entre 11-12), este sulfato podría estar recirculando como agua de proceso a las diversas etapas de la planta de flotación. La Figura 63 muestra en diagrama Eh-pH.

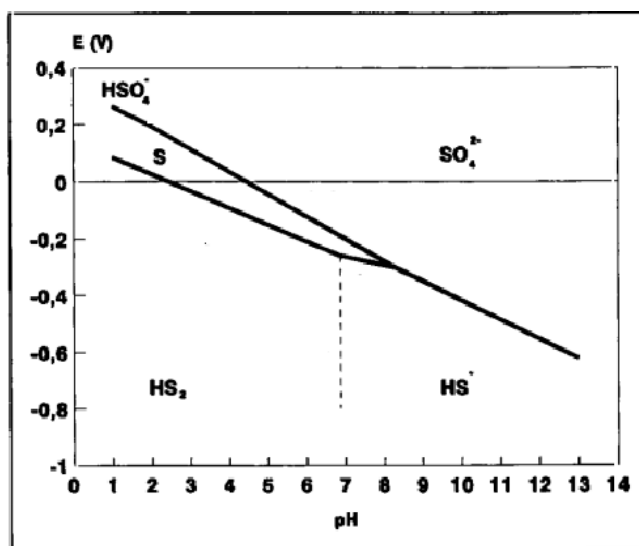
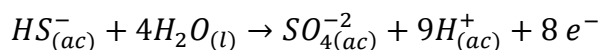


Figura 63: Diagrama Eh-pH para el sistema  $SO_4^{2-}/S^{2-}$ . Temperatura: 25 °C, Revenga Hernanz, 1994.

La reacción involucrada en la oxidación de NaSH a sulfato es la estipulada en la Ecuación 22:



Ecuación 22: Reaccion de oxidación de NaSH a sulfato.

Para determinar la razón entre el sulfato y el sulfhidrato, se utiliza la ecuación de Nernst para dicha reacción, la que se muestra en la Ecuación 23. El valor del potencial cero ( $E^0$ ) es de 0,31 V, mientras que el potencial medido es de 13,5 mV. El pH específico medido es de 11,65. La concentración de NaSH para la etapa de 5° Limpieza es de 0,02 g/L.

$$E = E^0 + \frac{0,0591}{8} \log \left( \frac{[H^+]^9 [SO_4^{2-}]}{[HS^-]} \right)$$

Ecuación 23: Ecuación de Nernst para la oxidación de NaSH a sulfato.

La razón entre la concentración de sulfato y sulfhidrato es bastante elevada, por lo que gran parte del NaSH, se está oxidando y no siendo aprovechado como depresor de sulfuros de cobre, el cual estaría recirculando a las etapas de flotación anteriores.

En relación a los resultados para cada uno de los puntos analizados de la planta se tiene lo siguiente:

a. Alimentación acondicionador Titanic: Esta etapa es una de las primeras del circuito de flotación de molibdenita, donde la pulpa es recibida desde la etapa de flotación colectiva y por lo tanto esta

muestra debería estar libre de reactivos o al menos contener una baja concentración de estos. Las absorbancias para cada uno de estos se presentan en la Tabla 32.

**Tabla 32: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para la muestra tomada en la alimentación al estanque acondicionador Titanic.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,09	0,09	0,79	0,88

Las concentraciones para el NaSH van desde 0,004 a 0,007 g/L lo cual corresponde a una baja concentración y en un rango bastante acotado. Para el Tiofos, éste va desde 0 a 0,08 g/L, donde el valor igual a 0 es originalmente negativo, sin embargo, al no ser esto viable se iguala al mínimo posible. El ácido sulfúrico en cambio presenta una concentración mayor, desde 0,46 a 0,51 g/L, esta alza puede deberse a la incorporación de este reactivo aguas arribas. El kerosene en cambio varía desde 0,02 a 0,13 g/L.

b. Alimentación Circuito *Rougher*: La absorbancia en este caso para los reactivos NaSH, Tiofos, ácido sulfúrico y kerosene se muestra en Tabla 33:

**Tabla 33: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para la muestra de la alimentación *Rougher*.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,28	0,25	1,98	2,75

La concentración de NaSH en esta etapa varía entre 0,01 y 0,02 g/L. El Tiofos en cambio fluctúa entre 0 y 0,47 g/L. Se destaca que en este caso el análisis matemático entrega una concentración negativa, por lo que el mínimo valor posible es el equivalente a 0. El rango de oscilación del ácido sulfúrico en la alimentación *Rougher* fluctúa entre 0,64 a 1,22 g/L y la concentración del kerosene en esta etapa está comprendida entre 0 a 3,21 g/L.

c. Concentrado *Rougher*: Las absorbancias para cada uno de los reactivos corresponden a las estipuladas en la Tabla 34, las cuales serán utilizados para obtener las concentraciones de éstos, en ésta etapa.

**Tabla 34: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado *Rougher*.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,16	0,15	1,32	1,46

La concentración de NaSH en este proceso va desde 0,006 a 0,014 g/L. Para el Tiofos el rango de variación va desde 0 a 0,17 g/L, donde el valor igual a 0, es en realidad negativa, sin embargo, esto no puede ser posible por lo que se toma el menor valor real. El ácido sulfúrico fluctúa desde 0,77 a 0,84 g/L, mostrando un rango bastante pequeño. El kerosene en cambio, va desde un 0,09 a 0,27 g/L, siendo el menor valor máximo después de los resultados obtenidos para la alimentación al Titanic, esto se puede deber a que esta muestra corresponde al concentrado de cobre y el kerosene podría estar siendo adsorbido por el molibdeno y por lo tanto no presentarse de forma significativa en esta muestra.

Los cambios en los rangos de variaciones tanto en ésta, como en el resto de las etapas se deben en parte, a la diferencia en la desviación estándar para cada uno de los reactivos, por lo que es de esperar resultados más acotados, tanto para el NaSH como para el ácido.

d. Concentrado 1° Limpieza: Las absorbancias obtenidas para cada uno de los reactivos se muestra en la Tabla 35:

**Tabla 35: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 1° Limpieza.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,33	0,31	2,13	2,76

En el caso del NaSH la concentración de este reactivo en la 1° limpieza va desde un 0,02 a 0,43 g/L. Para el Tiofos se tiene que éste fluctúa entre 0 y 0,31 g/L, El ácido sulfúrico en cambio varía en un amplio rango, tomando valores desde 0,42 a 2,18 g/L. El kerosene presenta una variación bastante mayor tomando valores desde 0 a 4,98 g/L. El hecho de que este rango sea tan grande, se debe en parte al error asociado a dicho reactivo y a la desviación estándar en la que se modifican los resultados de las concentraciones de las diluciones.

e. Concentrado 2° Limpieza: Las absorbancias obtenidas se muestran en la Tabla 36:

**Tabla 36: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 2° Limpieza.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,12	0,10	1,52	2,06

La concentración de NaSH es bastante baja y toma valores desde 0,006 y 0,010 g/L. El Tiofos va desde 0 a 0,24 g/L, lo cual es relativamente alto, notándose que el valor igual a 0 es en realidad negativo (cálculo matemático). La concentración del ácido sulfúrico va desde 0,13 a 1,74 g/L, lo cual es un amplio rango, más si se considera que no hay incorporación de éste es esta etapa. Sin embargo, para el kerosene la incertidumbre es aún mayor, ya que el rango va desde 0 (cálculo con valor negativo) a 4,45 g/L.

f. Concentrado 3° Limpieza: Las absorbancias para los reactivos utilizados se presentan en la Tabla 37:

**Tabla 37: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 3° Limpieza.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,05	0,04	0,60	0,66

Los valores para el caso del NaSH van desde 0 a 0,03 g/L. Mientras que la concentración de Tiofos, fluctúa entre 0 y 0,006 g/L lo cual es una concentración baja. El ácido en cambio toma valores desde 0 a 0,94 g/L, lo que es bajo, sin embargo, en esta etapa no hay una adición extra de éste, lo que concuerda con ser el segundo valor mínimo después de la alimentación al Titanic, donde se supone no hay adición de ninguna de las especies. El kerosene va desde 0 a 2,15 g/L, mostrando un rango amplio de variación, sin embargo, es el tercero en alcanzar el menor máximo.

g. Concentrado 4° Limpieza: Las absorbancias utilizadas para cada uno de los reactivos se presentan en la Tabla 38:

**Tabla 38: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 4° Limpieza.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,115	0,104	1,167	1,368

En este caso se tiene que la concentración de NaSH es muy baja, ya que va desde 0,005 a 0,008 g/L, la cual es la segunda más baja después de la muestra obtenida desde la alimentación al Titanic. La concentración de Tiofos es un poco mayor que la lograda para el caso de la 3° limpieza y va desde 0 a 0,14 g/L. El ácido en cambio presenta una concentración que va desde 0 a 1,35 g/L, lo cual es bastante mayor que lo estipulado para los dos reactivos anteriores. El kerosene en cambio, varía en un rango de 0 a 2,97 g/L. Los resultados obtenidos parecen ser disímiles con la teoría, si se considera que en esta etapa se adiciona una cantidad extra de kerosene y Tiofos, pero no de NaSH y ácido. Además, tanto el kerosene y el Tiofos toman un rango que contempla el valor nulo, el cual es negativo al realizar los cálculos matemáticos para cada uno de ellos.

h. Concentrado 5° Limpieza: La Tabla 39 muestra las absorbancias para cada uno de los reactivos:

**Tabla 39: Absorbancia NaSH, Tiofos, kerosene y ácido sulfúrico para el concentrado 5° Limpieza.**

	NaSH	Tiofos	Ácido sulfúrico	Kerosene
Absorbancia	0,37	0,32	2,30	3,00

La concentración de NaSH en esta etapa va desde 0,02 a 0,03 g/L, siendo uno de los valores más altos alcanzados. Esto es contradictorio con lo que ocurre en la realidad, ya que este reactivo sólo se incorpora en las primeras etapas, debiendo ser ésta, donde se presenta una de las menores concentraciones. El Tiofos fluctúa entre 0 y 0,31 g/L, siendo este último uno de los mayores valores obtenidos. EL ácido toma valores desde 0,86 a 2,09 g/L, llegando a ser el segundo máximo en relación a todas las etapas, lo que no concuerda con la realidad, debido a que este reactivo sólo es incorporado en las primeras etapas. El kerosene va desde 0 a 3,60 g/L.

## 4. Experimentos cinéticos de flotación a escala de laboratorio

### 4.1 Determinación del tiempo máximo de flotación en la etapa Rougher

El tiempo máximo de flotación en la etapa *Rougher*, ocurre cuando la ley de concentrado ha disminuido lo suficiente como para obtener la ley de alimentación. Este tiempo está relacionado con el tiempo de residencia de la pulpa en la etapa de flotación.

En base la Figura 64 se obtiene que el tiempo requerido para alcanzar la ley de alimentación es de 12,8 min, considerando una ley de alimentación a la etapa *Rougher* de 0,53% de molibdeno. Este tiempo es menor al que actualmente es utilizado en la planta de flotación el cual es cercana a 20 min, por lo que se estaría sobre flotando la pulpa sin obtener benéficos adicionales posterior al tiempo de residencia.

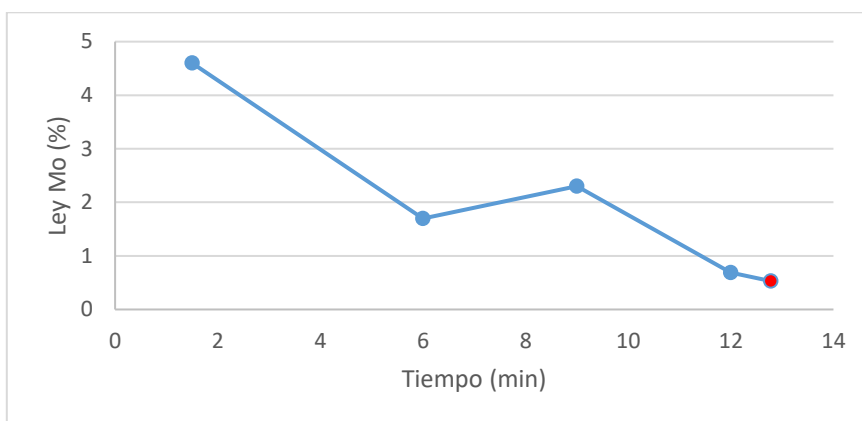


Figura 64: Tiempo máximo de flotación en la etapa *Rougher*, obtenido de los ensayos de cinética de flotación en laboratorio, resaltado en color rojo.

### 4.2 Componentes de flotabilidad

Los valores obtenidos son coincidentes con la cinética de flotación estipulada por García-Zúñiga, donde existe una sola componente flotable y no una distribución de estas. En este caso es solo una especie que flota a una velocidad específica y por lo tanto se obtiene un sólo valor de  $k$  (constante de flotabilidad intrínseca). Más aún si observamos el ajuste exponencial de los datos (cinética de García-Zúñiga) se observa que el coeficiente de correlación es mayor al 98,9% para todas las etapas analizadas. La Figura 65 muestra lo antes descrito, mientras que en Anexos G se presenta el detalle de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas de cinética de flotación.

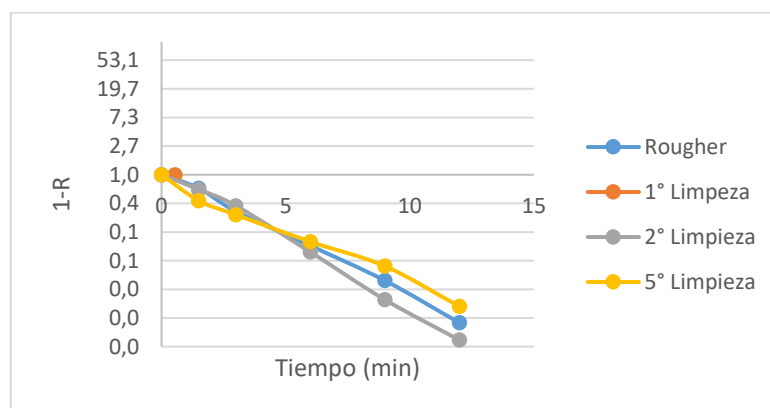


Figura 65: Resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa *Rougher*, 1°, 2°, 5° limpieza.

La diferencia entre los valores obtenidos por medio del ajuste de los datos teóricos (evaluación de la curva que mejor ajusta los valores obtenidos) y los calculados de forma experimental (aplicación del modelo de García-Zúñiga) es menor a un 5% en la mayoría de los casos, siendo los valores superiores a este porcentaje los resultantes de la evaluación para los datos en el tiempo inicial ( $t=0$ ), debido a que la evaluación del modelo teórico no posee la restricción de recuperación máxima en  $R=100\%$ , sin embargo para los datos restantes el error si es significativamente bajo, por lo que se puede corroborar el hecho de que existe solo un componente de flotación. En Anexos G se presenta el detalle de las diferencias entre ambos valores para cada una de las etapas.

### 4.3 Recuperación metalúrgica y recuperación másica

La curva de recuperación metalúrgica y recuperación másica para la cinética de flotación *Rougher* se presenta en la Figura 66, en esta, el punto óptimo, es decir, aquel que es tangente a la curva y paralela a la curva de no separabilidad se encuentra para una recuperación másica de 53,5%, lo cual denota el óptimo en recuperación, desde ese punto en adelante no se estaría aumentando la ley en el concentrado obtenido.

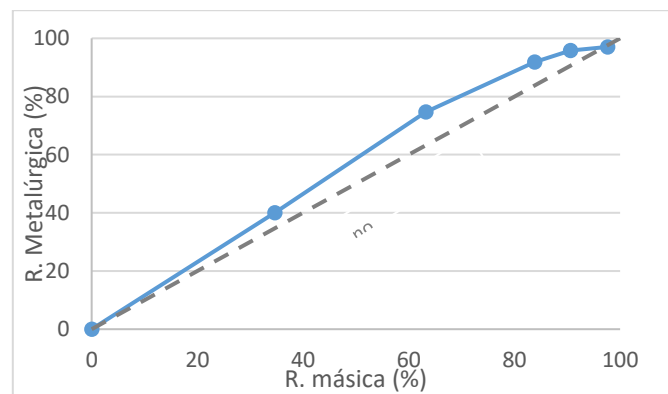
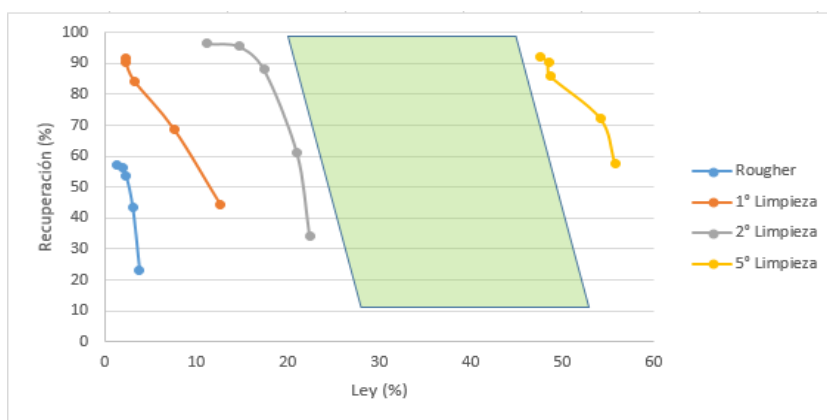


Figura 66: Curva de recuperación metalúrgica y recuperación másica para la cinética de flotación *Rougher*.

### 4.4 Curva de recuperación y ley

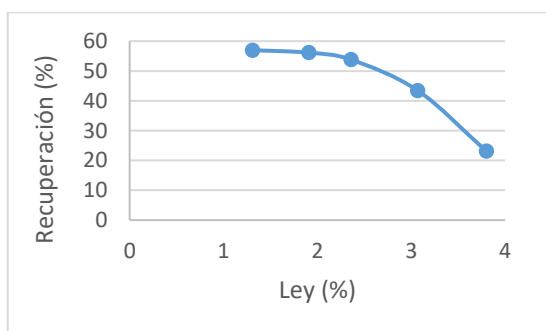
En base a la cinética de flotación realizada se obtienen de forma experimental las curvas de recuperación y ley que siguen la tendencia antes mencionada, en donde la ley mínima que se puede obtener corresponde a la ley de alimentación a la celda y el valor máximo de este parámetro sería la ley de molibdeno en la molibdenita, lo que se cumple para todas las curvas evaluadas. Figura 67 muestra los resultados para todas las etapas, donde el área achurada corresponde a aquella donde deberían estar actuando las etapas de 3° y 4° limpieza.



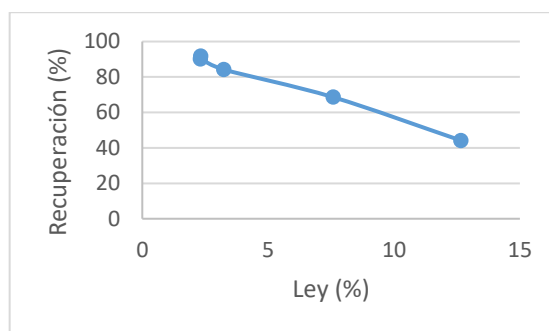


**Figura 67:** Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación Rougher. 1°, 2° y 5° limpieza.

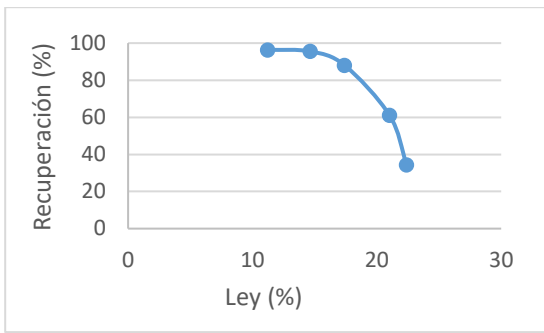
La ley de alimentación a la etapa *Rougher* toma valores entre 0,3 y 0,7%, con una recuperación de un 56,9% (Figura 68), donde se aprecia que los valores están dentro del rango obtenido por la curva. Para la cinética en este caso se alcanza una recuperación de un 91,8%, para una ley de molibdeno mínima en esta etapa de 2,3%. En la 1° limpieza el valor de alimentación a esta etapa fluctúa entre 0,7 a 1,2%, por lo que los valores obtenidos estarían en el dentro de un rango apropiado. Para el caso de la 2° limpieza (Figura 70), la recuperación es este caso corresponde al mayor valor alcanzado para todas las etapas, llegando a un 96,4%, con una ley de 11,2% de Mo. Se destaca que para la etapa de segunda limpieza la ley de alimentación a esta etapa varía entre 4,0 a 4,6%, sin embargo, la ley mínima obtenida es de un 11,2% lo cual es significativamente mayor a lo que ocurre comúnmente en la operación, al igual que con la ley mínima, la recuperación, también se ve afectada siendo notoriamente mayor, ya que en términos generales esta no supera el 85%. En la 5° limpieza (Figura 71) la recuperación toma un valor máximo de 92,3%, con una ley de 47,5% de Mo. En esta etapa la ley de alimentación varía entre 39,0 a 43,0%. Se debe destacar que la recuperación en este caso es mayor a la obtenida comúnmente en operación, donde alcanza valores de 70-80% sin embargo, la ley de alimentación en la prueba de flotación también es mayor a la que se obtiene generalmente, tomando un valor de un 47,5%.



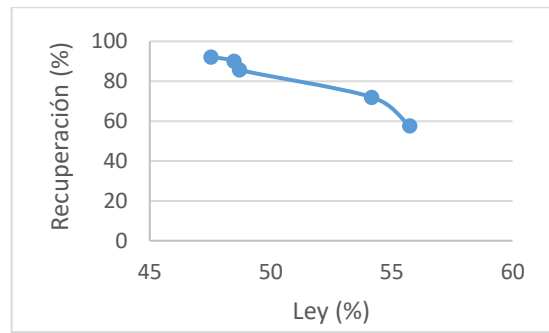
**Figura 68:** Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación *Rougher*.



**Figura 69:** Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 1° limpieza.

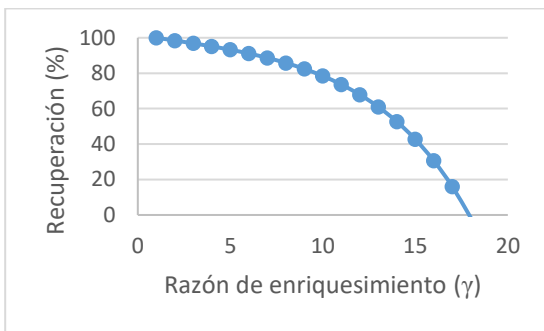


**Figura 70: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 2° limpieza.**

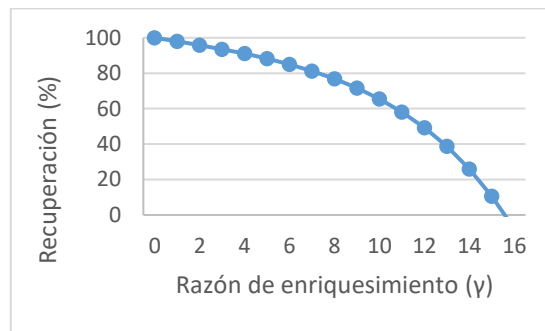


**Figura 71: Curva de recuperación v/s ley para la etapa de flotación 5° limpieza.**

Las curvas de recuperación y razón de enriquecimiento, obtenidas mediante el modelo Arev se muestran desde la Figura 72 a la Figura 75, donde la recuperación es máxima para una razón de enriquecimiento nula, es decir, no se selecciona nada. Cuando  $\gamma$  es máximo se tiene que la recuperación es la más baja posible ( $R=0\%$ ), ese punto corresponde al máximo operación para cada una de las etapas (Dryzmala, et al., 2012). En los gráficos experimentales se muestra la disminución de este punto a medida que el proceso de flotación avanza, (máxima razón de enriquecimiento disminuye), debido a que la ley de alimentación cada vez es más alta.



**Figura 72: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación Rougher.**



**Figura 73: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 1° limpieza.**

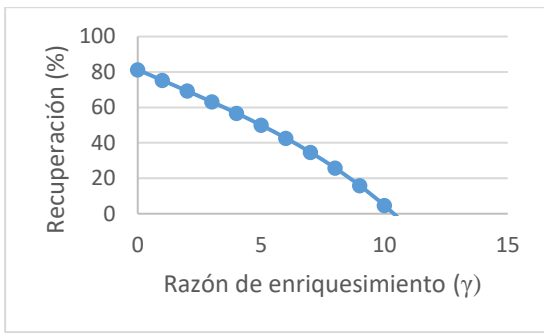


Figura 74: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 2° limpieza.

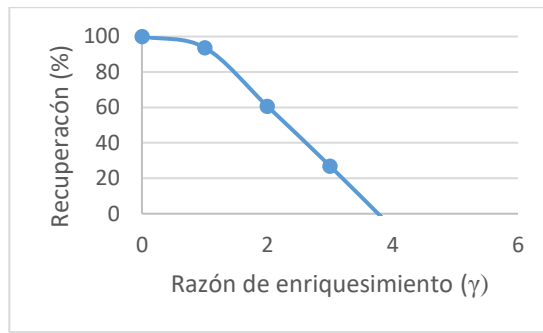


Figura 75: Curva recuperación - razón de enriquecimiento etapa de flotación 5° limpieza.

En base a los valores de los parámetros del modelo se aprecia que  $a$  es mayor en la etapa final, por lo que se especula que el grado de liberación de las partículas es mayor en dicha etapa, lo que se puede deber a la presencia de un concentrado más puro. En términos del parámetro  $b$ , este es más bajo en las etapas finales debido a que estas poseen un concentrado con menor cantidad de impurezas, lo cual se aprecia en los resultados obtenidos.

Tabla 40: Parámetros del modelo Arev para las etapas Rougher, 1°, 2° y 5° limpieza.

	$a$	$b$	R* (%)
Rougher	0,08	10,87	100
1° Limpieza	0,11	10,68	100
2° Limpieza	0,41	8,35	75,27
5° Limpieza	2,3	8,22	93,77

Los puntos óptimos de operación, obtenidos según la Ecuación 19, se muestran en la Tabla 41 para cada una de las etapas. Donde se observa un descenso en el punto óptimo de recuperación a medida que se avanza en el proceso, lo que se puede deber a que las últimas etapas son las destinadas a levantar la ley y no la recuperación por lo tanto se vuelven más selectivas, sin embargo, la 5° limpieza se muestra extremadamente baja, lo que se debe a que, al aplicar el modelo, la recuperación metalúrgica cae rápidamente al aumentar la razón de enriquecimiento, de forma similar a lo que ocurre en la 3° limpieza.

Tabla 41: Parámetros del modelo Arev para las etapas Rougher, 1°, 2° y 5° limpieza.

	$R_{op}$ (%)
Rougher	93,25
1° Limpieza	91,1
2° Limpieza	42,68
5° Limpieza	26,94

## 5. Simulación de la planta de selectiva de flotación y sus variantes

### 5.1 Simulación Columnas de flotación

En base a las simulaciones se obtiene la recuperación metalúrgica, recuperación másica y la razón de enriquecimiento para cada uno de los casos, notando que tanto los diagramas de flujos y el reporte completo entregado por el simulador se presentan en Anexos L.

#### a. Caso Base

La Tabla 42 muestra las recuperaciones antes mencionadas, donde la razón de enriquecimiento guarda completa relación con la recuperación metalúrgica obtenida. Es decir, a mayor recuperación en peso, existe una menor razón de enriquecimiento. Se debe notar además, que en materia de recuperación metalúrgica este muestra un resultado bastante más elevado y optimista en comparación al obtenido mediante el balance de masas realizado, lo que denota que en un caso hipotético ideal, el funcionamiento de las columnas si debería lograr una recuperación bastante favorable.

Tabla 42: Simulación caso base sin realizar ninguna modificación.

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	71,96	33,11	2,17
4° Limpieza	96,00	89,73	1,07
Global	69,08	29,71	2,33

Si ahora, la ley de alimentación a la 3° limpieza aumenta en un 35%, y no se varia el tonelaje, se nota un ligero incremento en la recuperación metalúrgica en cada una de las etapas analizadas, sin embargo, ésta es baja en comparación al aumento en la recuperación en peso y la razón de enriquecimiento tanto para las diferentes etapas, como para el caso global. Esto se puede deber a que ambas colas (3° y 4° limpieza), contienen una ley más alta de molibdeno, considerando además que las toneladas de fino de dicho mineral también se ven aumentadas en este caso. Si se aumentan las toneladas de sólido en la alimentación, se produce una baja en la recuperación en todos los casos, lo que nos dice que las columnas están trabajando con un tonelaje que va desde ser el adecuado, a un poco superior al óptimo. Debido a que al incorporar más mineral los resultados empeoran, lo que ocurre de forma totalmente diferente al disminuir las toneladas de sólidos, donde sí se ve un aumento, aunque leve de la recuperación metalúrgica y en peso en todos los casos, sin embargo, la razón de enriquecimiento baja en comparación con el caso base.

Si la ley de alimentación a la 3° limpieza es de un 12% y no se varia el tonelaje de entrada, se tiene que, tanto para el caso de la recuperación metalúrgica y en peso, los mejores resultados se logran al disminuir el tonelaje de alimentación, siendo el caso de aumento de éste el que entrega peor resultado. Lo cual corrobora lo estipulado anteriormente en relación a que las celdas están trabajando con el tonelaje al límite. Los resultados de las simulaciones como las recuperaciones del análisis de sensibilidad, se presentan en Anexos L.

#### b. Caso Columna Corta

La Tabla 43 muestra las recuperaciones obtenidas para el caso de la columna corta, considerando que se incorpora una columna corta extra en la etapa de la 4° limpieza. La adición de

otra columna en la tercera limpieza fue analizada sin llegar a datos satisfactorios, ni cercanos a la realidad, por lo que no se explicita en los resultados obtenidos.

La recuperación metalúrgica en todas las etapas, entrega mejores resultados que el caso base que se está implementando actualmente en la planta, lo que ocurre de igual forma con la recuperación en peso, pero en una escala menor. La razón de enriquecimiento en cambio, disminuye un poco en relación a los resultados mostrados en la Tabla 42, lo cual se puede deber a que dichos valores guardan una relación más bien inversa con la recuperación en peso, por lo tanto, es de esperar que la razón de enriquecimiento sea un poco más baja en este caso.

**Tabla 43: Simulación caso columna corta sin realizar ninguna modificación.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	82,06	33,90	2,42
4° Limpieza	97,82	90,57	1,08
Global	80,27	30,70	2,61

Al realizar variaciones de ley y tonelaje se ve que al aumentar la ley a un 35%, el mejor caso se da sin realizar modificaciones al tonelaje, seguido por el caso donde se disminuyen los sólidos de alimentación, cumpliéndose el mismo fenómeno que para el caso base. Al disminuir la ley de alimentación a un 12%, los resultados obtenidos son bastantes similares y las variaciones se presentan sólo después del segundo decimal para el caso de la recuperación metalúrgica y en peso. No obstante, el mejor resultado se obtiene para el aumento del tonelaje, lo que puede deberse a que, con la incorporación de una columna extra sea posible trabajar con más pulpa, debido al tiempo de residencia que pasa el mineral en cada celda.

### c. Caso Celdas convencionales

La Tabla 44 muestra los resultados tras la simulación realizada a las celdas convencionales, en este caso se observa que la recuperación metalúrgica y en peso es mayor que los casos base y columna corta. La ley de molibdenita en cambio muestra un ligero descenso al ser comparada con el caso base (63%), llegando en este caso a 61,3%. Si evaluamos las toneladas de sólido que se obtienen en el concentrado final para los tres casos, (considerando una alimentación igual y el mismo que el flujo procesado en la planta) se puede ver que aquella que entrega el menor tonelaje de sólidos es el caso base con 10,2 tph, seguido por el caso de columna corta con 10,6 tph y finalmente las celdas convencionales las cuales entregan 12,9 tph. Por lo que, al basarse en los parámetros analizados anteriormente, las celdas convencionales no sólo obtienen una mayor recuperación, sino que también un mayor tonelaje de sólido que se puede procesar; aunque con una ley final un tanto menor que en los otros casos.

**Tabla 44; Simulación caso celdas convencionales sin realizar ninguna modificación.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,12	37,63	2,26

Al realizar el análisis de sensibilidad se puede notar que al aumentar la ley a un 35%, no se ven mayores variaciones ni en la recuperación en peso, ni en la recuperación metalúrgica, variando

sólo en el segundo decimal por lo que es imperceptible notar algún tipo de tendencia o mejoría tanto al mantener, aumentar y disminuir el tonelaje de sólidos.

Al disminuir la ley a un 12%, se percibe que, el caso donde se aumenta el tonelaje es aquel que presenta la menor recuperación metalúrgica, sin embargo, la recuperación en peso aumenta levemente por lo que se podría pensar que, para las celdas convencionales, éstas están entregando un concentrado de mayor volumen, aunque el contenido de fino no se ve incrementado. Los casos en los cuales no se realiza una modificación en el tonelaje y disminución de éste, no presentan ninguna diferencia (después del quinto decimal), por lo que no es posible discernir cual opción es la que presenta una mayor recuperación.

## 5.2 Evaluación de las alternativas simuladas

Para este análisis se considera el fino concentrado en la etapa de 4° limpieza obtenido por medio de las simulaciones para los casos base, columna corta y celdas convencionales. Se debe considerar que dicho mineral es procesado nuevamente por una quinta etapa de limpieza, la cual será considerada constante e igual para todas las alternativas, por lo que se utiliza el valor obtenido en el balance de masa global que corresponde a una recuperación metalúrgica de 89,8% y una recuperación en peso de 78,5%.

El análisis que se muestra a continuación corresponde a una estimación, debido a que el valor del molibdeno se considera como el promedio entre enero y julio de 2016, el cual equivale a 6,22 US\$/lb, (Cochilco, 2016), sin embargo, la comercialización de este mineral se rige por contratos específicos entre Codelco, división El Teniente con compradores singulares.

De los análisis obtenidos para los 3 casos, considerando una ganancia anual y con la planta trabajando de forma continua por ese periodo, se observa que la mejor opción es la que resulta del uso de celdas convencionales, seguida por el caso de columna corta y finalmente la réplica realizada con las condiciones actuales de la planta. Este fenómeno ocurre para todas las opciones evaluadas, es decir, variando la ley de alimentación a la 3° limpieza a un 35 y 12% y modificando el tonelaje desde 24 a 60 tph. En base a lo anterior el beneficio adicional entregado por las celdas convencionales se presenta en la Tabla 45. El desglose de la ganancia de cada uno de los casos se muestra en Anexos L.

**Tabla 45: Ganancia anual al realizar el cambio columnas por celdas convencionales, en base a las simulaciones realizadas.**

		Beneficio al año (MUS\$)
Sin modificaciones		84,87
Ley 35%	Sin variar tonelaje	105,61
	Aumentar a 60 tph	103,73
	Disminuir a 24 tph	66,01
Ley 12%	Sin variar tonelaje	56,58
	Aumentar a 60 tph	113,16
	Disminuir a 24 tph	37,72

## Conclusiones

El análisis teórico y práctico del circuito de flotación selectiva de molibdeno permite extraer las siguientes conclusiones:

a.- La 3° limpieza es la que tiene menores recuperaciones metalúrgica y másica (26,6 y 8,8% respectivamente). El análisis nodal, sin embargo, indica que la etapa que favorece en mayor medida al aumento en la recuperación global es la 2° limpieza, por lo que poner los esfuerzos en un aumento de ésta es una buena estrategia.

b.- Las simulaciones realizadas con parámetros obtenidos en la caracterización de celdas indican que la recuperación metalúrgica en el caso de las celdas convencionales, es un 16% mayor que el caso base, mientras que la ley de molibdeno sólo muestra un descenso de 1,7%. En términos de la evaluación económica esta alternativa es la que deja mayor ganancia de forma anual, llegando a 84,87 MUS\$, por lo que esta alternativa es la más viable.

c.- Estudios relacionados con el balance de masa de reactivos indican que el uso directo de la espectrofotometría UV-Visible es una técnica viable para determinar la concentración de algunos reactivos. Probablemente, el uso de otras técnicas como infrarrojo sería de utilidad para construir el balance de forma más precisa. El estudio realizado en este aspecto indica una posible acumulación de sulfato en las aguas de proceso derivadas de la recirculación de aguas donde se ha adicionado sulfhidrato.

La caracterización de las celdas columnares indica que:

a.- En relación a la velocidad superficial de área de burbuja, ésta es menor con respecto a lo reportado en la literatura, donde se observa que los valores de este parámetro deberían estar al menos sobre  $35 \text{ s}^{-1}$ .

b.- La columna 6 es la que presenta menor carga de burbuja y por lo tanto menor recuperación en la zona de colección y mayor recuperación en la zona de espuma. Además es la columna 4 la que presenta mayor dilución, ya que la diferencia entre las leyes del concentrado y *Top of Froth* es la mayor, siendo además la que presenta menor recuperación en la zona de espuma, bajo este punto de vista aumentar el nivel de espuma ayudaría a aumentar la ley en dicha celda. En términos generales se puede decir que existe una relación inversa entre la recuperación en la zona de espuma y la dilución.

## Recomendaciones

Para obtener resultados más fidedignos de los valores obtenidos para los casos de pH, porcentaje de sólidos, potencial redox, conductividad, densidad de pulpa y gravedad específica se recomienda realizar muestreos periódicos en puntos de interés, sobre todo a la alimentación que recibe la planta, a los concentrados obtenidos por las diferentes etapas y a la cola general enviada a la planta Caletones.

En base a la gravedad específica se podrían realizar un mayor número de pruebas para poder correlacionar la ley de Mo con este parámetro, de tal forma de poder estimar en la operación la ley de Mo, en base a la gravedad específica que presenta la pulpa.

Se recomienda evaluar el impacto del porcentaje de sólidos en la recuperación y ley en las etapas de flotación *Rougher* y 1° limpieza que se observan con alto tratamiento.

En base a las simulaciones realizadas es importante considerar que el estudio corresponde a una primera aproximación al cambio de celdas de flotación y se requiere de análisis más acabados para tener una precisión mayor en términos del beneficio real de realizar dicha modificación.



## Bibliografía

Acuña, C., Finch, J.A. *Tracking velocity of multiple bubbles in a swarm International Journal of Mineral Processing* 94, 2010. p.147-158.

Acuña, C., Finch, J.A., Gomez, C.O., Hernandez-Aguilar, J.R., Nasset, J.E. *Some gas dispersion characteristics of mechanical flotation machines. Minerals Engineering* 19, 2006. p. 807-815.

Adair, B.J.I., Bradshaw D., Triffett, B., Veloo, C. *An investigation of the factors affecting the recovery of molybdenite in the Kennecott Utah Copper bulk flotation circuit.* 2008.

Améstica, L., Quijada, R. Villaseca, D. *Molibdeno: Propiedades, aplicaciones y mercado, Chile.* 2010. p. 2-10.

Ametov, I., Grano. S., Zanin, M. *Technical challenges in the flotation of molybdenite from porphyry cooper ores.* 2010.

Ametov, I., Grano. S., Gredeji, S., Zanin, M. *Cooper and molybdenite recovery in plant and batch laboratory cell in porphyry cooper Rougher flotation.* 2014.

Bahena, A., López, A., López, S., Madrid, I., Reyes, J. L., Sánchez, A. *Propiedades de la interface molibdenita/solución acuosa y su relación con la flotabilidad del mineral.* 2006.

Barker L.M., Clifton, Young, O.E. *Flotation recovery of molybdenite.* 1953.

Barona, F. *Influencia de la distribución de tamaño de burbuja en la recuperación de la flotación para minerales de cobre. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Metalurgia Extractiva, Universidad de Chile,* 2007.

Beas-Bustos, E., Crozier, R.D. *Moly/Copper separation from concentrate of the combined acid and basic circuits at El Teniente. Minerals Engineering. Volumen 5. Números 3-5.* 1992. P.357-379.

Bender, F.N., Hoover, R.M., Malhotra, D. *An analysis of the effect of some operating variables on flotation of molybdenite and its implication on control.* 1977.

Bender, F.N., Hoover, R.M., Malhotra, D. *Effect of agitation and aeration on flotation of molybdenite.* 1980.

Bhasin, A.K., Malhotra, D., Rowe, R.M. *Evaluation of collectors for molybdenite flotation.* 1985.

Bhodayi, C. *Measurements of particle loading on bubbles in froth flotation.* 2010.

Bisshop J.P. *A Study of Particle Entrainment in Flotation Froths, B.Sc. Thesis, University of Queensland.* 1974.

- Brunskill, G.R. *The magna San Manuel molybdenite recovery circuit an operational review*. 1985.
- Brunskill, G.R. *The magna San Manuel molybdenite recovery circuit an operational review*. 1986.
- Bulatovic, S.M. Handbook of flotation reagents. Edited by Elsevier Science and Technology Books. 2007. p. 448.
- Casali, A., Rodríguez, F., Vallebuona, G. Caracterización de la distribución de burbujas en celdas de flotación de minerales. 2006.
- Casas, J. Especiación y solubilidad de compuestos de molibdeno en el sistema Mo(VI)-H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaOH. 2007.
- Castro, S. Informe final: Mejoramiento ley concentrado final de molibdenita, división Andina. 2004.
- Castro, S.H., Stoker, R. *The effect of hydrophobic agglomeration on the flotation of fine molybdenite*. 1997.
- Catalán, E. Evaluación metalúrgica/ operacional columna corta, proyecto IM2 66/04. Estudio de aumento de flexibilidad, planta de flotación de molibdeno, división Andina. 2005.
- Chander, S., Fuerstenau, D.W. *On the natural flotability of molybdenite*. 1972.
- Claudet, H.H. Molybdenite in Canada, *Resumé of occurrences and Milling Methods*. Volumen XLVII. 1944. p. 87-98.
- Clift, R., Grace, J.R., Webber, M.R. Bubbles, *Drops and particles*. Edited by Academic Press. U.S.A. 1978. Capítulo 9. p. 2,21-241.
- Comisión chilena del cobre, Mercado internacional del molibdeno, 2015.p. 1-10.
- Dryzmala, J., Kowalczyk, P.B., Foszcz, D., Henc, T., Luszczkiewicz, A. Analysis of separation results by means of the grade-recovery Halbich upgrading curve. 2012.
- Do, S., Finch, J.A., Girgin, E.H., Gomez, C.O. *Bubble size as a function of impeller speed in a self-aeration laboratory flotation cell*. 2005.
- Dobby, G., Falutsu, M. *Froth performance in commercial sized flotation columns*. *Minerals Engineering*. 1992. p. 1207– 1223.
- Dobby, G.S. Finch, J.A. *Column Flotation: A Selected review, part II*, volumen 4. 1990. p. 911-923.
- Dong, T. Wightman, E.M. Franzidis, J-P. Montes-Atenas, G. *Assessment of the consistency between different laboratory froth stability measurements*. XXV International Mineral Processing Congress IMPC, Brisbane, QLD, Australia, 6-10 septiembre 2010.
- Dorfler, R.R., Laferty, J.M. *Review of Molybdenum Recovery Processes*. 1981. p. 1-7.

Duke, F.R. *The Komarowsky reaction. Analytical Chemistry*, volumen 19, número 9 1947. p. 661-662.

Enzima, V. Diagnostico Operacional y modificaciones al circuito/proceso para un aumento en la recuperación de la planta de flotación de molibdeno, El Teniente. 2007.

Fee, B.S., Klimpel, R.R. *Chemical reagents in the mineral processing industry*. 1986. capítulo 13. p. 119.

Franzidis, J-P., Manlapig, E. V., Seaman, D. R. *Bubble load measurement in the pulp zone of industrial flotation machines—a new device for determining the froth recovery of attached particles*. Int J Miner Process. 2004. p. 1-13.

Finch, J.A. *Column Flotation: A selected review, Part IV: Novel flotation devices*. 1995. p. 588-595.

Gorain, B.K. The effect of bubble surface area flux of the kinetic of flotation and its relevance to scale up. *PhD.degree Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) University of Queensland*, 1998. p. 363.

Grau, R.A., Heiskanen, K. *Gas dispersion measurements in a flotation cell, minerals engineering*. 2003.

Grony, G., Martínez-Santana, M., Montero-Serrano, J. C., Riboulleau, A., Tribouillard, N. *Geochemical behavior of molybdenum and its isotopes in the sedimentary environment*. 2005. p. 150.

Guang-yi, L., Hong, Z., Yi-ping, L., Zhan-fang, C., Zheng-he, X. *A novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper–molybdenum ore*. 2012.

Gupta, A., Yun, D.S. 2016. *Mineral processing design operations, An introduction*. Edited by ELSEVIER. Primera edición, 2006. Capítulo 16. p. 564-584.

Gupta, C.K., Ph.D, *Extractive metallurgy of molybdenum*, edited by CRC Press. 2000. p. 87-110.

Hatton, T., Hulbert, D., King, R. *Bubble loading during flotation*. 1974. p. 112-114.

Heiskanen, K. *On the relationships between flotation rate and bubble surface area flux*, *Minerals Engineering*, volumen 13, número 2, 2002. p. 141-149.

Hernanz, R. Estudio sobre la reducción de antraquinona con sulfito sódico. Aplicación a la industria papelera. Tesis doctoral, Madrid. 1994.

Hirajima, T., Ichikawa, O., Miki, H., Mori, M., Sasaki, K., Sawada, M. *Selective flotation of chalcopyrite and molydenite by surface oxidation*. 2014.

Hu, Y., Sun, W., Wang, D. *Electrochemistry of flotation of sulphide minerals*. Springer. 2009. p. 210.

- Huang, L., Li, Z., Xiao, S., Xiao, X., Zhang, G., Zhao, X. *The effect of grinding environment on flotability of micro-fine disseminated molybdenite*. 2012.
- Hurlbut, C.S., Klein, C. Manual de mineralogía. Edited by Reverte, S.A., cuarta edición, volumen II. 2006. p. 407.
- Imaizumi, T., Inoue, T. *Kinetic consideration of froth flotation, in mineral processing, A. Roberts, ed., Proceedings of sixth international mineral processing congress, France*. 1963. p. 581-590.
- Jang W. H., Miller J. D. Yalamanchili M. R., Ye Y. *Molibdenite flotation from copper/molybdenum concentrates by ozone conditioning*. 1990.
- Jowett, A. Resolution of flotation recovery curves by a differential plot method. *Transactions, American Society of Mining and Metallurgical Engineers*, Volumen 85, 1974. p. 263-266.
- Kelly, E.G., Spottiswood, D.J. Introduction to mineral processing. Edited by John Willey and Sons inc. First edition. 1982. p. 516.
- King, R.P. *Modeling and simulation of mineral processing systems. Edited by Butterworth Heinemann*. 2001. p. 405.
- Land L., Raghavan, S. *Factors affecting the flotation recovery of molibdenite from porphyry cooper ores*. 1984.
- Lauder, D.W. *Flotation circuit performance theory. M.Sc.degree Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) University of Queensland*, 1988. p. 277.
- Lepetic, V.M. *Flotation of copper and molybdenum sulfides without collector*. 1972.
- Lobos, L. Evaluación del uso de NaSH en el circuito de flotación selectiva de molibdeno de Los Pelambres, Memoria para optar al título de ingeniero civil química, Universidad de Chile, 2015.
- López, A., Reyes, J.L. *Flotación de calcopirita, pirita y molibdenita en minerales de cobre tipo pórfidos*. 2005. p. 6-14.
- Lynch, A., Harbort, G., Nelson, M. History of flotation. *Edited by AusIMM*. 2010. p. 364.
- Madrid Ortega, I., López Valdivieso, A., Reyes Bahena, L., Sanchez López, A., Song, S. Propiedades de la interfase molibdenita/solución acuosa y su relación con la flotabilidad del mineral, 2005.
- Massinaei, M., Kolahdoozan, M., Noaparast, M., Oliazadeh, M., Yianatos, J., Shamsadini, R., Yarahmadi, M. Hydrodynamic and kinetic characterization of industrial columns in rougher circuit. 2009.
- Montes-Atenas, G. *Experimental protocol enabling the use of X-Ray photoelectron spectroscopy in concentrators. Case study: Regrinding stage. 142<sup>nd</sup> SME Annual Meeting and Exhibit and CMA 115<sup>th</sup> National Western Mining Conference, 24-27 febrero*. Denver, Colorado, Estados Unidos. 2013.

- Morrison, R.D. An introduction to metal balancing and reconciliation. *edited by Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC)*, 2008. p. 618.
- Nakhael, F., Irannajad, M. *Predicction of on-line froth depth measurement errors in industrial flotation columns: a promising tool for automatic*. 2013.
- Napier-Munn, T., Wills, B. *Mineral Processing Technology, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, edited by ELSIVIER, séptima edición, 2006. p. 267-295.
- Papin, J.E. *Flotation of molybdenite at the Merenci concentrator*, in *AIME Transactions*. 1995. p. 145-147.
- Rodoljub, D., Stanojlovic, Sokolovic, J.M. *A study of the optimal model of the flotation kinetics of copper slag from copper mine BOR*, in *Archives of mining Sciences*. 2014. p. 823-824.
- Savassi, O.N. *Direct estimation of the degree of entrainment and the froth recovery of attached particles in industrial flotation cells*, *Ph.D. Thesis, University of Queensland, Australia*. 1998. p. 307.
- Savassi, O.N. Direct estimation of the degree of entrainment and the froth recovery of attached particles in industrial flotation cells. *PhD. degree Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) University of Queensland, 1999- p. 509*.
- Seaman, D. *Selective transport of attached particles across the froth phase*. 2006. p. 174.
- Shirley, J.F. *New concepts in by product molybdenite plant desing*. 1979.
- Smith, P.G., Warren, L.J. Entrainment of particles into flotation froths, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, volumen 5, 1989. p. 123-145.
- Vera, M. *A touch of froth: How bubble-particle aggregates take the strain*. *PhD. degree Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) University of Queensland*, 2002.
- Wiley, *Ullmanns Enciclopedi of industrial of chemistry*. 2007. p. 1-5.
- Yianatos, J. Informe 1. Diseño de columna corta planta de flotación selectiva de molibdenita, división Andina. 2004.
- Yianatos, J.B., Levy, A. *Estimation of gas hold-up, diameter and apparent density of mineralized bubbles in industrial flotation columns*. In: *Proceedings of the International Colloquium: Developments on Froth Flotation*, 1989. Volumen 2, Cape Town.
- Yianatos, J.B. y Contreras F.A. *On the Carrying Capacity Limitation in Large Flotation Cells*, *Canadian Metallurgical Quarterly*. 2010.

## Anexos

### **Anexos A: Antecedentes: Características de la Molibdenita**

La molibdenita es un disulfuro de molibdeno ( $\text{MoS}_2$ ), que contiene 40% Mo y 60% S. Presenta además flotabilidad natural, es decir, no requiere de reactivos colectores para ser flotado, hipotéticamente. Esta flotabilidad natural se origina de su estructura cristalina. (Lopez, et al, 2006), (Triffett, et al, 2008).

El disulfuro de molibdeno es un compuesto que se encuentra en la naturaleza en forma cristalina. Es un metal no magnético de color grisáceo a negro hierro, con un ligero tinte violeta, su raya es negra grisácea y presenta un brillo metálico. El clivaje es perfecto (0001) con láminas flexibles, pero no elásticas, además sus cristales son alargados y tabulares. En términos de dureza este mineral es más bien blando y se cataloga con N° 1-1,5 en la escala de Mohs, posee una densidad de  $4,45 \text{ t/m}^3$  y un peso molecular de  $160,07 \text{ g/mol}$  y es graso al tacto (Klein y Hurlbut, 2006).

La molibdenita tiene una unidad estructural hexagonal, que muestra la presencia de capas poliédricas en coordinación con prismas trigonales, donde cada átomo de Mo está rodeado por un prisma trigonal de átomos de azufre. La estructura cristalina de  $\text{MoS}_2$ , se presenta de modo esquemático en la Figura 76. En esta estructura cristalina se tienen dos tipos de enlaces: (i) enlaces covalentes entre átomos de Mo-S y (ii) enlaces de van der Waals entre capas de S-Mo-S. Debido a esta característica estructural, las partículas de  $\text{MoS}_2$  presentan dos tipos distintos de superficie: 1) una superficie que se crea por ruptura de enlaces de van der Waals, que se conoce como “cara” y 2) una superficie que se genera por ruptura de enlaces Mo-S, que se conoce como “borde”. La ruptura de cristales de molibdenita, a lo largo de las caras, crea superficies no polares, que se caracterizan por su baja energía, por lo que presenta características hidrofóbicas. Además, posee carga química neutra y su atracción por el agua es leve. En los bordes, la ruptura de los enlaces Mo-S, crea superficies polares, que son químicamente activos, por lo que, al estar en contacto con el agua tienden a formar compuestos oxidados. A diferencia de las caras, estas son hidrofílicas.

La relación cara/borde que depende del tamaño de partícula, determina la flotabilidad natural del mineral. Para partículas de tamaño fino, esta relación cara/borde es baja; como consecuencia, su flotabilidad es baja, en relación a la que se tiene con partículas gruesas (Zanin, 2009).

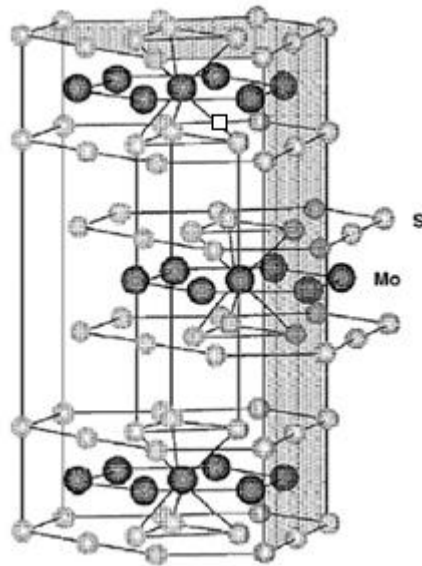


Figura 76: Estructura cristalina de la molibdenita (modificado de Zanin, 2009).

El borde de las partículas de molibdenita es el principal contribuyente en la generación de cargas eléctricas, asumiendo así que la cara tiene carga despreciable. El potencial electrocinético o potencial zeta, depende de la relación entre cara/borde de las partículas de molibdenita. A mayor relación entre éstas, el potencial zeta se torna más negativo, tal como se presenta en la Figura 77.

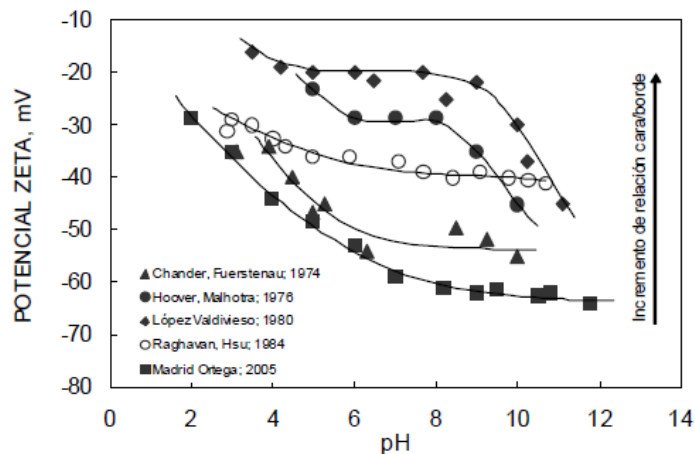


Figura 77: Variación del potencial zeta vs pH (modificado de López y Reyes, 2005).

Al aumentar el potencial zeta, la repulsión eléctrica entre las partículas de  $MoS_2$  y la burbuja aumenta, por lo que se genera una disminución en la probabilidad de adherencia entre éstas, dicha probabilidad también se ve aminorada al disminuir el tamaño de partícula, dado que la relación cara/borde decrece. (López y Reyes, 2005)

Los diagramas de Eh-pH se muestran en la Figura 78 y Figura 79 donde el rango de estabilidad del molibdeno se muestra en la Figura 78 observando que este es estable en casi todo el rango de pH, en un campo negativo de Eh. (Montero-Serrano et al, 2005).

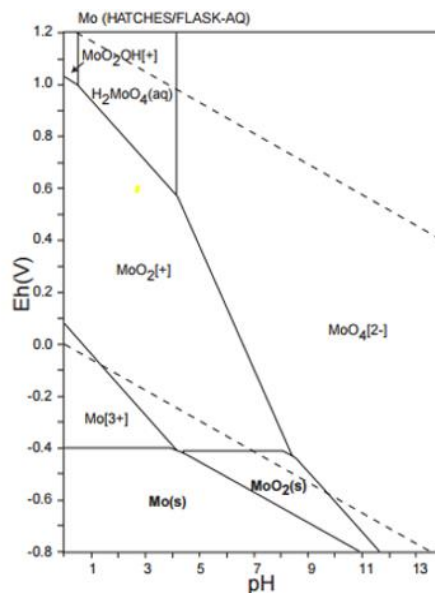


Figura 78: Rango de estabilidad del molibdeno, (Montero-Serrano et al, 2005).

El molibdeno metálico ( $\text{Mo}^0$ ) es estable en condiciones reductoras ( $E_h < 0,1 \text{ V}$ ) y su estabilidad disminuye, en la medida en que se aumenta el pH de la solución, observándose que para  $\text{pH} > 8$  esta especie sólo es estable en condiciones muy reductoras ( $E_h < -0,3 \text{ V}$ ). En condiciones oxidantes y alcalinas la molibdenita se disuelve formando iones molibdato (Casas,2007).

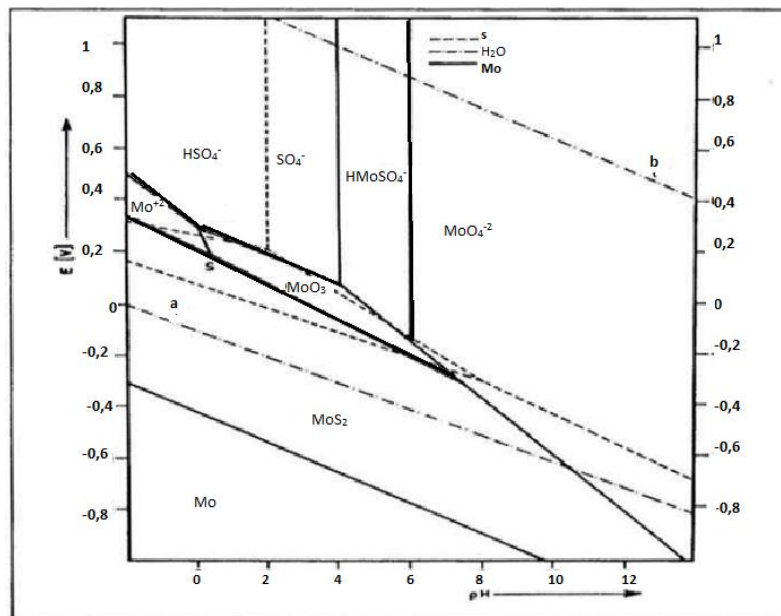


Figura 79: Rango de estabilidad de la molibdenita.



## Anexos B: Proceso productivo de El Teniente

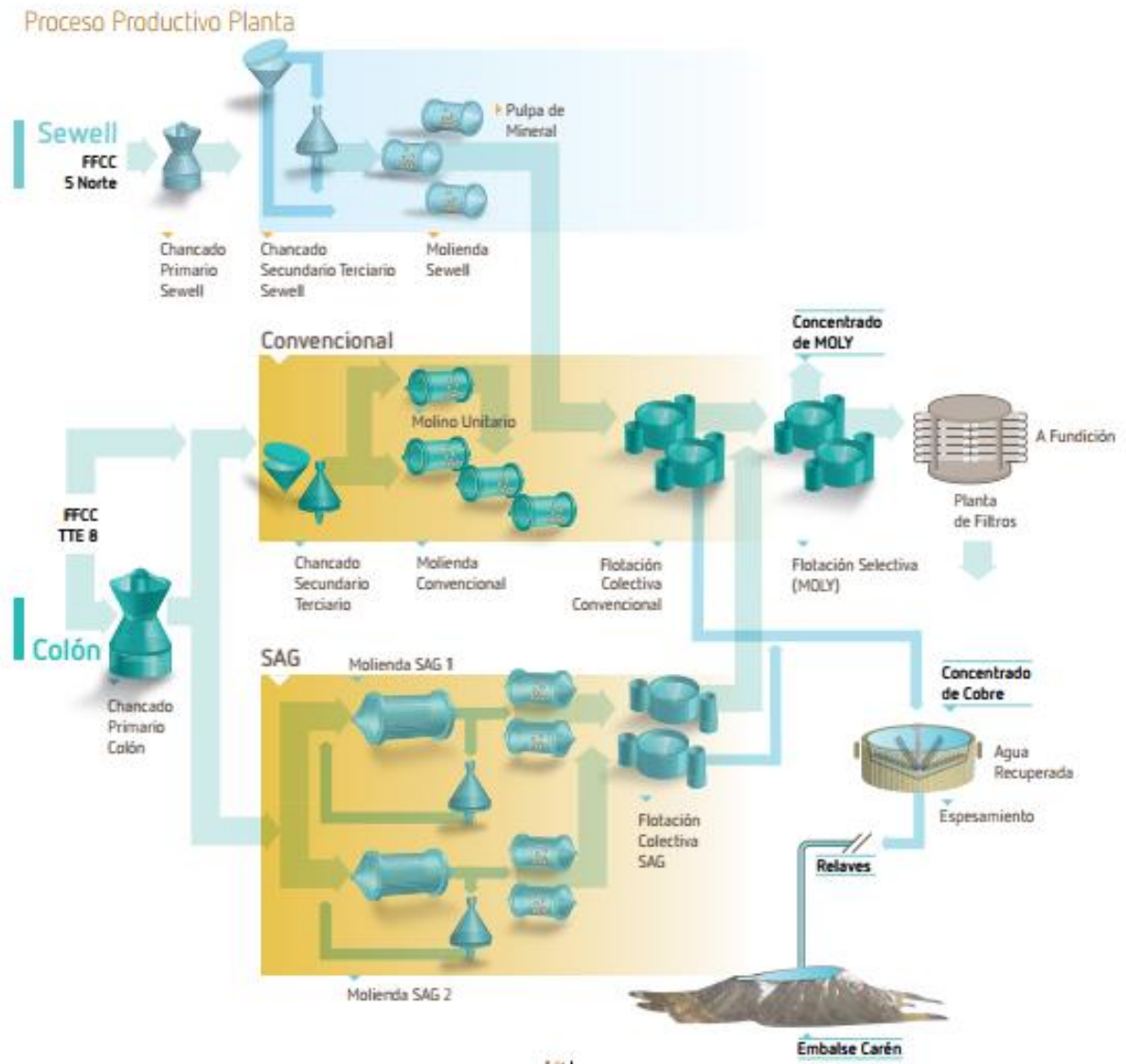


Figura 80: Diagrama de flujos proceso productivo planta, división El Teniente.

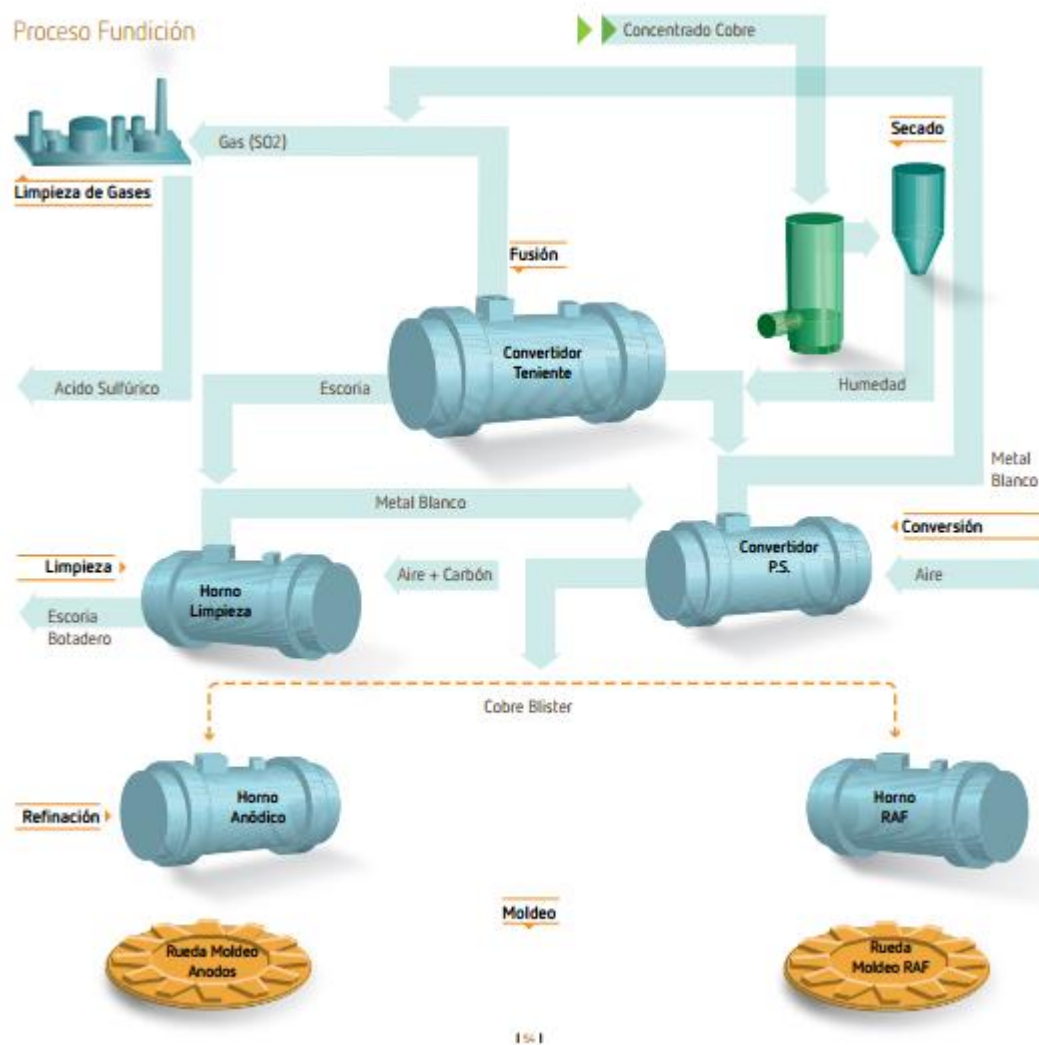


Figura 81: Diagrama de flujos proceso productivo fundición, división El Teniente.

## Anexos C: Materiales, equipamiento

### 1.1 Reactivos

1. Agua destilada.
2. Acetona.
3. NaSH (Sulfhidrato de sodio)
4. TioFos
5. Ácido Sulfúrico
6. Kerosene
7. Agua de proceso

### 1.2 Equipamiento menor

1. Cortador de flujo
2. Baldes
3. Agitador mecánico de pulpa marca IKA modelo RW20 digital.
4. Balanza digital marca *Mettler Toledo* modelo xs4001s.

5. Balanza digital marca *Mettler Toledo* modelo PG503-s.
6. Balanza digital marca *Mettler Toledo* modelo SB32001 *DeltaRange*.
7. pHmetro marca *Thermo scientific* modelo *Orion 4 star*.
8. pHmetro marca *Corning* modelo 320.
9. Conductivímetro *Vario Cond Set* modelo WTWA2X00-001<sup>a</sup>.
10. pHmetro marca *Schott*.
11. Medidor de potencial redox marca *Schott pH-elektrode blueline* 28 pH.
12. Pignómetro *Marienfeid*.
13. Probeta marca *Kimax Kimble*, 1000 ml.
14. Agitador de tamices *Ro-Tap, Haver & Boecker Tyler* modelo Rx-29-10.
15. Serie de tamices *Tyler Standard screen Scale*, # 48, #65, #100, #150, #200, #270, #325.
16. Cortador giratorio *Serquimet LTDA*. modelo GW44204.
17. Horno marca *WTC binder*.
18. Celda de flotación *Wemco*.
19. *Cyclosizer Warman*.

### 1.3 Equipamiento mayor

#### Espectrofotómetro marca *Jenway* modelo 6705

Un espectrofotómetro se compone de 5 elementos principales (Figura 82).

- Una fuente de luz, por lo general es una lámpara de Wolframio que emite radiación en longitudes de onda de 150 [nm] hasta 1100 [nm].
- Un monocromador que selecciona un haz de luz con una longitud de onda determinada. Lo cual se logra mediante el uso de rejillas de difracción y filtros para descomponer la luz de la lámpara.
- Un porta muestras transparente, de un material como plásticos y/o cuarzo.
- Un detector que mide la intensidad del haz transmitido. Generalmente se trata de una celda fotoeléctrica que traduce la señal en intensidad de corriente o diferencia de potencial.
- Una pantalla de visualización.

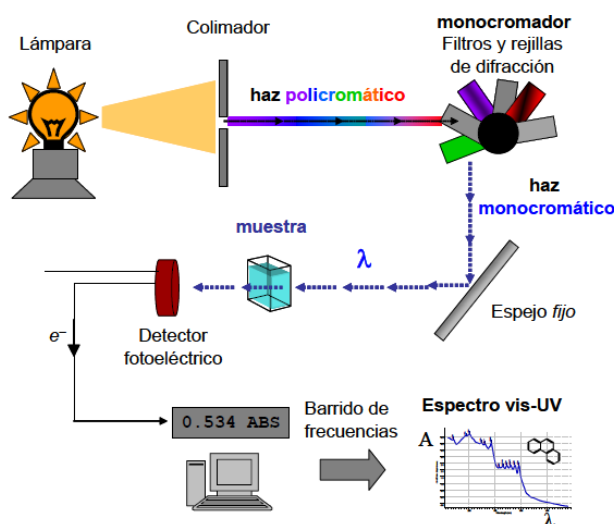


Figura 82: Espectrofotómetro UV-visible

El equipo es utilizado en el rango del UV-visible que realiza funciones tales como mediciones fotométricas, mediciones de espectros UV-visible, mediciones de cinéticas de reacciones y mediciones en varias longitudes de onda en forma simultánea. La Tabla 46 muestra las especificaciones técnicas del equipo utilizado.

**Tabla 46: Especificaciones técnicas del espectrofotómetro 6705.**

Fuente de luz	Xenon
Anchura de banda espectral	4 [nm]
Rango de longitud de onda	190-110 [nm]
Resolución de longitud de onda	0,1 [nm]
Precisión de la longitud de onda	±1,0 [nm]
Reproducibilidad de la longitud de onda	±0,2 [nm]
Rangos fotométricos	-0,300 - 3.000 A
Resolución fotométrica	0,001 A
Precisión fotométrica	±0,005 a 1 A
Estabilidad fotométrica	< 0,001 A por hora
Velocidad de escaneo	1500 [nm/min] con intervalos de 0,1 [nm]
Rango de cuantificación	-99999 a +99999

### **Bubble viewer**

El equipo *bubble viewer* se compone de 5 elementos principales:

1. Cámara fotográfica digital D7200 Nikon
2. Cámara de visualización de burbujas
3. Tubo removible de ingreso de burbujas desde la celda de flotación
4. Tapón removible para permitir el ingreso de pulpa a la celda.
5. Lámpara.

El equipo es utilizado para medir los parámetros de dispersión de gas y el tamaño de burbujas que está presente en la celda en un tiempo determinado, además es posible medir la carga de burbujas presentes, por medio del cálculo del volumen de gas y el sólido que ingresa a la cámara de visualización de burbujas. El esquema de la Figura 83 ilustra el equipo antes descrito:

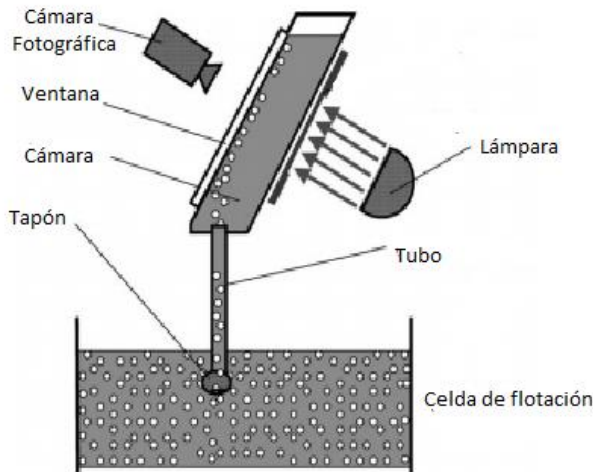


Figura 83: Esquema de configuración equipo de medición *Bubble viewer*.

La cámara fotográfica *D7200 Nikon* corresponde a una cámara digital *réflex* de objetivo único con 24,2 millones píxeles efectivos y una ampliación de Aprox. 0,94 aumentos (objetivo de 50 mm y  $f/1.4$  ajustado en infinito). Sin embargo, el lente utilizado no corresponde al original de la cámara fotográfica, si no al lente Nikon, modelo “*Nikkor Lens AF-S Micro Nikkor*”. Este lente posee una distancia focal de 60 mm, una apertura máxima de  $f/2,8$ , ángulo de imagen de  $26^{\circ} 30'$  en el caso de cámaras DX de Nikon, escala de proporción de reproducción de 1:10- 1:1 (escala natural) y una distancia de enfoque mínima de 0,185 m (tamaño natural).

## Anexos D: Metodología de caracterización de muestras minerales.

### 1. Determinación de la densidad de pulpa y porcentaje de solido

Propósito: Obtener de forma precisa el porcentaje de sólidos de la pulpa mineral en base a la densidad de pulpa.

La densidad de pulpa se define como la razón entre el peso o flujo másico de una pulpa y su volumen o flujo volumétrico. Para determinar la densidad de la pulpa mineral es necesario seguir con el siguiente procedimiento:

Primero se debe mover la pulpa con ayuda del agitador mecánico por 20 min. para homogeneizar la mezcla. Se tara la pesa con la probeta de 1 litro y luego se completa con la muestra hasta alcanzar dicho volumen, el cual es llevado a la balanza para obtener los gramos por litro de la muestra. El porcentaje de sólidos se obtiene de forma teórica según la Ecuación 24:

$$\% \text{ Sólido} = \frac{(G.E * (\rho - 1))}{(\rho * (G.E - 1))} * 100$$

Ecuación 24: Obtención del porcentaje de sólidos.

donde G.E es la gravedad específica del sólido seco y  $\rho$  es la densidad de pulpa.

Para determinar la ley de cobre, molibdeno, hierro, azufre e insoluble, la gravedad específica y la granulometría de las muestras, se debe realizar el proceso de filtrado y secado en horno a  $40^{\circ}$ - $60^{\circ}\text{C}$  para eliminar la humedad restante y posterior disgregación de la muestra por la #100. Una vez realizado esto se separa la muestra en 4 por medio de un cortador giratorio. Se toman 30 g para

ser enviados a análisis químico y determinar las leyes antes mencionadas. Para el caso de la gravedad específica se separan 10 g de muestras y para granulometría 300 g. El contenido restante es guardado como testigo.

## 2. Determinación del pH y potencial redox

El pH es determinado mediante medición directa por medio de un pHmetro, en las muestras tomadas inmediatamente después de ser recuperadas.

El potencial redox es una medida del poder oxidante/reductor de la solución acuosa. Cuando este potencial es negativo, indica que el ambiente acuoso es reductor, mientras que para potenciales positivos el ambiente es más bien oxidante. Este se obtiene por medio de un medidor de potencial de forma directa, destacando que los resultados fueron corregidos, contrastándose contra el electrodo de hidrogeno.

## 3. Determinación de la gravedad específica

Propósito: Determinar la relación entre la densidad de una sustancia, comparada con la del agua y/o cetona a 20° C. Este parámetro es utilizado para diferentes cálculos metalúrgicos (porcentajes de sólidos, etc.).

La gravedad específica es la razón entre la densidad de una especie y la densidad del agua. El siguiente corresponde al procedimiento seguido para su obtención:

Se rolea y cuarteo 10 g de muestra previamente separados, para garantizar la homogeneidad del mineral seleccionado para el análisis. El procedimiento se detalla a continuación:

1. Pesar el picnómetro con tapa termómetro, frío y seco (**p**).
2. Pesar una cantidad de muestra entre 2 a 5 g y colocarla en el picnómetro.
3. Pesar el picnómetro con muestra (tapa termómetro incluida) (**m**).
4. Agregar una pequeña cantidad de agua destilada hasta tapan la muestra, llevarla a ebullición, retirar y repetir 2 ó 3 veces el mismo procedimiento.
5. Dejar enfriar, enrasar con agua destilada, poner tapa termómetro, llevar a 20°C y pesar (**s**).
6. Limpiar el picnómetro (botar muestra), lavar y secar.
7. Una vez seco y frío, llenar picnómetro con agua destilada, llevarlo a 20°C y pesar (**w**).
8. Calcular gravedad específica (G.E.) del sólido seco, usando la formula expuesta en la Ecuación 25:

$$G.E = \frac{m - p}{w - m - p - s}$$

**Ecuación 25: Obtención de la gravedad específica.**

donde,

G.E. es la gravedad específica del sólido seco.

p, m, s y w son los pesos registrado del picnómetro según la etapa del proceso.

Se debe destacar que, para el caso de los concentrados de molibdeno, el procedimiento con agua no es válido por lo que se utiliza cetona en vez de agua destilada. Los pasos 1,2 y 3 se realizan de forma idéntica al caso que utiliza agua destilada y luego se continúa el procedimiento de la siguiente forma:

1. Agregar cetona hasta enrasar.
2. Poner la tapa termómetro, llevar a 20°C y pesar (s).
3. Limpiar el picnómetro (botar muestra), lavar y secar
4. Una vez seco y frío, llenar picnómetro con cetona, llevarlo a 20°C y pesar (w).
5. Calcular gravedad específica (G.E.) del sólido seco, usando la Ecuación 25.

#### **4. Determinación de la granulometría**

Propósito: Conocer la granulometría y el porcentaje de material ultrafino contenido en las muestras.

La granulometría de las muestras se obtiene en base a la serie de mallas Taylor, considerando sólo las siguientes fracciones de tamaño: # 48, #65, #100, #150, #200, #270, #325.

Los 300 g seleccionados se deslaman para separar los ultrafinos del material grueso.

1. Posicionar la #325 sobre un tambor, en una zona donde se acceda a agua corriente de forma continua.
2. Agregar el mineral sobre la #325.
3. Agregar agua sobre ésta, para lograr la separación mineral.
4. Realizar este procedimiento hasta que el agua incorporada cae clara bajo el tamiz.
5. Filtrar el sobre tamaño.
6. Secar el sobre tamaño en el horno a 40-60°C
7. Dejar decantar el bajo tamaño en el balde por 2 horas, para retirar el excedente de agua por medio de una manguera. Si después de 2 horas el contenido no ha decantado, se debe esperar 1 hora más y volver a evaluar.
8. Filtrar el bajo tamaño.
9. Secar la muestra resultante en el horno a 40-60°C.
10. Pesar el contenido del bajo tamaño y sobre tamaño una vez secos.
11. Incorporar el sobre tamaño en la #48 de la serie de tamices Tylor.
12. Poner la muestra en el agitador de tamices por 18 min.
13. Pesar el mineral retenido sobre cada una de las mallas en la balanza,
14. Sumar el bajo tamaño resultante con el producto obtenido en el deslame.
15. Guardar la muestra menor a la #325 y mayor a #325 de forma separada.
16. La muestra de granulometría menor a #325 será dividida nuevamente mediante el clasificador por tamaños “Ciclosizer”, para obtener la distribución completa de las muestras (sólo en el caso del muestreo específico a las columnas).

#### **5. Distribución de tamaños de partícula mediante Cyclosizer**

Se realiza el test de ciclo mediante el equipo cicloziser a las muestras de alimentación a la 3° limpieza, concentrado y cola de la 3° y 4° limpieza. Debido a que las muestras antes mencionadas poseen una ley de molibdeno superior al 10% es necesario agregar acetona para disolver. El procedimiento sigue como se estipula a continuación:

1. Pesar 80 g de la muestra.
2. Depositar en el vaso receptor del equipo.
3. Añadir 50-100 cc de acetona y completar con agua destilada.
4. Ajustar el vaso receptor en el equipo, asegurando un correcto cierre.
5. Encender el equipo.
6. Abrir la válvula que permite el ingreso de agua.
7. Esperar 30 min. en los cuales el equipo clasifica en 5 ciclones el mineral a analizar.

8. Cerrar la válvula de agua.
9. Extraer el mineral contenido en cada uno de los ciclones en vasos precipitados.
10. Filtrar el contenido y secar en horno a 40-60°C.

Determinar la granulometría de las muestras para tamaños inferiores a la #325 para posterior análisis de leyes.

## **6. Leyes de molibdeno y cobre**

Propósito: Determinar la ley de cobre, molibdeno e insoluble en las muestras de la planta de flotación selectiva de molibdeno.

El siguiente análisis se divide para muestras con alto porcentaje de molibdeno y aquellas que no, considerando además que para las muestras con alto contenido de molibdeno la determinación de las leyes de Mo y Cu es diferente, por lo que deben ser trabajadas de forma distintiva. También se incluye el procedimiento para obtener la ley de Mo y Cu en muestras con alto contenido de cobre. Se debe destacar que la obtención de las leyes es desarrollado por personal de Codelco, división El Teniente.

### **a. Análisis de Molibdeno en muestras con alto contenido de cobre**

Para el caso de muestras con alto contenido de cobre la ley de molibdeno se determina de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Pesar 1 g de muestra en vaso de vidrio de 400 ml.
2. Adicionar 10 ml de ácido nítrico y 5 ml de ácido sulfúrico, tapar.
3. Destapar cuando se observe abundante desprendimiento de humos blancos y evaporar a sequedad total.
4. Enfriar y añadir 10 ml de ácido clorhídrico y agregar 40 ml de agua, hervir para disolver las sales.
5. Enfriar y agregar 1 ml de solución de sulfato de sodio y enrasar con agua a 100 ml.
6. Centrifugar y leer por Absorción Atómica bajo las siguientes condiciones:
  - Longitud de onda para molibdeno 313,3  $\mu\text{m}$  y llama de acetileno-óxido nitroso reductora.
  - Longitud de onda para fierro 248,3  $\mu\text{m}$  y llama acetileno-óxido nitroso oxidante.

### **b. Análisis de Molibdeno en muestras con alto contenido de molibdeno**

La ley de molibdeno se analiza mediante el siguiente protocolo experimental:

- Pesar alrededor de 250 mg de muestra seca y desaceitada. Atacar con 10 ml de ácido nítrico.
- Poner en plancha hasta eliminación de vapores nitrosos, luego sacar y enfriar.
- Agregar aproximadamente 2 ml de ácido perclórico y alrededor de 4 ml de ácido sulfúrico, luego colocar en plancha hasta casi quedar seco.
- Agregar aprox. 100 ml agua destilada.
- Adicionar aprox. 5 ml de ácido clorhídrico y calentar hasta casi ebullición.
- Filtrar por gravedad con papel cualitativo de porosidad media fina (8  $\mu\text{m}$ ) y recibir en vaso de 600 ml.
- Lavar dos veces con agua destilada y dos veces con amoníaco.
- Lavar 8 veces con solución de ácido clorhídrico al 1% y luego 4 veces con agua destilada y desechar el precipitado.



- Agregar al filtrado aprox. 15 ml de EDTA (50 g/l) y tres gotas de anaranjado de metilo.
- Si es necesario, agregar ácido clorhídrico hasta coloración rosada y neutralizar con amoniaco hasta solución amarilla.
- Calentar a ebullición y precipitar con aproximadamente 20 ml de solución de hidroxiquinoleína.
- Filtrar al vacío en *Goosh* tarado y lavar precipitado con aproximadamente 100 ml de agua caliente.
- Poner el *Goosh* en estufa a alrededor de 125° C por 2 horas mínimo. Enfriar y pesar.
- Calcular el porcentaje de molibdeno mediante la aplicación computacional de apoyo “Cálculos Químicos” del SIC-USPP.

**c. Análisis de cobre en muestras con alto contenido de molibdeno**

Para determinar la ley de cobre en muestras con alto contenido de molibdeno se deberá seguir el siguiente protocolo:

- Pesar aproximadamente 0,5 g de muestra seca y desaceitada en vaso de precipitado de 400 ml y atacar con aproximadamente 20 ml de ácido nítrico.
- Poner en plancha hasta casi sequedad y luego enfriar.
- Agregar aprox. 0,5 g de clorato de potasio y aprox.15 ml de ácido nítrico.
- Llevar a plancha hasta casi sequedad y agregar 5 ml aprox. de ácido sulfúrico y destapar cuando existan abundantes vapores de sulfúrico y la muestra esté totalmente clara, llevar a sequedad.
- Retirar, enfriar, agregar aprox. 5 ml de ácido sulfúrico, agua destilada por las paredes del vaso y completar hasta aproximadamente 50 ml, hervir hasta disolución total de las sales.
- Retirar, enfriar y lavar tapa.
- Aforar con agua destilada a 250 ml con probeta y centrifugar una porción de la muestra.
- Leer por Absorción Atómica.

**d. Análisis de cobre en muestras con alto contenido de Cobre**

La ley de cobre en muestras con alto contenido de este mineral, se determina mediante el siguiente procedimiento experimental:

- Pesar en balanza analítica 0,5 g. de muestra.
- Adicionar aprox.15 ml de ácido nítrico y 5 ml de ácido sulfúrico, poner en plancha hasta desprendimiento de humos blancos densos y secar.
- Enfriar, agregar aprox. 25 ml de ácido clorhídrico y agua destilada por las paredes del vaso hasta aprox. 50 ml, tapar y hervir hasta disolución de las sales.
- Retirar, enfriar y lavar tapa.
- Aforar con agua destilada a 250 ml.
- Centrifugar una porción de la muestra en tubo de ensayo a 2000 rpm, durante 5 min.
- Lectura por absorción atómica, utilizando mechero largo y con  $\lambda$  324,7 nm, leer una solución de 1,5 ppm de Cu.

**7. Análisis teórico de la recuperación global**

1- Recuperación Global: Se utilizan variables auxiliares para la obtención de la recuperación global.









$$\begin{aligned}
& (r1*r2*r3*r4*r5*(r6 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1)) * (r2 - 1) * (((r1*r2*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2^2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2 - (r1*r2*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r1*r2^2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4^2*(r4 - 1)/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2*(r4 - 1)*(r5 - 1)^2)/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^3*((r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2) + (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2*(r3 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2 - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + (r2*(r1*r2 - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) * (r3 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2))/((r1 + ((r1*r2 - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) * (r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) * (r3 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2))/((r1 + ((r1*r2 - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) * (r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) * (r3 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)^2)
\end{aligned}$$

5- Derivada de la recuperación global con respecto a la variable r4 (recuperación tercera limpieza):

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta R}{\Delta r4} = & (r5*r6*(r3*(r2*(r1 - ((r1*r2 - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) * (r3 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - ((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + r4*(r3*((r3*(r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2) - ((r1*r2*r3)/((r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r1*r2*r3*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r1*r2*r3^2*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)^2*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r1*r2*r3*r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r3*r4*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2)*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1)^2))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r2*((r1*r2*r3)/((r2*(r3 - 1) + 1) - (r1*r2*r3*r4*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r1*r2*r3*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r1*r2*r3^2*r4*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)^2*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2*((r4*(r5 - 1))/(r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + (r1*r2*r3*r4*(r5 - 1))/((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) - (r3*r4*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1)^2)*(r4 - 1)*(r5 - 1))/((r2*(r3 - 1) + 1)*((r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) + 1) + 1) + 1) + 1) - (r3*((r1*r2*r3*(r4 - 1))/(r2*(r3 - 1) + 1) -
\end{aligned}$$







$$+ 1) + 1) * ((r4 * (r5 - 1)) / ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1) + 1)) / ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1)) * (r3 - 1) / (r2 * (r3 - 1) + 1)) * (r2 - 1) + 1) - (r1 * r2 * r3 * r4 * r5^2 * r6) / ((r2 * (r3 - 1) + 1) * ((r1 + ((r1 * r2 - ((r1 * r2 * r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) - (r1 * r2 * r3 * r4 * (r4 - 1) * (r5 - 1)) / ((r2 * (r3 - 1) + 1) * ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1) * ((r4 * (r5 - 1)) / ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1) + 1)) / ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1)) * (r3 - 1) / (r2 * (r3 - 1) + 1)) * (r2 - 1) + 1) * ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1) * ((r4 * (r5 - 1)) / ((r3 * (r4 - 1)) / (r2 * (r3 - 1) + 1) + 1) + 1))$$

## 8. Cinética de flotación

Procedimiento a escala de laboratorio de la cinética de flotación:

1. Agitar 28 litros de pulpa para homogenizar por 15 min.
2. Tomar pH y densidad de pulpa.
3. Ajustar la celda de 2,6 litros a 1140 rpm.
4. Agregar la pulpa hasta completar 2,6 litros.
5. Se enciende la celda de flotación.
6. A medida que el mineral comienza flotar se paletea cada 10 s.
7. Cambiar la bandeja según el esquema mostrado en Figura 19.
8. Filtrar las muestras y secar en horno.
9. Pesarse cada muestra.
10. Enviar a análisis para determinar la ley de cobre y molibdeno.

## 9. Parámetros de simulación

### 9.1 Parámetros caso base y columna extra en la 3 y 4° limpieza

Tabla 47: Parámetros de la simulación caso base y columna corta.

	3° Limpieza	4° Limpieza
Gravedad específica pulpa (t/m <sup>2</sup> )	3,2	4,3
Velocidad superficial de gas (cm/s)	1,76	1,82
% Sólido (%)	22,5	25,9
Altura de espuma (m)	0,6	0,8

## 9.2. Parámetros celdas convencionales

Tabla 48: Parámetros celda Wemco 84, utilizado en la simulación del caso celdas convencionales.

Tipo de Celda	Labor	V(m3)	Q/V(min-1)	ds(mm)	Eg(%)	Jg(cm/s)	Sb(s-1)
Bateman	Cleaner	3	0.43	1.8	16	1.6	52
Wemco 84 (Bank)	Cleaner	4.2	0.70 - 0.98	1.3 - 1.5	14 - 26	1.3 - 1.9	56 - 78
Wemco 120 (Bank)	Cleaner	8.5	0.75 - 1.05	1.4 - 2.0	18 - 32	1.4 - 1.8	52 - 60
OK 8 Tank Cell	Rougher	10	0.06 - 0.08	1.2 - 1.4	7 - 12	1.0 - 1.4	47 - 62
Wemco Unit Cell	Cleaner	10	0.53	1.7	20	1.7	59
OK 16 (Bank)	Rougher	16	0.58 - 1.06	1.6 - 2.4	11 - 18	1.8 - 2.7	64 - 77
OK 16	Rougher	16	0.62 - 1.03	1.6 - 1.7	10 - 11	1.8 - 2.2	69 - 77
Wemco 144L (Bank)	Rougher/ Scavenger	16	0.32 - 0.54	1.3 - 1.6	10 - 15	1.0 - 1.5	47 - 56
Wemco 144D	Rougher	16	0.25 - 0.48	1.3 - 1.8	8 - 9	1.5 - 2.1	66 - 71
Wemco 144D (90)	Rougher	16	0.42 - 0.91	1.3 - 1.5	15 - 18	1.6 - 2.0	74 - 83
SK 500 Flash Cell	Flash	23	0.18	1.3	12	2.1	97
Wemco 164	Rougher	30	0.20 - 0.40	1.4 - 1.6	7 - 12	1.6 - 1.9	68 - 72
Wemco 164 (F)	Scavenger	30	0.27	1.4 - 1.8	14 - 22	1.7 - 2.0	67 - 77
OK 38	Rougher	38	0.18 - 0.28	1.9 - 2.1	15 - 21	1.4 - 2.2	43 - 63
OK 50 Tank Cell (FF)	Rougher	50	0.04 - 0.08	1.2 - 1.7	3 - 8	0.7 - 1.4	32 - 54
OK 50 Tank Cell (MM)	Rougher	50	0.04 - 0.08	1.2 - 1.6	8 - 10	0.7 - 0.9	33 - 37
Column Cell	Cleaner	60	0.07 - 0.09	2.6 - 2.7	18 - 22	2.6 - 2.7	58 - 63
OK100 (1)	Rougher	100	0.09			1.33	24 - 32
OK100 (2)	Rougher	100	0.07 - 0.095	1.03 - 1.41	8.6 - 15.6	0.63 - 0.81	34.1 - 42
Wemco 190	Cleaner- Scavenger	42	0.44			1.97	37 - 45
Wemco 225	Scavenger a	91	0.26			1.89	37 - 45
Wemco 225	Scavenger b	91	0.22			1.59	37 - 45
Wemco 225	Scavenger c	91	0.2			1.46	37 - 45
OK 38 4U	Cleaner	38	0.16 - 0.18			0.89 - 0.9	24 - 32
OK 38 3U	Cleaner	38	0.18			0.9	24 - 32
OK 8	Recleaner	8	0.52 - 0.71			0.75 - 1.39	24 - 32
CESL	Cleaner	280	0.04			1	
OK 150	Cleaner	150	0.02				24 - 32
Maxwell 38	Cleaner	54	0.023	1.32	8.52	0.52	23.7

## Anexos E: Evaluación de la planta Selectiva de molibdeno de El Teniente

### 1. Balance de masa global

Tabla 49: Balance de masa global, planta de flotación selectiva de molibdeno.

	Sólido (t/h)	Fino Mo (t/h)	Fino Cu (t/h)	Fino Ins (t/h)	Ley Mo (%)	Ley Cu (%)	Ley Ins (%)	% Sólido (%)	Pulpa (t/h)	Dens. p (t/m3)	Pulpa (m3/h)
Alim sin reciclo	205,5	1,1	58,6	18,6	0,5	28,5	9,1				
A. al P-4 (Conv.)	74,5	0,4	18,4	28,4	0,5	24,7	38,1	35,4	210,6	1,1	187,3
A a P-1 (SAG)	131,0	0,8	40,2	9,9	0,6	30,7	7,5	41,6	314,5	1,3	245,3
alim P-4	330,4	1,7	92,5	38,3	0,5	28,0	11,6	47,5	696,3	1,4	505,1
A.Titanic (P-1)	131,0	0,8	40,2	9,9	0,6	30,7	7,5	50,5	259,3	1,2	223,2

A. Titanic (P-4)	330,4	1,7	92,5	28,4	0,5	28,0	8,6	55,6	594,3	1,2	483,7
Desc. Titanic	461,4	2,5	132,7	38,2	0,5	28,7	8,3	51,8	827,1	1,5	558,8
A. Rouger	461,5	2,5	132,6	38,2	0,5	28,7	8,3	51,8	827,1	1,5	558,8
Conc. Rouger	257,5	2,1	74,1	19,7	0,8	28,8	7,6	56,7	454,3	1,8	251,0
A. P-5	204,0	0,4	58,5	18,6	0,2	28,7	9,1	54,0	377,8	1,5	253,6
Desc. P-5	204,0	0,4	58,5	18,6	0,2	28,7	9,1	63,8	319,7	2,0	156,9
A. 1° limp.	336,0	2,9	89,4	25,8	0,9	26,6	7,7	50,7	662,8	1,1	590,2
Conc. 1° limp.	80,0	1,5	15,4	6,2	1,9	19,2	7,8	49,0	163,4	1,3	121,1
Cola 1° limp.	256,0	1,3	74,0	19,6	0,5	28,9	7,7	52,7	485,7	1,4	357,5
A. P-2	108,8	4,7	20,6	9,9	4,3	18,9	9,1	42,6	255,4	1,3	190,3
Desc. P-2	108,8	4,7	20,6	9,9	4,3	18,9	9,1	43,8	248,4	1,2	205,1
A. 2° limp.	108,8	4,7	20,6	9,9	4,3	18,9	9,1	35,5	306,8	1,2	253,3
Cola 2° limp.	30,3	3,9	5,2	3,7	12,9	17,3	12,3	30,2	100,3	1,2	86,3
Conc. 2° limp.	78,5	0,8	15,4	6,2	1,0	19,6	7,9	28,4	276,4	1,2	235,4
A. P-6	31,6	4,3	5,3	3,9	13,7	16,9	12,3	30,4	103,9	1,2	89,0
Desc. P-6	31,6	4,3	5,3	4,0	13,7	16,9	12,8	22,5	140,2	1,2	114,9
A. 3° limp.	31,6	4,3	5,3	3,9	13,7	16,9	12,3	22,5	140,2	1,2	114,9
Cola 3° limp.	28,8	3,2	5,2	3,7	11,0	18,1	12,8	22,1	130,4	1,2	110,7
Conc 3° limp.	2,8	1,1	0,1	0,2	41,1	5,0	7,1	25,9	10,8	1,2	8,6
A. 4° limp.	2,8	1,1	0,1	0,2	41,1	5,0	7,1	20,1	13,9	3,9	3,6
Conc. 4° limp.	1,9	0,8	0,1	0,1	42,0	4,0	5,2	25,8	7,4	1,2	6,1
Cola 4° limp.	0,9	0,3	0,1	0,1	39,2	7,3	11,1	24,8	3,5	1,3	2,8
A. 5° limp.	1,9	0,8	0,1	0,1	42,0	4,0	5,2	23,9	8,0	1,2	6,5
Conc. 5° limp.	1,5	0,7	0,0	0,1	48,0	2,8	3,5	30,6	4,9	1,3	3,8
Cola 5° limp.	0,4	0,1	0,0	0,0	19,9	8,4	11,6	13,3	3,1	1,6	2,0

#### a. Balance de masa local a columnas de flotación

Los parámetros considerados como *input* para el balance de masa realizado a la 3° y 4° limpieza son la ley de cobre y molibdeno, en la alimentación 3° limpieza, concentrado 3°, 4° y 5° limpieza y la cola 3° y 4° limpieza. Para el caso del caudal, se toma la descarga del espesador P-6 (bomba pp-83), desde el sistema de monitoreo en línea PI. De forma experimental se mide el concentrado de la 4° limpieza, donde los resultados quedan expuestos en la Tabla 50 considerando un volumen total de 20 litros:

**Tabla 50: Medición del caudal en el flujo del concentrado 4° Limpieza, mediante aforo de pulpa.**

	Tiempo (seg)	Caudal (lt/seg)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Medición 1	8,89	2,25	8,10
Medición 2	6,56	3,05	10,98
Medición 3	6,72	2,98	10,71
Promedio	7,39	2,76	9,93

El balance de masa obtenido se muestra en la Tabla 51:

**Tabla 51: Balance de masa específico muestreo columnas.**

	Sólido (t/h)	Fino Mo (t/h)	Fino Cu (t/h)	Ley Mo (%)	Ley Cu (%)
A. 3° Limp.	37,11	6,98	5,27	18,81	14,20
Conc. 3° Limp.	10,07	3,79	0,70	37,62	6,90
Cola 3° Limp.	27,04	3,19	4,58	11,80	16,92
A. 4° Limp.	10,07	3,79	0,70	37,62	6,90
Conc. 4° Limp.	2,73	1,26	0,12	46,18	4,37
Cola 4° Limp.	7,34	2,53	0,58	34,43	7,84
A. 5° Limp.	2,80	1,30	0,12	46,40	4,30
Con 5° Limp.	1,61	0,83	0,05	51,80	2,80
Cola 5° Limp.	1,19	0,47	0,08	39,12	6,32

En base al balance de masa específico a las columnas se corrobora lo obtenido en el primer muestreo donde las recuperaciones son las expuestas en la Tabla 52:

**Tabla 52: Recuperación metalúrgica balance de masas específico columnas.**

	Rec. Masa (%)	Rec. Metalúrgica (%)
3° Limpieza	27,15	52,01
4° Limpieza	27,11	33,28

## 1.1 Leyes de cobre, molibdeno e insoluble

### a. Muestreo Global

**Tabla 53: Leyes de cobre, molibdeno e insoluble, del muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

Flujo	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)
A. P-4 (Convencional)	24,60	0,63	10,80
A. a P-1 (SAG)	31,00	0,08	10,30
A. Titanic (P-1)	29,10	0,53	11,40
A. Titanic (P-4)	26,80	0,39	10,10
A. <i>Rougher</i>	28,50	0,60	10,70
Conc. <i>Rougher</i>	27,70	1,05	11,30

A. P-5	28,50	0,09	10,10
Descarga P-5	28,60	0,12	9,10
Alim 1° limpieza.	28,00	1,13	11,50
Conc. 1° limpieza.	24,70	5,26	12,10
Cola 1° limpieza.	28,40	0,51	11,00
Alim. esp P-2	20,00	10,40	15,20
Alim. 2° limpieza.	22,80	6,17	14,50
Conc. 2° limpieza.	16,90	12,40	16,80
Cola 2° limpieza.	27,00	1,31	11,90
Alim. 3° limpieza.	15,50	15,20	17,60
Conc. 3° limpieza.	5,68	40,16	7,70
Cola 3° limpieza.	18,40	9,60	17,70
Conc. 4° limpieza.	3,62	46,77	3,90
Cola 4° limpieza.	7,70	33,62	11,50
Alim. 5° limpieza.	3,48	47,00	4,10
Conc. 5° limpieza.	2,80	48,00	3,50
Cola 5° limpieza.	16,00	17,80	10,00

#### b. Muestreo específico columnas de flotación

Los resultados entregados para las leyes de cobre y molibdeno reconciliados se muestran en la Tabla 54 y los errores respectivos en la Tabla 55.

**Tabla 54: Leyes de Cu y Mo obtenidos del muestreo específico columnas**

Muestra	Cu Total (%)	Mo Total (%)
A. 3° Limp.	13,6	18,4
Conc. 3° Limp.	6,8	37,1
Cola 3° Limp.	17,1	11,9
Conc. 4° Limp.	4,3	46,4
Cola 4° Limp.	8,4	30,3

**Tabla 55: Errores en la determinación de leyes de molibdeno y cobre muestreo específico columnas.**

	Diferencia porcentual Mo (%)	Diferencia porcentual Cu (%)
A. 3 limpieza.	0,41	0,60
Conc. 3 limpieza.	0,52	0,10
Cola 3 limpieza.	0,10	0,18
Conc.4 limpieza.	0,22	0,07
Cola 4 limpieza.	4,13	0,56

El ajuste realizado a las leyes utilizadas, denota que el único error cometido de mayor envergadura es de 4,12% en la ley de molibdeno, perteneciente a la cola de la 4° limpieza, el resto de las muestras presentan un error despreciable menor al 1%.

## 2. Otros parámetros

### 2.1 Porcentaje de Sólidos

Tabla 56: Porcentaje de sólidos, del muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

	% Sólidos (%)
Desc. P-5	63,8
Conc. <i>Rougher</i>	56,7
A. P-5	54,0
Cola 1° limpieza.	52,7
A.Titanic (P-4)	55,6
A. <i>Rouger</i>	51,8
A. 1° limpieza.	50,7
A.Titanic (P-1)	50,5
Conc. 1° limpieza.	49,0
A. P-2	42,6
A a P-1 (SAG)	41,6
A. 2° limpieza.	35,5
A. al P-4 (Conv.)	35,4
Conc. 5° limpieza.	30,6
Conc. 2° limpieza.	30,2
Cola 2° limpieza.	28,4
Conc 3° limpieza.	25,9
Conc. 4° limpieza.	25,8
Cola 4° limpieza.	24,8
A. 5° limpieza.	23,9
A. 3° limpieza.	22,5
Cola 3° limpieza.	22,1
Cola 5° limpieza.	13,2

El porcentaje de sólidos del muestreo específico a las columnas de flotación se muestra en la Tabla 57.

Tabla 57: Porcentaje de sólidos de la 3° y 4° limpieza del muestreo específico columnas.

Muestra	% Sólido (%)
A. 3° Limp	25,9
Conc. 3° Limp.	23,9
Cola 3° Limp.	24,8
Conc. 4° Limp.	23,7
Cola 4° Limp.	25,7

## 2.2 pH

### a. pH de celas *Rougher* y primera limpieza mediante sistema PI

Tabla 58: pH obtenido por lectura del sistema en línea PI.

Fecha	pH <i>Rougher</i>				pH primera Limpieza	
	Banco 1	Banco 2	Banco 3	Banco 4	Banco 1	Banco 2
01-01-2016 23:00	8,96	9,32	9,39	9,67	9,80	9,63
02-01-2016 23:00	9,31	9,58	9,43	9,42	9,53	9,85
03-01-2016 23:00	9,02	9,50	9,40	9,16	9,79	9,97
04-01-2016 23:00	9,82	9,49	9,41	9,44	10,25	9,93
05-01-2016 23:00	10,35	9,76	9,60	9,70	10,44	10,19
06-01-2016 23:00	10,17	9,98	9,91	No Data	10,29	10,02
07-01-2016 23:00	10,18	9,75	9,75	No Data	9,94	9,61
08-01-2016 23:00	9,51	9,51	9,50	No Data	9,70	9,48
09-01-2016 23:00	9,56	9,57	9,54	No Data	9,87	9,71
10-01-2016 23:00	9,50	9,50	9,50	No Data	9,86	9,49
11-01-2016 23:00	9,50	9,50	9,50	No Data	10,03	9,92
12-01-2016 23:00	9,58	9,58	9,56	No Data	10,25	10,43
13-01-2016 23:00	9,50	9,50	9,50	No Data	9,89	9,92
14-01-2016 23:00	9,97	10,06	9,92	No Data	11,01	10,97
15-01-2016 23:00	9,94	9,90	9,86	No Data	10,25	10,26
16-01-2016 23:00	10,01	9,95	9,80	No Data	9,99	9,95
17-01-2016 23:00	9,78	9,76	9,63	No Data	10,24	10,23
18-01-2016 23:00	9,74	9,70	9,60	No Data	9,52	9,69
19-01-2016 23:00	9,80	9,80	9,67	No Data	9,53	9,88
20-01-2016 23:00	9,67	9,64	9,57	No Data	9,40	9,77
21-01-2016 23:00	9,79	9,81	9,64	No Data	9,57	10,03

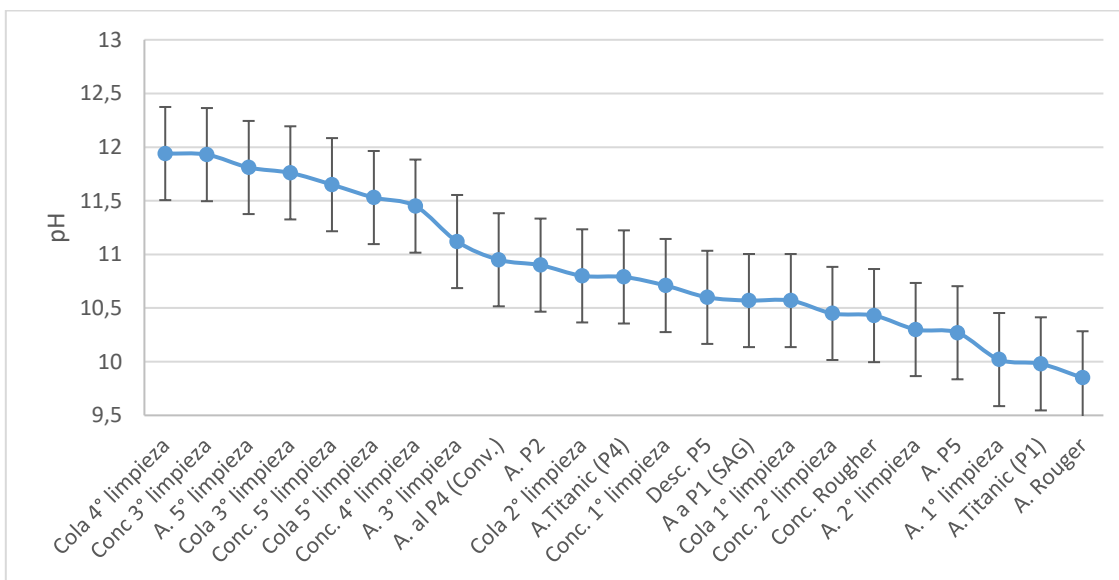
22-01-2016 23:00	10,26	10,41	10,03	No Data	10,64	10,96
23-01-2016 23:00	9,67	9,71	9,58	No Data	9,67	9,88
24-01-2016 23:00	9,99	10,25	9,88	No Data	9,84	9,88
25-01-2016 23:00	11,84	11,90	11,53	No Data	11,95	11,92
26-01-2016 23:00	11,50	11,30	11,23	No Data	12,06	11,93
27-01-2016 23:00	10,44	10,47	11,28	No Data	10,39	10,45
28-01-2016 23:00	9,69	8,61	9,71	No Data	8,61	9,46
29-01-2016 23:00	11,09	8,19	8,85	No Data	10,14	10,21
30-01-2016 23:00	12,12	9,80	7,08	No Data	11,94	11,60
31-01-2016 23:00	11,89	11,92	7,07	No Data	11,98	11,36
01-02-2016 23:00	11,75	11,73	7,06	No Data	10,20	11,48
02-02-2016 23:00	11,79	11,79	7,05	No Data	10,90	11,71
03-02-2016 23:00	11,46	11,28	7,06	No Data	10,97	11,33
04-02-2016 23:00	10,63	9,64	8,22	No Data	8,80	9,86
05-02-2016 23:00	10,53	9,79	7,10	No Data	8,68	9,76
06-02-2016 23:00	10,61	9,79	7,11	No Data	8,81	10,13
07-02-2016 23:00	10,64	10,03	7,09	No Data	8,94	10,82
08-02-2016 23:00	10,52	10,17	7,10	No Data	9,23	10,63
09-02-2016 23:00	9,93	9,80	7,10	No Data	9,08	10,44
10-02-2016 23:00	9,63	9,71	7,10	No Data	8,76	10,09
11-02-2016 23:00	9,68	9,57	7,69	No Data	8,70	10,03
12-02-2016 23:00	9,80	9,45	9,94	No Data	8,87	10,20
13-02-2016 23:00	9,81	9,28	9,62	No Data	9,00	10,09
14-02-2016 23:00	9,81	9,18	9,09	No Data	9,09	10,04
15-02-2016 23:00	9,86	9,34	9,01	No Data	9,22	10,34



16-02-2016 23:00	10,21	10,03	9,40	No Data	9,68	9,94
17-02-2016 23:00	9,42	10,68	9,73	No Data	9,60	9,54
18-02-2016 23:00	7,83	10,48	9,89	No Data	9,75	9,93
19-02-2016 23:00	8,76	9,79	9,71	No Data	9,23	9,71
20-02-2016 23:00	10,18	9,53	9,38	No Data	9,35	10,84
21-02-2016 23:00	10,19	9,85	9,32	No Data	8,97	11,21
22-02-2016 23:00	10,24	9,73	9,39	No Data	8,88	10,80
23-02-2016 23:00	10,00	9,93	9,32	No Data	9,05	11,13
24-02-2016 23:00	9,95	9,84	9,28	No Data	9,25	10,96
25-02-2016 23:00	9,97	9,90	9,30	No Data	9,26	10,99
26-02-2016 23:00	10,32	10,22	9,48	No Data	9,31	11,33
27-02-2016 23:00	10,07	9,94	9,61	No Data	9,35	11,51
28-02-2016 23:00	9,79	9,66	9,67	No Data	8,90	11,22
29-02-2016 23:00	9,43	9,61	9,50	No Data	9,02	9,77
01-03-2016 23:00	9,64	9,63	10,03	No Data	9,36	9,68
02-03-2016 23:00	10,12	9,77	10,16	9,66	9,88	9,84
03-03-2016 23:00	9,80	9,88	9,47	9,79	9,79	9,63
04-03-2016 23:00	10,48	10,26	10,58	10,08	10,71	10,83
05-03-2016 23:00	9,94	9,80	10,39	10,04	9,96	10,50
06-03-2016 23:00	9,63	9,68	9,98	9,64	9,56	9,81
07-03-2016 23:00	9,75	9,62	10,67	9,64	9,65	9,85
08-03-2016 23:00	9,75	9,66	9,92	9,63	9,62	9,76
09-03-2016 23:00	10,07	9,97	10,24	10,30	9,87	10,17
10-03-2016 23:00	10,80	10,70	10,81	10,42	10,10	10,42
11-03-2016 23:00	10,31	10,10	10,44	9,75	9,66	9,91

12-03-2016 23:00	10,33	10,08	10,48	9,68	9,94	11,13
13-03-2016 23:00	10,27	9,72	10,28	9,66	9,69	9,98
14-03-2016 23:00	10,28	9,90	10,28	9,83	9,81	9,41
15-03-2016 23:00	9,94	9,92	10,12	9,75	9,85	9,58
16-03-2016 23:00	9,64	9,54	9,89	9,50	9,65	9,52
17-03-2016 23:00	10,00	10,01	10,17	9,95	10,34	10,69
18-03-2016 23:00	9,60	9,70	9,98	8,92	8,98	11,55
19-03-2016 23:00	9,51	9,89	10,97	9,16	10,41	11,04
20-03-2016 23:00	9,56	9,98	10,95	9,27	7,67	10,96
21-03-2016 23:00	9,51	9,96	10,84	9,28	8,79	10,76
22-03-2016 23:00	9,52	9,52	9,95	9,54	8,14	10,87
23-03-2016 23:00	9,54	9,58	9,96	9,50	9,27	10,38

**b. pH medido en terreno.**



**Figura 84: pH de los puntos analizados en terreno en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

**Tabla 59: pH medido en terreno, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	pH medido
Cola 4° limpieza.	11,94
Conc 3° limpieza.	11,93
A. 5° limpieza.	11,81
Cola 3° limpieza.	11,76
Conc. 5° limpieza.	11,65
Cola 5° limpieza.	11,53
Conc. 4° limpieza.	11,45
A. 3° limpieza.	11,12
A. al P-4 (Conv.)	10,95
A. P-2	10,9
Cola 2° limpieza.	10,8
A. Titanic (P-4)	10,79
Conc. 1° limpieza.	10,71
Desc. P-5	10,6
A P-1 (SAG)	10,57
Cola 1° limpieza.	10,57
Conc. 2° limpieza.	10,45
Conc. <i>Rouger</i>	10,43
A. 2° limpieza.	10,3
A. P-5	10,27
A. 1° limpieza.	10,02
A. Titanic (P-1)	9,98
A. <i>Rouger</i>	9,85

**Tabla 60: pH tomado a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.**

Muestra	pH
A. 3° limpieza	11,91
Conc. 3° limpieza.	12,07
Cola 3° limpieza.	12,19
Conc. 4° limpieza.	11,92
Cola 4° limpieza	12,28

## 2.3 Potencial redox

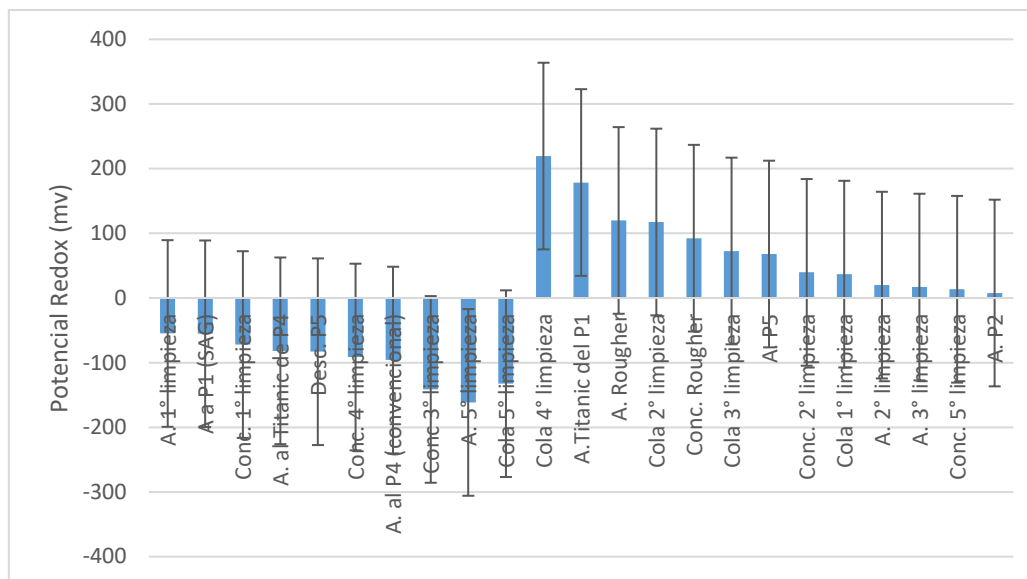


Figura 85: Potencial redox, tomado en terreno en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

Tabla 61: Potencial Redox, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

	Pot. Redox SHE (mV)	Pot. Redox (mV)
A. 1° limpieza	-54,9	-253,7
A. P-1 (SAG)	-55,4	-254,2
Conc. 1° limpieza	-72	-270,8
Desc. P-5	-83,1	-281,9
A. al P-4 (convencional)	-96	-294,8
Conc. 3° limpieza	-141,4	-340,2
Cola 5° limpieza	-132,5	-331,3
Cola 4° limpieza	219,5	20,7
A. 5° limpieza	-161,5	-360,3
A. <i>Rougher</i>	119,9	-78,9
Cola 2° limpieza	117,5	-81,3
Conc. rougher	92,5	-106,3
Cola 3° limpieza	72,7	-126,1
A. P-5	68	-130,8
Cola 1° limpieza	36,9	-161,9
A. 2° limpieza	19,9	-178,9
A. 3° limpieza	16,9	-181,9
Conc. 5° limpieza	13,5	-185,3
A. P-2	7,7	-191,1
A. 1° limpieza	-54,9	-253,7
A. P-1 (SAG)	-55,4	-254,2
Conc. 1° limpieza	-72	-270,8
Desc. P-5	-83,1	-281,9

## 2.4. Gravedad específica

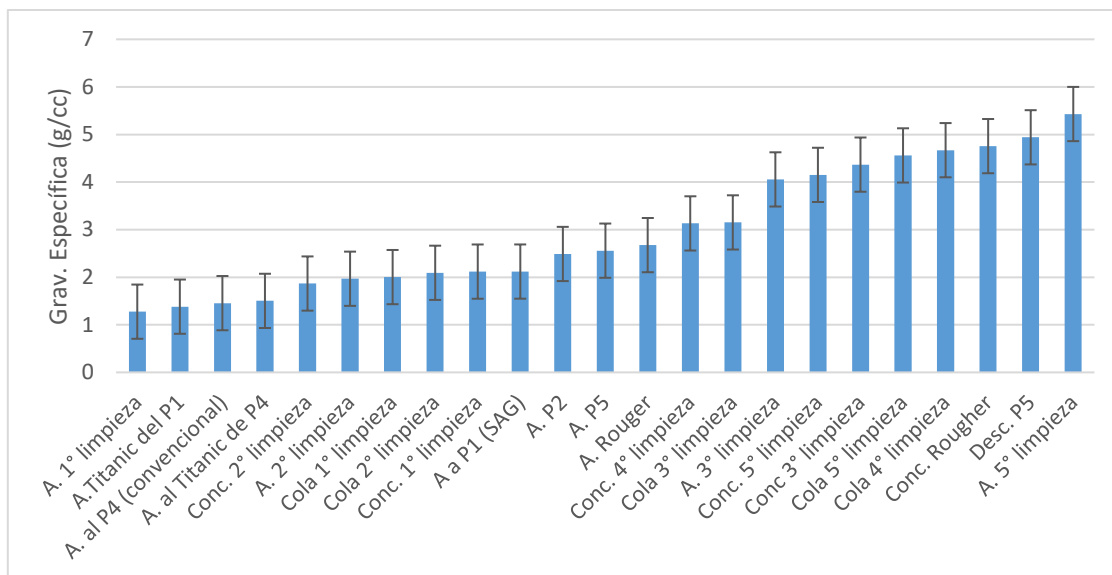


Figura 86: Gravedad específica, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

Tabla 62: Gravedad específica muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

	Grav. Específica (g/cc)
A. 1° limpieza.	1,276
A. Titanic del P-1	1,381
A. P-4 (convencional)	1,455
A. Titanic de P-4	1,503
Conc. 2° limpieza.	1,867
A. 2° limpieza.	1,968
Cola 1° limpieza.	2,003
Cola 2° limpieza.	2,093
Conc. 1° limpieza.	2,118
A a P-1 (SAG)	2,119
A. P-2	2,489
A. P-5	2,558
A. Rougher	2,675
Conc. 4° limpieza.	3,131
Cola 3° limpieza.	3,152
A. 3° limpieza.	4,056
Conc. 5° limpieza.	4,151
Conc 3° limpieza.	4,367
Cola 5° limpieza.	4,560
Cola 4° limpieza.	4,670
Conc. Rougher	4,755
Desc. P-5	4,941
A. 5° limpieza.	5,430

Tabla 63: Gravedad específica tomada a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.

Muestra	Gravedad Específica (g/cc)
A. 3 limp	3,87
Conc. 3 limp.	4,13
Cola 3 limp.	4,01
Conc.4 limp.	3,96
Cola 4 limp.	3,93

## 2.5 Densidad de pulpa

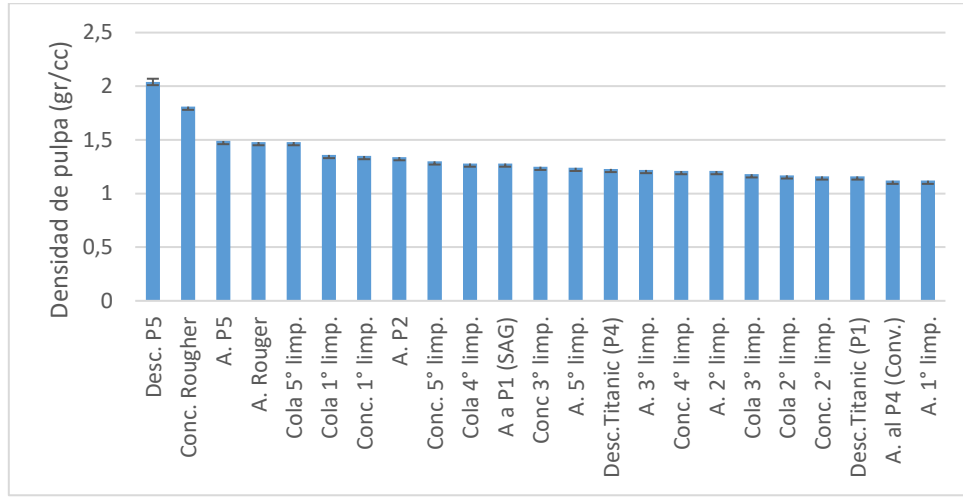


Figura 87: Densidad de pulpa medido en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

Tabla 64: Densidad de pulpa, muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

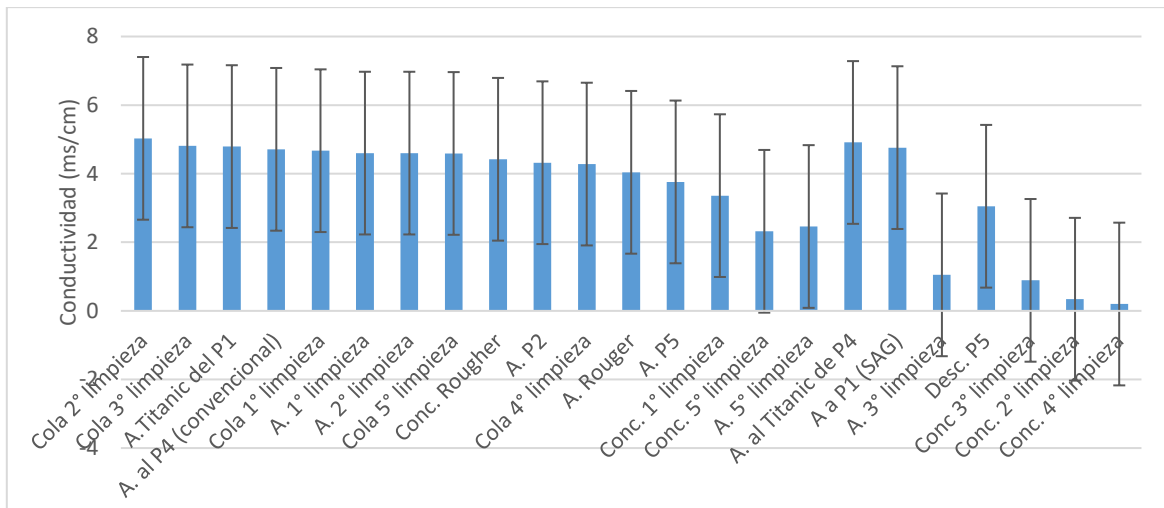
	Densidad de pulpa (g/cc)
Desc. P-5	2,04
Conc. <i>Rougher</i>	1,81
A. P-5	1,49
A. <i>Rougher</i>	1,48
Cola 5° limpieza.	1,48
Cola 1° limpieza.	1,36
Conc. 1° limpieza.	1,35
A. P-2	1,34
Conc. 5° limpieza.	1,30
Cola 4° limpieza.	1,28
A. P-1 (SAG)	1,28
Conc 3° limpieza.	1,25
A. 5° limpieza.	1,24
A. Titanic (P-4)	1,23
A. 3° limpieza.	1,22
Conc. 4° limpieza.	1,21
A. 2° limpieza.	1,21
Cola 3° limpieza.	1,18
Cola 2° limpieza.	1,17

Conc. 2° limpieza.	1,16
A. Titanic (P-1)	1,16
A. al P-4 (Conv.)	1,12
A. 1° limpieza.	1,12

**Tabla 65: Densidad de pulpa tomado en la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.**

Muestra	Densidad de pulpa (g/cm <sup>3</sup> )
A. 3° Limp.	1,24
Conc. 3° Limp.	1,22
Cola 3° Limp.	1,23
Conc. 4° Limp.	1,22
Cola 4° Limp.	1,24

## 2.6 Conductividad



**Figura 88: Conductividad tomada en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

**Tabla 66: Conductividad tomada en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	Conductividad (mS/cm)
Cola 2° limpieza.	5,03
Cola 3° limpieza.	4,81
A. Titanic del P-1	4,79
A. al P-4 (convencional)	4,71
Cola 1° limpieza	4,67
A. 1° limpieza	4,60
A. 2° limpieza	4,60
Cola 5° limpieza	4,59
Conc. <i>Rougher</i>	4,42
A. P-2	4,32
Cola 4° limpieza	4,28
A. <i>Rougher</i>	4,04

A. P-5	3,76
Conc. 1° limpieza	3,36
Conc. 5° limpieza	2,32
A. 5° limpieza	2,46
A. Titanic de P-4	4,91
A. P-1 (SAG)	4,76
A. 3° limpieza	1,05
Desc. P-5	3,05
Conc 3° limpieza	0,89
Conc. 2° limpieza	0,34
Conc. 4° limpieza	0,20

Tabla 67: Conductividad tomada a la 3° y 4° limpieza en el muestreo específico columnas.

Muestra	Conductividad (mS/cm)
A. 3° Limp.	5,44
Conc. 3° Limp.	3,07
Cola 3° Limp.	6,86
Conc. 4° Limp.	1,36
Cola 4° Limp.	6,36

## 2.7 Granulometría

### 2.7.1 Balance global

Tabla 68: Granulometría obtenida en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.

	A. P-1 (SAG)	A. P-4 (conv.)	A. Titanic (P-1)	A. Titanic (P-4)	A. <i>Rougher</i>	Conc. <i>Rougher</i>	A. P- 5	Desc. P-5	A 1° limp.	Conc. 1° limp	Cola 1° limp.
P.I Sobre T.	102,0	88,6	78,7	95,0	69,6	42,7	113,5	153,1	50,0	68,6	62,5
P.I. Bajo T	196,2	197,7	213,7	196,5	220,2	237,6	178,8	139,9	238,9	173,0	221,1
Total	298,2	286,3	292,4	291,5	289,8	280,3	292,3	293,0	288,9	241,6	283,6
# 48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0
#65	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	0,2	0,4	0,9	0,1	14,3	0,0
#100	0,1	3,4	0,5	0,6	1,2	0,1	0,7	6,1	0,5	8,4	0,2
#150	4,7	10,1	4,7	10,0	4,6	0,8	14,3	17,4	2,6	6,4	1,2
#200	13,1	18,8	9,6	15,6	12,4	3,7	23,4	34,8	7,5	6,8	12,0
#270	25,1	24,4	18,4	24,9	21,3	10,2	33,0	45,9	11,2	13,1	14,8



#325	20,7	13,4	12,4	19,1	15,0	9,6	22,2	26,4	8,4	5,7	12,3
bajo #325	35,8	16,1	32,5	24,0	13,0	17,5	17,2	18,6	16,8	5,7	21,4
Suma	99,5	86,9	78,1	94,6	67,5	42,1	111,2	150,1	47,1	66,5	61,9
Perdida Sobre T.	2,5	1,7	0,6	0,4	2,1	0,6	2,3	3,0	2,9	2,1	0,6
% Perdida Sobre T.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
% Sobre tamaño	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,1
% Bajo tamaño	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,7	0,5	0,9	0,7	0,9

**Tabla 69: Granulometría obtenida en el muestreo global planta de flotación selectiva de molibdeno.**

	A. P-2	A. 2° Limp.	Conc. 2° Limp.	Cola 2° Limp.	A. 3° Limp.	Conc. 3° Limp.	Cola 3° Limp.	Cola 4° Limp.	Conc. 4° Limp.	A. 5° Limp.	Conc. 5° Limp.
P.I SobreT.	91,5	114,3	171,6	36,3	167,5	204,2	151,5	220,5	180,3	142,8	200,5
P.i. Bajo T	197,0	170,3	110,7	246,3	120,6	77,7	139,1	94,6	105,3	143,4	88,2
Total	288,5	284,6	282,3	282,6	288,1	281,9	290,6	315,1	285,6	286,2	288,7
# 48	0,2	0,0	0,7	3,7	0,6	0,5	9,7	7,9	1,8	3,3	1,6
#65	0,4	0,3	5,4	3,0	4,8	0,6	11,0	4,1	2,4	3,7	1,5
#100	1,8	6,7	8,9	2,0	4,9	1,0	7,2	2,1	1,7	3,8	1,6
#150	10,2	6,7	12,3	2,0	12,0	5,3	9,1	8,3	4,9	5,7	5,0
#200	19,9	10,2	32,7	4,3	26,4	16,2	32,0	23,0	20,4	17,9	19,0
#270	28,2	24,7	38,2	7,9	47,9	38,9	30,3	53,2	35,0	37,0	40,3
#325	13,9	9,7	15,9	5,6	15,9	31,8	11,9	32,2	26,8	22,9	30,7
bajo #325	16,6	55,9	54,9	6,9	53,3	108,8	36,5	87,8	85,8	47,0	99,5
Suma	91,2	114,2	169,0	35,4	165,8	203,1	147,7	218,6	178,8	141,3	199,2
Perdida Sobre T.	0,3	0,1	2,6	0,9	1,7	1,1	3,8	1,9	1,5	1,5	1,3

% Perdida Sobre T.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Sobre tamaño	0,3	0,2	0,4	0,1	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
% Bajo tamaño	0,7	0,8	0,6	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7

### 2.7.2 Granulometría balance específico 3° y 4° Limpieza.

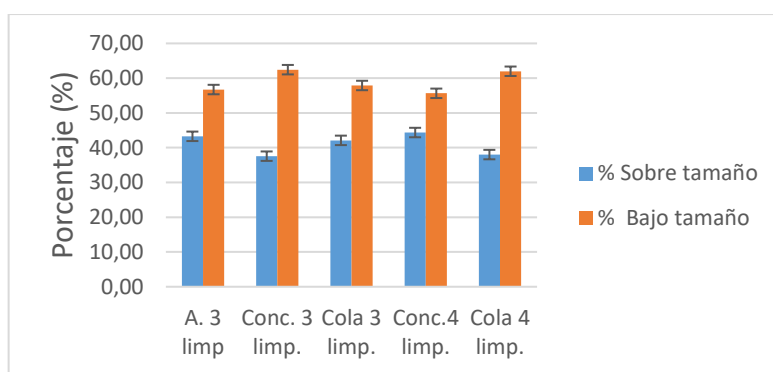


Figura 89: Granulometría tomada a la 3° y 4° limpieza, en el muestro selectivo a las columnas.

Tabla 70: Granulometría balance específico 3° y 4° Limpieza.

	A. 3° Limp	Conc. 3° Limp.	Cola 3° Limp.	Conc. 4° Limp.	Cola 4° Limp.
P.I SobreT. (g)	236,4	229,8	260,9	243,1	229,4
P.i. Bajo T (g)	107,6	117,9	103,8	124,6	124,1
Total (g)	344	347,7	364,7	367,7	353,5
# 48 (g)	0,5	0,3	1,3	0,9	1,1
#65 (g)	1,8	2,2	1,9	2,6	0,9
#100 (g)	12	6,3	10,6	8,5	12,3
#150 (g)	16,2	21,1	13,8	15,2	18,2
#200 (g)	47,4	49,3	61,5	51,3	27,7
#270 (g)	51,1	32,3	44,2	69,1	56,4
#325 (g)	19,3	18,8	19,5	14,8	17,3
Bajo #325 (g)	86,8	98,7	106,3	79,1	94,2
Suma sobre tamaño (g)	235,1	229	259,1	241,5	228,1
Perdida Sobre T. (g)	1,3	0,8	1,8	1,6	1,3
Peso bajo tamaño total (g)	194,4	216,6	210,1	203,7	218,3

% Sobre tamaño (%)	43,27	37,56	42,11	44,36	38,02
% Bajo tamaño (%)	56,73	62,44	57,89	55,64	61,98

### 2.7.3 Distribución de leyes según granulometría

Para el caso de la alimentación a la 3° limpieza, no se muestra una tendencia clara al alza o baja de alguna de las leyes, sino que es más bien pareja y oscila de forma errática para toda la granulometría analizada. El concentrado de la tercera limpieza, se ve una amplia predominancia por el contenido de molibdeno en todas las muestras, siendo éste más abundante en las muestras de granulometría menor 104  $\mu\text{m}$ ; sin embargo, no se ve de forma clara que exista una malla que posea mayor contenido de éste después de la 104  $\mu\text{m}$ . Para el caso de la cola de la tercera limpieza, si existe un predominio de las leyes de cobre en las granulometrías más grandes, vale decir, desde 295  $\mu\text{m}$  a 147  $\mu\text{m}$ , el molibdeno en este caso, no presenta una tendencia clara. Para el caso del concentrado de a 4° limpieza se ve que el molibdeno tiende a ser predominante en muestras de granulometría menor a 147  $\mu\text{m}$ , lo que también ocurre en la cola de dicha etapa, siendo el cobre el de abundancia en las mallas de mayor tamaño.

#### a. Alimentación 3° Limpieza

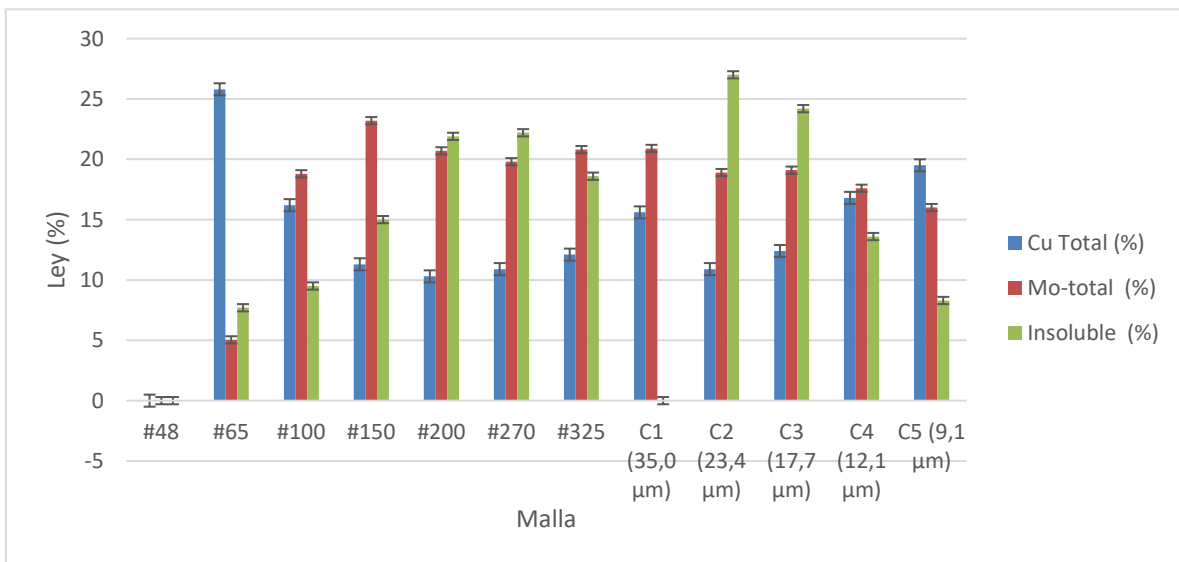


Figura 90: Distribución de leyes de Cu, Mo e insoluble en la alimentación la 3° limpieza según granulometría.

Tabla 71: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en alimentación a la 3° limpieza.

Tamaño	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)	Porcentaje Granulometría (%)
#48	0	0	0	0,1
#65	25,8	5,04	7,7	0,5
#100	16,2	18,8	9,5	3,5
#150	11,3	23,2	15	4,7

#200	10,3	20,7	21,9	13,8
#270	10,9	19,8	22,2	14,9
#325	12,1	20,8	18,6	5,6
C1 (35,0 µm)	15,6	20,9	-	1,7
C2 (23,4 µm)	10,9	18,9	27	6,5
C3 (17,7 µm)	12,4	19,1	24,2	9,3
C4 (12,1 µm)	16,8	17,6	13,6	6,5
C5 (9,1 µm)	19,5	16	8,3	7,4
Bajo Ciclón 5 (-9,1 µm)				25,3

## b. Concentrado 3° Limpieza

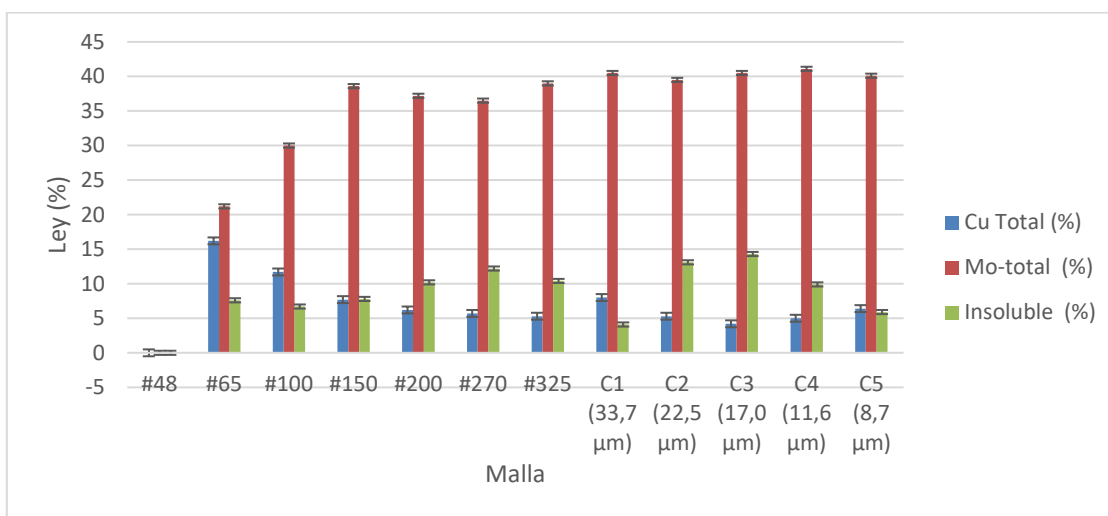


Figura 91: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 3° limpieza.

Tabla 72: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 3° limpieza.

Tamaño	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)	Porcentaje Granulometría (%)
#48	-	-	-	0,1
#65	16,2	21,2	7,6	0,6
#100	11,7	30	6,7	1,8
#150	7,7	38,6	7,8	6,1
#200	6,2	37,2	10,2	14,2
#270	5,7	36,5	12,2	9,3
#325	5,3	39	10,4	5,4
C1 (33,7 µm)	8	40,5	4,1	2,9
C2 (22,5 µm)	5,3	39,5	13,1	8,8
C3 (17,0 µm)	4,2	40,5	14,3	12,1
C4 (11,6 µm)	5	41,1	9,9	10,7
C5 (8,7 µm)	6,4	40,1	5,9	9,5

Bajo C5 (-8,7 $\mu\text{m}$ )	-	-	-	18,5
-------------------------------	---	---	---	------

### c. Cola 3° Limpieza

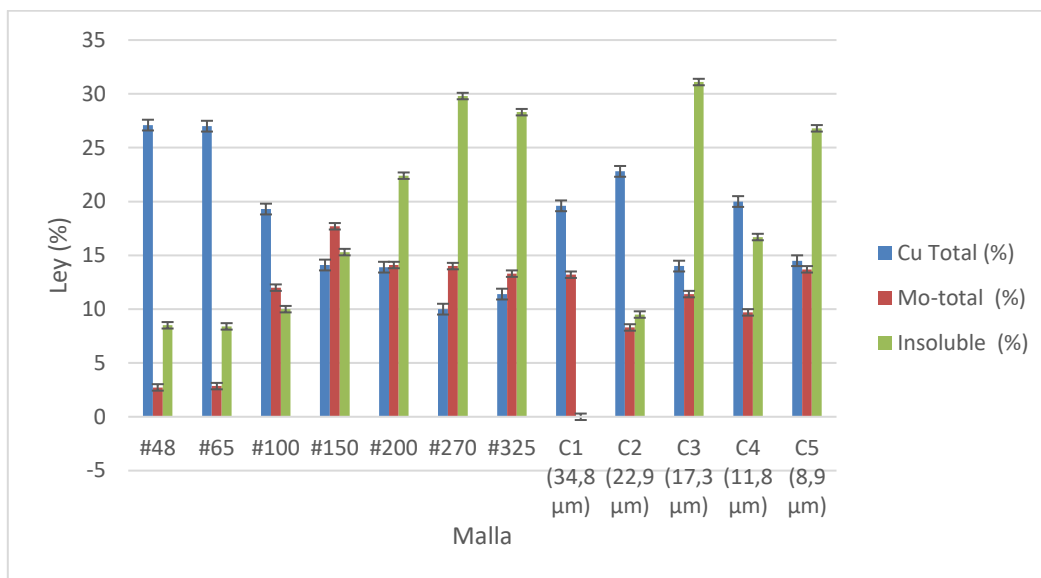


Figura 92: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 3° limpieza.

Tabla 73: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 3° limpieza.

Tamaño	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)	Porcentaje Granulometría (%)
#48	27,1	2,73	8,5	0,4
#65	27	2,85	8,4	0,5
#100	19,3	12	10	2,9
#150	14,1	17,7	15,3	3,8
#200	13,9	14,1	22,4	16,9
#270	10	14	29,8	12,2
#325	11,4	13,3	28,3	5,4
C1 (34,8 $\mu\text{m}$ )	19,6	13,2		1,2
C2 (22,9 $\mu\text{m}$ )	22,8	8,3	9,5	9,6
C3 (17,3 $\mu\text{m}$ )	14	11,4	31,1	10,1
C4 (11,8 $\mu\text{m}$ )	20	9,7	16,7	7,4
C5 (8,9 $\mu\text{m}$ )	14,5	13,7	26,8	12,1
Bajo Ciclón 5 (-8,9 $\mu\text{m}$ )				17,4

### d. Concentrado 4° Limpieza

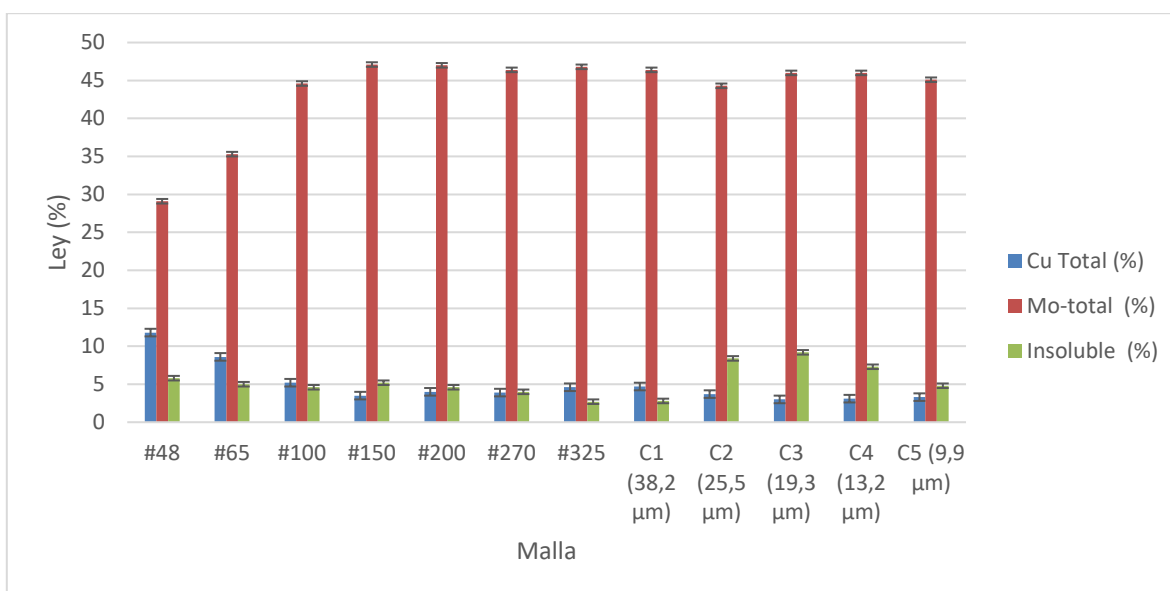


Figura 93: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 4° limpieza.

Tabla 74: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en concentrado de la 4° limpieza.

Tamaño	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)	Porcentaje Granulometría (%)
#48	11,8	29,1	5,8	0,2
#65	8,6	35,3	5	0,7
#100	5,2	44,6	4,6	2,3
#150	3,5	47,1	5,2	4,2
#200	4	47	4,6	14,0
#270	3,9	46,4	4	18,9
#325	4,6	46,8	2,7	4,0
C1 (38,2 μm)	4,7	46,4	2,8	2,4
C2 (25,5 μm)	3,7	44,3	8,4	7,2
C3 (19,3 μm)	3	46	9,2	11,1
C4 (13,2 μm)	3,1	46	7,3	7,8
C5 (9,9 μm)	3,3	45,1	4,8	8,4
Bajo ciclón 5 (-9,9 μm)				18,8

## e. Cola 4° Limpieza

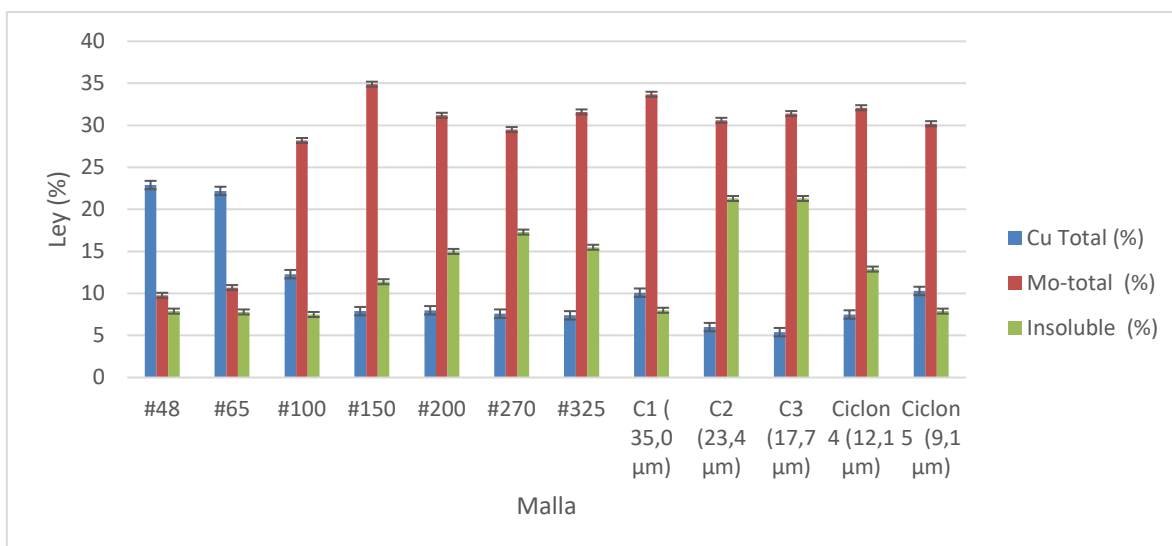


Figura 94: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 4° limpieza.

Tabla 75: Leyes de Cu, Mo e insoluble, según distribución granulométrica en cola de la 4° limpieza.

Tamaño	Cu Total (%)	Mo-total (%)	Insoluble (%)	Porcentaje Granulometría (%)
#48	22,9	9,78	7,9	0,3
#65	22,2	10,7	7,8	0,3
#100	12,3	28,2	7,5	3,5
#150	7,9	34,9	11,4	5,2
#200	8	31,2	15	7,9
#270	7,6	29,5	17,3	16,0
#325	7,4	31,6	15,5	4,9
C1 (35,0 μm)	10,1	33,7	8	3,9
C2 (23,4 μm)	6	30,6	21,3	9,9
C3 (17,7 μm)	5,4	31,4	21,3	10,9
Ciclón 4 (12,1 μm)	7,5	32,1	12,9	6,2
Ciclón 5 (9,1 μm)	10,3	30,2	7,9	6,5
Bajo Ciclón 5 (-9,1 μm)				24,6

## Anexos F: Caracterización de columnas presentes en el circuito de limpieza

### 1. Caracterización de la dispersión de gas y estimación de la carga de burbujas

Tabla 76: Ley de Mo, Top of Froth columna 3,4 y 6.

	Columna 3	Columna 4	Columna 6
	Mo-total (%)		
Día 1	37,58	41,06	46,00

Día 2	28,89	34,34	43,28
Día 3	36,05	37,75	46,33
Día 4	37,20	36,20	41,10
Día 5	35,90	43,50	47,80
Promedio	35,12	38,57	44,90

Tabla 77: Ley de Mo en el concentrado para la columna 3 y 4 en conjunto y la columna 6.

	Mo-total (%)		
	3° Limpieza		4° Limpieza
	Columna 3	Columna 4	Columna 6
Día 1	33,17		44,60
Día 2	27,72		40,17
Día 3	33,79		43,96
Día 4	31,99		37,41
Día 5	35,47		42,56
Promedio	32,43		41,74

Tabla 78: Análisis QEMSCAN, por elemento a las muestras obtenidas de las columnas de flotación.

Masa (%)	Muestra		
Elemento	Columna 3	Columna 4	Columna 6
Al	0,15	0,40	0,18
As	0,01	0,01	0,03
C	0,03	0,01	0,03
Ca	0,15	0,15	0,11
Cu	0,67	3,71	2,13
F	0,01	0,01	0,01
Fe	0,63	4,65	2,78
H	0,00	0,01	0,00
K	0,08	0,18	0,10
Mg	0,00	0,03	0,00
Mo	46,21	44,80	50,12
Na	0,00	0,06	0,02
O	0,81	2,08	1,47
S	31,64	35,48	36,84
Si	0,37	1,20	0,98
Zn	0,00	0,07	0,03

Tabla 79: Análisis QEMSCAN, por elemento a las muestras obtenidas de las columnas de flotación.

Masa (%)	Muestra		
Minerales	Columna 3	Columna 4	Columna 6
Calcopirita	1,24	9,12	4,88



Bornita	0,36	0,72	0,46
Covelina	0,00	0,10	0,12
Molibdenita	77,01	74,75	83,62
Pirita	0,38	3,59	2,55
Cuarzo	0,38	1,10	1,48
Otros silicatos	0,22	1,52	0,65
Muscovita	0,62	1,08	0,63
Otros	19,79	8,01	5,62

**Tabla 80: Análisis QEMSCAN, grado de liberación de la molibdenita en las muestras obtenidas de las columnas de flotación.**

Molibdenita (%)	Muestra		
Grado de Liberación	Columna 3	Columna 4	Columna 6
0-20	1,1	1,0	0,3
20-40	3,5	2,5	1,2
40-60	9,2	4,4	2,7
60-80	23,5	6,6	6,6
80-100	62,8	85,4	89,2

## 2. Estudio exploratorio de balance de masa de reactivos

### 2.1 Espectrometría muestras individuales.

**Tabla 81: Espectrometría muestra individual NaSH.**

NaSH											
Wavelength (nm)	Absorbancia				Absortividad					Desvest	Cof variación
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	Prom.		
190	0,07	0,20	0,23	0,26	5,15	7,87	6,19	4,25	5,86	1,55	26,48
191	0,12	0,27	0,32	0,35	9,08	10,75	8,53	5,77	8,53	2,07	24,25
192	0,15	0,33	0,39	0,44	11,85	12,89	10,32	7,16	10,55	2,49	23,63
193	0,19	0,39	0,47	0,52	14,77	15,26	12,45	8,57	12,76	3,05	23,89
194	0,23	0,45	0,55	0,62	17,77	17,75	14,67	10,11	15,07	3,61	23,97
195	0,26	0,50	0,62	0,71	20,00	19,68	16,48	11,59	16,94	3,90	23,05
196	0,28	0,52	0,66	0,77	21,31	20,71	17,57	12,59	18,05	3,99	22,10
197	0,29	0,54	0,69	0,82	22,08	21,38	18,27	13,48	18,80	3,92	20,84
198	0,29	0,55	0,72	0,88	22,54	21,86	19,09	14,43	19,48	3,68	18,91
199	0,30	0,56	0,74	0,94	22,77	22,06	19,73	15,43	20,00	3,31	16,56
200	0,29	0,56	0,74	0,98	22,38	21,98	19,84	16,05	20,06	2,90	14,45
201	0,28	0,54	0,72	0,98	21,62	21,15	19,17	16,07	19,50	2,52	12,94
202	0,27	0,51	0,70	0,98	20,85	20,08	18,56	15,98	18,87	2,14	11,37
203	0,26	0,49	0,68	0,98	20,15	19,37	18,13	16,13	18,45	1,75	9,50

204	0,25	0,47	0,67	1,00	19,23	18,70	17,76	16,41	18,02	1,24	6,86
205	0,24	0,46	0,65	1,01	18,15	18,02	17,33	16,48	17,50	0,77	4,40
206	0,23	0,44	0,63	1,01	17,38	17,47	16,88	16,54	17,07	0,44	2,57
207	0,22	0,43	0,62	1,01	16,92	17,08	16,56	16,62	16,80	0,24	1,46
208	0,22	0,43	0,62	1,02	16,77	16,80	16,48	16,74	16,70	0,15	0,88
209	0,22	0,42	0,62	1,03	16,62	16,76	16,40	16,85	16,66	0,20	1,18
210	0,22	0,43	0,62	1,05	16,62	16,88	16,43	17,20	16,78	0,33	1,99
211	0,22	0,44	0,63	1,08	16,92	17,27	16,91	17,67	17,19	0,36	2,10
212	0,23	0,45	0,66	1,11	17,69	17,94	17,47	18,26	17,84	0,34	1,92
213	0,24	0,47	0,68	1,16	18,62	18,66	18,21	19,00	18,62	0,32	1,73
214	0,26	0,50	0,72	1,21	19,85	19,64	19,12	19,87	19,62	0,35	1,77
215	0,29	0,56	0,81	1,43	22,08	21,98	21,55	23,36	22,24	0,78	3,51
216	0,32	0,61	0,90	1,68	24,38	24,03	23,87	27,61	24,97	1,77	7,09
217	0,35	0,66	0,96	1,92	26,77	25,93	25,71	31,49	27,47	2,72	9,89
218	0,38	0,70	1,04	2,22	28,92	27,83	27,63	36,39	30,19	4,17	13,82
219	0,41	0,75	1,10	2,49	31,23	29,49	29,41	40,77	32,73	5,43	16,59
220	0,43	0,79	1,16	2,76	33,38	31,26	31,01	45,21	35,22	6,75	19,16
221	0,47	0,83	1,22	2,99	35,92	32,81	32,56	49,02	37,58	7,78	20,70
222	0,50	0,87	1,28	3,00	38,08	34,43	34,21	49,18	38,97	7,03	18,04
223	0,48	0,88	1,28	2,35	37,08	34,78	34,08	38,51	36,11	2,05	5,67
224	0,48	0,91	1,30	2,14	36,77	35,81	34,53	35,11	35,56	0,96	2,71
225	0,49	0,94	1,33	2,11	37,38	37,11	35,55	34,59	36,16	1,32	3,66
226	0,50	0,97	1,38	2,14	38,46	38,38	36,72	35,02	37,14	1,63	4,39
227	0,52	1,00	1,42	2,21	39,77	39,68	37,92	36,15	38,38	1,72	4,47
228	0,54	1,03	1,47	2,30	41,46	40,83	39,09	37,62	39,75	1,74	4,37
229	0,56	1,05	1,51	2,41	43,23	41,50	40,16	39,49	41,10	1,65	4,02
230	0,58	1,07	1,52	2,50	44,54	42,13	40,61	41,02	42,08	1,76	4,19
231	0,58	1,07	1,53	2,54	44,92	42,37	40,91	41,62	42,46	1,75	4,12
232	0,58	1,07	1,53	2,53	44,85	42,37	40,80	41,48	42,37	1,77	4,18
233	0,58	1,06	1,51	2,48	44,38	41,94	40,32	40,62	41,82	1,85	4,43
234	0,56	1,04	1,48	2,42	43,23	41,19	39,49	39,66	40,89	1,74	4,25
235	0,56	1,01	1,44	2,38	42,77	40,08	38,40	39,07	40,08	1,92	4,80
236	0,54	0,98	1,40	2,34	41,38	38,74	37,20	38,31	38,91	1,77	4,56
237	0,52	0,94	1,34	2,28	39,69	37,27	35,79	37,33	37,52	1,61	4,30
238	0,49	0,90	1,28	2,20	38,00	35,49	34,08	36,05	35,91	1,62	4,52
239	0,47	0,85	1,21	2,11	36,31	33,64	32,21	34,62	34,20	1,72	5,03
240	0,45	0,80	1,14	2,01	34,46	31,58	30,32	33,02	32,34	1,79	5,53
241	0,42	0,74	1,05	1,90	32,23	29,29	28,05	31,10	30,17	1,86	6,16
242	0,38	0,68	0,97	1,77	29,38	27,00	25,73	29,00	27,78	1,72	6,19
243	0,36	0,63	0,89	1,65	27,46	24,82	23,79	27,00	25,77	1,75	6,80
244	0,33	0,58	0,83	1,53	25,31	22,89	22,03	25,08	23,83	1,62	6,81
245	0,30	0,53	0,75	1,39	22,92	20,75	19,89	22,77	21,58	1,50	6,95
246	0,27	0,47	0,66	1,25	20,69	18,54	17,71	20,43	19,34	1,45	7,50

247	0,24	0,42	0,59	1,10	18,46	16,56	15,71	18,08	17,20	1,29	7,51
248	0,21	0,38	0,52	0,99	15,92	14,82	13,95	16,18	15,22	1,03	6,78
249	0,18	0,34	0,47	0,89	13,92	13,24	12,43	14,52	13,53	0,90	6,67
250	0,16	0,30	0,41	0,78	12,38	11,78	11,04	12,84	12,01	0,78	6,48
251	0,14	0,26	0,36	0,69	10,69	10,28	9,60	11,23	10,45	0,69	6,58
252	0,12	0,23	0,31	0,59	9,31	8,97	8,35	9,74	9,09	0,59	6,46
253	0,10	0,20	0,28	0,52	8,00	7,79	7,36	8,51	7,91	0,48	6,03
254	0,09	0,17	0,24	0,45	6,77	6,72	6,29	7,41	6,80	0,46	6,77
255	0,07	0,15	0,20	0,39	5,62	5,81	5,36	6,36	5,79	0,42	7,34
256	0,06	0,13	0,17	0,33	4,69	5,02	4,56	5,48	4,94	0,41	8,26
257	0,05	0,11	0,14	0,28	3,85	4,43	3,84	4,66	4,19	0,41	9,87
258	0,04	0,09	0,12	0,24	3,00	3,72	3,17	3,98	3,47	0,46	13,24
259	0,04	0,08	0,10	0,21	2,69	3,12	2,64	3,38	2,96	0,35	11,94
260	0,02	0,07	0,08	0,17	1,85	2,77	2,16	2,84	2,40	0,48	19,95
261	0,02	0,06	0,07	0,15	1,62	2,41	1,84	2,38	2,06	0,40	19,20
262	0,02	0,06	0,06	0,13	1,38	2,17	1,57	2,08	1,80	0,38	21,31
263	0,01	0,05	0,05	0,11	1,08	1,82	1,31	1,75	1,49	0,36	23,96
264	0,01	0,04	0,04	0,09	0,62	1,50	1,15	1,51	1,19	0,42	35,25
265	0,01	0,03	0,04	0,08	0,38	1,34	0,93	1,31	0,99	0,45	44,96
266	0,00	0,03	0,03	0,07	0,23	1,15	0,80	1,11	0,82	0,42	51,60
267	0,00	0,03	0,03	0,06	0,08	1,07	0,69	0,97	0,70	0,45	63,49
268	0,00	0,03	0,02	0,05	-0,08	0,99	0,59	0,82	0,58	0,47	80,68
269	0,00	0,02	0,02	0,05	-0,15	0,87	0,53	0,74	0,50	0,46	91,65
270	0,00	0,02	0,02	0,04	-0,15	0,83	0,45	0,67	0,45	0,43	95,79
271	0,00	0,02	0,02	0,04	-0,15	0,75	0,45	0,67	0,43	0,41	95,09
272	0,00	0,02	0,02	0,04	-0,23	0,71	0,43	0,62	0,38	0,43	111,31
273	0,00	0,02	0,01	0,04	-0,23	0,71	0,37	0,61	0,37	0,42	115,48
274	0,00	0,02	0,01	0,03	-0,31	0,67	0,35	0,56	0,32	0,44	138,06
275	-0,01	0,02	0,01	0,03	-0,38	0,59	0,32	0,52	0,26	0,45	169,89
276	-0,01	0,02	0,01	0,03	-0,46	0,59	0,32	0,49	0,24	0,48	202,87
277	0,00	0,01	0,01	0,03	-0,31	0,55	0,29	0,49	0,26	0,39	152,47
278	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,38	0,51	0,29	0,49	0,23	0,42	184,02
279	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,38	0,51	0,27	0,48	0,22	0,42	191,00
280	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,69	0,51	0,27	0,48	0,14	0,57	401,69
281	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,51	0,27	0,46	0,18	0,49	278,14
282	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,46	0,51	0,27	0,46	0,19	0,45	231,38
283	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,38	0,51	0,27	0,44	0,21	0,41	195,37
284	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,38	0,51	0,27	0,44	0,21	0,41	195,37
285	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,62	0,51	0,27	0,44	0,15	0,52	343,56
286	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,62	0,47	0,27	0,43	0,14	0,51	369,69
287	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,62	0,47	0,27	0,43	0,14	0,51	369,69
288	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,62	0,47	0,27	0,41	0,13	0,51	378,75
289	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,51	0,29	0,41	0,17	0,48	283,30

290	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,51	0,29	0,41	0,17	0,48	283,30
291	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,47	0,27	0,41	0,15	0,47	306,44
292	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,47	0,27	0,43	0,16	0,47	300,40
293	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,51	0,27	0,44	0,17	0,48	282,98
294	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,47	0,27	0,44	0,16	0,48	294,73
295	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,43	0,27	0,43	0,15	0,46	314,77
296	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,54	0,43	0,27	0,43	0,15	0,46	314,77
297	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,46	0,43	0,27	0,43	0,17	0,43	255,68
298	-0,01	0,01	0,01	0,03	-0,46	0,43	0,29	0,41	0,17	0,42	251,28
299	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,40	0,29	0,39	0,16	0,41	266,79
300	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,40	0,29	0,36	0,15	0,41	277,58
301	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,38	0,36	0,29	0,36	0,16	0,36	231,57
302	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,23	0,36	0,24	0,36	0,18	0,28	154,56
303	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,31	0,47	0,21	0,36	0,19	0,35	186,60
304	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,31	0,47	0,21	0,36	0,19	0,35	186,60
305	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,31	0,43	0,21	0,36	0,18	0,33	191,06
306	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,38	0,47	0,21	0,36	0,17	0,38	230,39
307	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,38	0,43	0,21	0,36	0,16	0,37	238,40
308	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,21	0,34	0,13	0,41	306,28
309	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,21	0,34	0,13	0,41	306,28
310	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,54	0,43	0,19	0,31	0,10	0,44	442,76
311	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,62	0,43	0,16	0,31	0,07	0,47	649,49
312	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,54	0,43	0,16	0,31	0,09	0,44	473,13
313	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,31	0,11	0,40	357,98
314	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,31	0,11	0,40	357,98
315	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,31	0,11	0,40	357,98
316	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,13	0,31	0,10	0,40	379,99
317	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,30	0,11	0,40	369,19
318	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,54	0,43	0,13	0,30	0,08	0,43	530,98
319	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,13	0,30	0,10	0,39	392,74
320	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,13	0,28	0,10	0,39	406,73
321	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,40	0,13	0,28	0,09	0,38	440,45
322	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,40	0,16	0,26	0,09	0,38	426,34
323	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,26	0,10	0,39	394,85
324	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,40	0,16	0,26	0,09	0,38	426,34
325	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,46	0,43	0,16	0,25	0,09	0,39	409,59
326	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,38	0,40	0,16	0,25	0,10	0,34	326,52
327	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,40	0,16	0,21	0,10	0,34	350,05
328	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,40	0,16	0,21	0,10	0,34	350,05
329	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,40	0,13	0,21	0,09	0,33	374,59
330	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,36	0,16	0,21	0,09	0,32	377,05
331	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,36	0,13	0,21	0,08	0,32	406,50
332	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,36	0,13	0,20	0,08	0,32	425,75

333	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,38	0,36	0,13	0,20	0,08	0,32	425,75
334	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,46	0,36	0,13	0,20	0,06	0,36	637,73
335	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,54	0,36	0,11	0,20	0,03	0,39	1302,26
336	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,54	0,36	0,11	0,20	0,03	0,39	1302,26
337	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,54	0,36	0,11	0,18	0,03	0,39	1498,43
338	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,54	0,36	0,11	0,18	0,03	0,39	1498,43
339	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,46	0,36	0,13	0,18	0,05	0,36	684,06
340	-0,01	0,01	0,01	0,01	-0,46	0,36	0,13	0,20	0,06	0,36	637,73
341	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,18	0,05	0,35	780,79
342	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,18	0,05	0,35	780,79
343	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,18	0,05	0,35	780,79
344	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,18	0,05	0,35	780,79
345	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,18	0,05	0,35	780,79
346	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,38	0,36	0,11	0,18	0,06	0,32	491,46
347	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,32	0,11	0,15	0,03	0,34	1242,62
348	-0,01	0,01	0,00	0,01	-0,46	0,36	0,11	0,15	0,04	0,35	943,01
349	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,31	0,36	0,08	0,16	0,07	0,28	381,95
350	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,31	0,36	0,08	0,16	0,07	0,28	381,95

**Tabla 82: Espectrometría muestra individual TioFos.**

TioFos											
Wavelength (nm)	Absorbancia				Absortividad					Desvest	Cof variación
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	Prom.		
190	0,04	0,10	0,12	0,18	3,67	4,33	3,42	3,14	3,64	0,51	14,04
191	0,06	0,15	0,18	0,26	5,17	6,13	4,92	4,40	5,15	0,72	14,06
192	0,07	0,17	0,21	0,32	6,17	7,25	5,94	5,43	6,20	0,77	12,36
193	0,08	0,20	0,25	0,37	6,58	8,29	7,00	6,38	7,06	0,86	12,15
194	0,09	0,22	0,29	0,43	7,17	9,33	7,94	7,40	7,96	0,97	12,21
195	0,09	0,24	0,31	0,48	7,50	9,88	8,61	8,19	8,54	1,00	11,69
196	0,09	0,24	0,32	0,50	7,58	10,00	8,92	8,57	8,77	1,00	11,37
197	0,09	0,24	0,32	0,52	7,58	10,08	8,94	8,91	8,88	1,02	11,51
198	0,09	0,24	0,32	0,53	7,58	10,17	9,00	9,05	8,95	1,06	11,83
199	0,09	0,24	0,33	0,54	7,58	10,17	9,06	9,34	9,04	1,08	11,92
200	0,09	0,24	0,32	0,54	7,42	10,08	8,97	9,36	8,96	1,13	12,57
201	0,09	0,24	0,31	0,53	7,08	9,79	8,69	9,17	8,69	1,16	13,34
202	0,08	0,23	0,30	0,52	6,67	9,42	8,42	8,95	8,36	1,20	14,37
203	0,08	0,22	0,29	0,51	6,50	9,21	8,17	8,79	8,17	1,19	14,58
204	0,08	0,21	0,29	0,50	6,42	8,88	8,03	8,67	8,00	1,11	13,93
205	0,08	0,21	0,28	0,50	6,25	8,63	7,86	8,55	7,82	1,10	14,10

206	0,07	0,20	0,28	0,49	6,17	8,50	7,67	8,38	7,68	1,07	13,97
207	0,07	0,20	0,27	0,48	6,00	8,33	7,58	8,28	7,55	1,09	14,40
208	0,07	0,20	0,27	0,47	5,75	8,21	7,47	8,17	7,40	1,15	15,56
209	0,07	0,20	0,27	0,47	5,67	8,17	7,39	8,14	7,34	1,17	15,97
210	0,07	0,20	0,26	0,47	5,42	8,17	7,33	8,12	7,26	1,29	17,72
211	0,07	0,20	0,27	0,47	5,42	8,13	7,36	8,14	7,26	1,28	17,65
212	0,07	0,20	0,27	0,47	5,42	8,13	7,42	8,16	7,28	1,29	17,69
213	0,07	0,20	0,27	0,48	5,42	8,13	7,50	8,22	7,32	1,31	17,86
214	0,07	0,20	0,27	0,48	5,42	8,17	7,58	8,33	7,37	1,34	18,22
215	0,07	0,20	0,29	0,51	5,50	8,33	7,92	8,79	7,64	1,47	19,23
216	0,07	0,21	0,30	0,54	5,58	8,67	8,22	9,22	7,92	1,61	20,36
217	0,07	0,21	0,30	0,55	5,67	8,79	8,33	9,45	8,06	1,66	20,59
218	0,07	0,21	0,30	0,55	5,67	8,88	8,42	9,53	8,12	1,70	20,94
219	0,07	0,21	0,31	0,56	5,58	8,92	8,47	9,72	8,17	1,80	22,06
220	0,07	0,22	0,31	0,57	5,58	9,00	8,69	9,84	8,28	1,86	22,50
221	0,07	0,22	0,32	0,58	5,58	9,04	8,89	9,95	8,37	1,91	22,87
222	0,07	0,22	0,33	0,58	5,58	9,17	9,03	10,03	8,45	1,96	23,24
223	0,07	0,22	0,32	0,58	5,58	9,17	9,00	10,00	8,44	1,95	23,14
224	0,07	0,22	0,33	0,58	5,58	9,21	9,03	10,02	8,46	1,96	23,23
225	0,07	0,22	0,33	0,59	5,58	9,21	9,06	10,09	8,48	1,99	23,41
226	0,07	0,22	0,33	0,59	5,58	9,25	9,14	10,12	8,52	2,01	23,56
227	0,07	0,22	0,33	0,59	5,58	9,33	9,17	10,16	8,56	2,03	23,72
228	0,07	0,22	0,33	0,59	5,50	9,33	9,17	10,19	8,55	2,08	24,34
229	0,07	0,22	0,33	0,59	5,50	9,33	9,17	10,21	8,55	2,09	24,38
230	0,06	0,22	0,33	0,59	5,25	9,33	9,14	10,19	8,48	2,20	25,95
231	0,06	0,22	0,33	0,59	5,17	9,25	9,11	10,09	8,40	2,20	26,18
232	0,06	0,22	0,32	0,58	5,17	9,08	8,89	9,91	8,26	2,11	25,55
233	0,06	0,21	0,32	0,57	4,92	8,92	8,78	9,74	8,09	2,16	26,66
234	0,06	0,21	0,31	0,55	4,75	8,67	8,50	9,52	7,86	2,12	26,97
235	0,05	0,20	0,30	0,53	4,50	8,33	8,22	9,21	7,57	2,09	27,63
236	0,05	0,19	0,29	0,52	4,50	7,96	8,00	8,90	7,34	1,94	26,45
237	0,05	0,18	0,28	0,50	4,33	7,67	7,69	8,53	7,06	1,86	26,36
238	0,05	0,18	0,26	0,47	4,08	7,29	7,33	8,17	6,72	1,80	26,85
239	0,05	0,17	0,25	0,45	4,00	6,96	6,97	7,78	6,43	1,66	25,87
240	0,05	0,16	0,24	0,43	3,92	6,58	6,61	7,41	6,13	1,53	24,89
241	0,05	0,15	0,22	0,41	3,83	6,42	6,19	6,98	5,86	1,39	23,72
242	0,04	0,14	0,21	0,38	3,50	5,92	5,81	6,52	5,43	1,33	24,42
243	0,04	0,14	0,20	0,35	3,33	5,67	5,44	6,09	5,13	1,23	23,94
244	0,04	0,13	0,19	0,33	2,92	5,29	5,14	5,69	4,76	1,25	26,27
245	0,03	0,12	0,17	0,31	2,75	5,04	4,81	5,33	4,48	1,17	26,19
246	0,03	0,11	0,16	0,29	2,67	4,54	4,44	4,97	4,15	1,02	24,49
247	0,03	0,10	0,14	0,26	2,58	4,25	4,00	4,53	3,84	0,87	22,57
248	0,03	0,09	0,14	0,24	2,25	3,79	3,81	4,21	3,51	0,86	24,59

249	0,03	0,09	0,13	0,22	2,08	3,54	3,53	3,83	3,25	0,79	24,24
250	0,02	0,08	0,12	0,21	2,00	3,42	3,19	3,55	3,04	0,71	23,33
251	0,02	0,07	0,10	0,19	1,92	3,08	2,86	3,26	2,78	0,60	21,51
252	0,02	0,07	0,10	0,17	1,67	2,71	2,64	2,95	2,49	0,57	22,69
253	0,02	0,06	0,09	0,16	1,58	2,42	2,58	2,79	2,34	0,53	22,61
254	0,02	0,06	0,08	0,15	1,25	2,33	2,25	2,53	2,09	0,57	27,43
255	0,01	0,05	0,07	0,14	1,17	2,17	2,03	2,33	1,92	0,52	26,97
256	0,01	0,05	0,06	0,12	1,00	1,92	1,75	2,12	1,70	0,49	28,80
257	0,01	0,04	0,06	0,11	0,92	1,83	1,58	1,93	1,57	0,46	29,18
258	0,01	0,04	0,05	0,10	0,92	1,67	1,44	1,74	1,44	0,37	25,82
259	0,01	0,04	0,05	0,09	0,92	1,58	1,42	1,57	1,37	0,31	22,78
260	0,01	0,04	0,05	0,09	0,92	1,54	1,28	1,47	1,30	0,28	21,44
261	0,01	0,04	0,04	0,09	0,83	1,46	1,19	1,47	1,24	0,30	24,05
262	0,01	0,03	0,04	0,08	0,67	1,38	1,11	1,29	1,11	0,32	28,46
263	0,01	0,03	0,04	0,07	0,67	1,08	1,00	1,19	0,98	0,23	22,94
264	0,01	0,03	0,03	0,06	0,58	1,04	0,92	1,10	0,91	0,23	25,46
265	0,01	0,02	0,03	0,06	0,50	1,00	0,83	1,00	0,83	0,24	28,28
266	0,00	0,02	0,03	0,05	0,33	0,96	0,78	0,91	0,75	0,29	38,28
267	0,00	0,02	0,03	0,05	0,33	0,92	0,69	0,88	0,71	0,27	37,78
268	0,00	0,02	0,02	0,05	0,25	0,88	0,61	0,81	0,64	0,28	44,16
269	0,00	0,02	0,02	0,05	0,25	0,83	0,56	0,78	0,60	0,26	43,80
270	0,00	0,02	0,02	0,04	0,08	0,79	0,58	0,74	0,55	0,32	58,82
271	0,00	0,02	0,02	0,04	0,08	0,71	0,53	0,71	0,51	0,29	58,16
272	0,00	0,02	0,02	0,04	0,08	0,67	0,53	0,66	0,48	0,27	56,69
273	0,00	0,02	0,02	0,04	0,08	0,67	0,50	0,66	0,48	0,27	57,27
274	0,00	0,02	0,02	0,04	0,08	0,67	0,47	0,60	0,46	0,26	57,31
275	0,00	0,02	0,02	0,03	0,08	0,63	0,47	0,59	0,44	0,25	56,05
276	0,00	0,01	0,02	0,03	0,08	0,54	0,42	0,55	0,40	0,22	54,93
277	0,00	0,01	0,02	0,03	0,08	0,54	0,42	0,55	0,40	0,22	54,93
278	0,00	0,01	0,02	0,03	0,08	0,54	0,42	0,55	0,40	0,22	54,93
279	0,00	0,01	0,02	0,03	0,17	0,58	0,42	0,55	0,43	0,19	44,14
280	0,00	0,02	0,01	0,03	0,17	0,71	0,39	0,55	0,45	0,23	51,04
281	0,00	0,02	0,01	0,03	0,17	0,67	0,39	0,52	0,43	0,21	48,70
282	0,00	0,02	0,01	0,03	0,17	0,67	0,39	0,50	0,43	0,21	48,71
283	0,00	0,02	0,01	0,03	0,17	0,63	0,39	0,47	0,41	0,19	46,31
284	0,00	0,02	0,01	0,03	0,17	0,63	0,36	0,48	0,41	0,19	47,49
285	0,00	0,01	0,01	0,03	0,17	0,58	0,36	0,48	0,40	0,18	44,99
286	0,00	0,01	0,01	0,03	0,17	0,50	0,36	0,48	0,38	0,15	40,68
287	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,46	0,36	0,43	0,31	0,21	67,94
288	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,46	0,36	0,41	0,33	0,17	51,23
289	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,42	0,36	0,41	0,32	0,16	49,88
290	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,42	0,33	0,41	0,31	0,16	50,39
291	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,42	0,33	0,41	0,27	0,24	88,40

292	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,33	0,41	0,25	0,22	90,24
293	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,29	0,31	0,41	0,25	0,18	70,08
294	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,33	0,31	0,41	0,26	0,18	68,91
295	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,33	0,31	0,40	0,26	0,18	68,27
296	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,33	0,28	0,40	0,25	0,17	69,39
297	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,33	0,28	0,38	0,27	0,13	48,50
298	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,33	0,28	0,36	0,26	0,13	47,52
299	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,33	0,28	0,36	0,26	0,13	47,52
300	0,00	0,01	0,01	0,02	0,17	0,33	0,25	0,36	0,28	0,09	31,70
301	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,33	0,25	0,36	0,26	0,13	48,71
302	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,42	0,25	0,36	0,28	0,15	52,93
303	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,42	0,25	0,33	0,25	0,18	72,08
304	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,38	0,25	0,31	0,23	0,16	70,15
305	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,25	0,31	0,20	0,19	95,68
306	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,25	0,31	0,20	0,19	95,68
307	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,25	0,31	0,20	0,19	95,68
308	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,33	0,22	0,31	0,22	0,15	70,24
309	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,33	0,22	0,31	0,22	0,15	70,24
310	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,22	0,31	0,20	0,19	98,16
311	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,22	0,31	0,20	0,19	98,16
312	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,29	0,22	0,29	0,18	0,18	99,08
313	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,33	0,22	0,29	0,19	0,19	98,67
314	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,29	0,22	0,29	0,18	0,18	99,08
315	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,17	0,29	0,19	0,29	0,15	0,22	142,45
316	0,00	0,01	0,00	0,02	-0,08	0,25	0,11	0,28	0,14	0,16	118,91
317	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,21	0,14	0,26	0,13	0,15	115,48
318	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,25	0,17	0,26	0,15	0,16	107,91
319	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,25	0,17	0,26	0,15	0,16	107,91
320	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,25	0,17	0,26	0,15	0,16	107,91
321	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,25	0,17	0,26	0,15	0,16	107,91
322	0,00	0,01	0,01	0,02	-0,08	0,29	0,17	0,26	0,16	0,17	107,08
323	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,29	0,17	0,24	0,15	0,17	107,99
324	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,17	0,22	0,14	0,15	109,42
325	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,19	0,22	0,15	0,15	105,78
326	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,17	0,19	0,13	0,15	112,42
327	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,17	0,19	0,13	0,15	112,42
328	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,17	0,17	0,13	0,14	114,62
329	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,17	0,17	0,13	0,14	114,62
330	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,21	0,17	0,19	0,14	0,10	67,75
331	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,25	0,17	0,19	0,15	0,11	70,58
332	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,21	0,14	0,19	0,13	0,09	70,16
333	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,25	0,14	0,19	0,12	0,15	117,42
334	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,33	0,17	0,19	0,15	0,17	114,20



335	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,29	0,11	0,17	0,12	0,16	127,38
336	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,29	0,11	0,17	0,10	0,19	190,19
337	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,29	0,11	0,17	0,10	0,19	190,19
338	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,25	0,08	0,17	0,08	0,18	213,43
339	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,25	0,08	0,17	0,08	0,18	213,43
340	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,25	0,08	0,16	0,08	0,18	221,64
341	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,25	0,11	0,16	0,09	0,18	204,82
342	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,25	0,11	0,16	0,11	0,14	129,57
343	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,08	0,16	0,09	0,13	139,68
344	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,08	0,16	0,09	0,13	139,68
345	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,11	0,14	0,09	0,12	133,48
346	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,11	0,14	0,09	0,12	133,48
347	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,11	0,14	0,09	0,12	133,48
348	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,21	0,14	0,14	0,10	0,13	126,31
349	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,08	0,21	0,14	0,14	0,10	0,13	126,31
350	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,21	0,08	0,14	0,09	0,12	143,57
351	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,08	0,17	0,08	0,14	0,08	0,11	146,81
352	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,17	0,17	0,08	0,14	0,06	0,15	274,73
353	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,17	0,08	0,08	0,14	0,03	0,14	395,99
354	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,17	0,08	0,08	0,12	0,03	0,13	438,82
355	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,17	0,08	0,08	0,12	0,03	0,13	438,82
356	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,17	0,17	0,08	0,12	0,05	0,15	292,25
357	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,17	0,06	0,12	0,09	0,07	85,28
358	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,08	0,00	0,06	0,14	0,03	0,09	338,20
359	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,08	0,04	0,08	0,14	0,04	0,09	209,67
360	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,08	0,04	0,08	0,14	0,04	0,09	209,67
361	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,08	0,08	0,06	0,12	0,04	0,09	202,05
362	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,04	0,08	0,12	0,00	0,17	-15688,59
363	-0,01	0,00	0,00	0,01	-0,42	0,13	0,08	0,12	-0,02	0,26	-1204,12
364	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,33	0,17	0,06	0,12	0,00	0,23	9538,55
365	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,17	0,08	0,12	0,03	0,19	629,27
366	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,33	0,17	0,08	0,10	0,01	0,23	4540,94
367	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,33	0,17	0,08	0,10	0,01	0,23	4540,94
368	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,17	0,06	0,12	0,02	0,19	808,38
369	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,08	0,12	0,04	0,20	494,43
370	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,17	0,06	0,12	0,02	0,19	808,38
371	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,06	0,12	0,03	0,20	592,03
372	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,17	0,06	0,12	0,02	0,19	808,38
373	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,06	0,12	0,05	0,16	294,01
374	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,06	0,12	0,05	0,16	294,01
375	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,06	0,12	0,05	0,16	294,01
376	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,06	0,09	0,05	0,16	340,84
377	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,25	0,06	0,09	0,06	0,17	304,57

378	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,17	0,29	0,06	0,07	0,06	0,19	300,09
379	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,25	0,17	0,14	0,09	0,04	0,19	545,13
380	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,11	0,09	0,04	0,20	513,16
381	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,25	0,17	0,06	0,09	0,01	0,18	1249,52
382	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,06	0,10	0,05	0,16	314,96
383	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,06	0,10	0,03	0,20	671,05
384	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,06	0,10	0,03	0,20	671,05
385	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,25	0,06	0,12	0,04	0,21	481,25
386	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,25	0,08	0,12	0,09	0,14	148,22
387	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,33	0,08	0,10	0,11	0,17	156,85
388	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,33	0,08	0,10	0,11	0,17	156,85
389	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,08	0,33	0,08	0,12	0,11	0,17	150,92
390	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,29	0,08	0,10	0,12	0,12	102,95
391	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,29	0,08	0,10	0,12	0,12	102,95
392	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,25	0,08	0,09	0,10	0,10	99,80
393	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,17	0,33	0,06	0,05	0,07	0,20	299,11
394	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,17	0,33	0,03	0,05	0,06	0,21	334,57
395	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,17	0,25	0,03	0,07	0,05	0,17	379,79
396	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,25	0,21	0,03	0,09	0,02	0,19	1072,52
397	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,03	0,09	0,04	0,16	401,77
398	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,03	0,09	0,04	0,16	401,77
399	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,03	0,09	0,04	0,16	401,77
400	0,00	0,01	0,00	0,01	-0,17	0,21	0,03	0,09	0,04	0,16	401,77

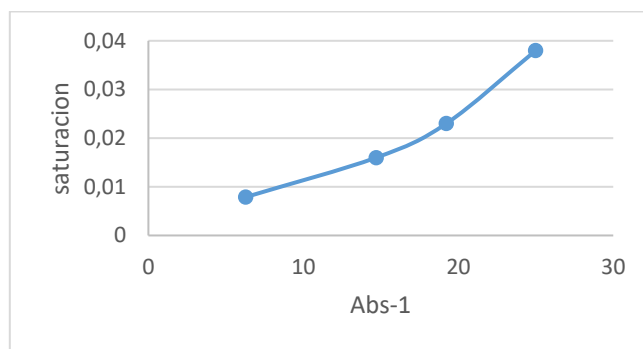


Figura 95: Ajuste Kerosene longitud de onda 221nm.

Tabla 83: Espectrometría muestra individual Kerosene.

Wavelength (nm)	Absorbancia				Absortividad					Desvest	Cof variación
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	Prom.		
190	0,04	0,02	0,01	0,02	5,19	1,50	0,43	0,45	1,89	2,25	119,06
191	0,05	0,03	0,01	0,02	5,70	1,69	0,48	0,45	2,08	2,48	119,42
192	0,06	0,03	0,02	0,02	7,09	1,81	0,70	0,47	2,52	3,10	123,26
193	0,10	0,05	0,02	0,03	12,91	3,13	1,04	0,76	4,46	5,73	128,49
194	0,16	0,08	0,05	0,05	20,63	4,94	2,00	1,39	7,24	9,06	125,13

195	0,23	0,11	0,07	0,08	29,49	6,75	3,13	1,97	10,34	12,93	125,11
196	0,29	0,13	0,09	0,09	36,71	8,19	3,83	2,34	12,77	16,15	126,53
197	0,34	0,15	0,10	0,10	43,04	9,13	4,35	2,63	14,79	19,03	128,74
198	0,37	0,16	0,11	0,11	47,09	9,81	4,70	2,82	16,10	20,87	129,59
199	0,39	0,16	0,11	0,11	48,73	9,88	4,74	2,82	16,54	21,67	131,00
200	0,38	0,15	0,11	0,11	47,97	9,63	4,74	2,79	16,28	21,32	130,96
201	0,35	0,14	0,11	0,10	44,43	9,00	4,65	2,68	15,19	19,67	129,48
202	0,32	0,13	0,10	0,09	40,13	8,19	4,13	2,47	13,73	17,76	129,36
203	0,28	0,12	0,09	0,08	35,70	7,31	3,78	2,18	12,24	15,78	128,89
204	0,25	0,11	0,08	0,08	31,90	6,75	3,35	2,03	11,01	14,07	127,84
205	0,23	0,10	0,07	0,07	28,48	6,06	3,00	1,79	9,83	12,56	127,74
206	0,20	0,09	0,06	0,06	25,70	5,50	2,78	1,63	8,90	11,31	127,07
207	0,19	0,08	0,06	0,06	23,67	5,06	2,65	1,45	8,21	10,42	126,91
208	0,18	0,07	0,06	0,05	22,41	4,63	2,48	1,42	7,73	9,87	127,67
209	0,17	0,07	0,05	0,05	21,39	4,50	2,35	1,32	7,39	9,43	127,61
210	0,16	0,07	0,05	0,05	20,63	4,38	2,30	1,32	7,16	9,07	126,78
211	0,16	0,07	0,05	0,05	20,63	4,38	2,26	1,29	7,14	9,09	127,28
212	0,16	0,07	0,05	0,05	20,63	4,19	2,30	1,21	7,08	9,12	128,69
213	0,16	0,07	0,05	0,05	20,51	4,19	2,30	1,21	7,05	9,05	128,38
214	0,16	0,07	0,05	0,05	20,51	4,19	2,26	1,21	7,04	9,06	128,68
215	0,17	0,07	0,05	0,05	20,89	4,31	2,30	1,21	7,18	9,23	128,56
216	0,17	0,07	0,05	0,05	21,01	4,31	2,30	1,21	7,21	9,29	128,86
217	0,17	0,07	0,05	0,05	21,01	4,31	2,30	1,21	7,21	9,29	128,86
218	0,16	0,07	0,05	0,05	20,76	4,31	2,30	1,21	7,15	9,17	128,25
219	0,16	0,07	0,05	0,05	20,76	4,31	2,30	1,21	7,15	9,17	128,25
220	0,16	0,07	0,05	0,05	20,76	4,31	2,30	1,21	7,15	9,17	128,25
221	0,16	0,07	0,05	0,05	20,13	4,25	2,26	1,18	6,96	8,87	127,56
222	0,15	0,07	0,05	0,04	19,24	4,06	2,17	1,16	6,66	8,47	127,26
223	0,15	0,06	0,05	0,04	18,48	3,94	2,04	1,13	6,40	8,14	127,21
224	0,14	0,06	0,05	0,04	17,59	3,81	2,04	1,05	6,13	7,73	126,20
225	0,13	0,06	0,04	0,04	16,33	3,56	1,91	1,00	5,70	7,16	125,66
226	0,12	0,06	0,04	0,04	14,94	3,44	1,91	0,92	5,30	6,51	122,71
227	0,11	0,05	0,04	0,03	14,30	3,31	1,74	0,82	5,04	6,26	124,13
228	0,10	0,05	0,04	0,03	12,53	3,13	1,61	0,76	4,51	5,44	120,66
229	0,09	0,05	0,04	0,03	11,27	3,00	1,52	0,68	4,12	4,86	118,03
230	0,08	0,04	0,03	0,02	10,63	2,69	1,35	0,63	3,82	4,62	120,73
231	0,07	0,04	0,03	0,02	9,24	2,44	1,26	0,58	3,38	3,98	117,83
232	0,07	0,04	0,03	0,02	8,48	2,31	1,17	0,58	3,14	3,63	115,88
233	0,06	0,04	0,03	0,02	7,97	2,31	1,13	0,53	2,99	3,41	114,12
234	0,06	0,04	0,02	0,02	7,59	2,19	0,96	0,50	2,81	3,27	116,34
235	0,05	0,03	0,02	0,02	6,84	1,94	0,96	0,45	2,54	2,93	115,04
236	0,05	0,03	0,02	0,02	6,84	1,88	0,91	0,45	2,52	2,94	116,74
237	0,05	0,03	0,02	0,02	6,58	1,81	0,78	0,42	2,40	2,85	118,77

238	0,05	0,03	0,02	0,02	6,46	1,81	0,78	0,39	2,36	2,79	118,33
239	0,05	0,03	0,02	0,02	6,46	1,75	0,78	0,39	2,35	2,80	119,30
240	0,05	0,03	0,02	0,01	6,33	1,69	0,78	0,37	2,29	2,75	119,87
241	0,05	0,03	0,02	0,01	6,20	1,75	0,74	0,37	2,27	2,69	118,73
242	0,05	0,03	0,02	0,01	6,20	1,75	0,74	0,37	2,27	2,69	118,73
243	0,05	0,03	0,02	0,02	6,20	1,69	0,65	0,39	2,23	2,70	121,02
244	0,05	0,03	0,01	0,02	6,20	1,69	0,57	0,39	2,21	2,72	122,99
245	0,05	0,03	0,01	0,01	6,08	1,69	0,57	0,37	2,17	2,67	122,58
246	0,05	0,03	0,01	0,01	6,08	1,69	0,57	0,37	2,17	2,67	122,58
247	0,05	0,03	0,01	0,01	5,95	1,69	0,57	0,34	2,14	2,61	122,16
248	0,05	0,02	0,01	0,01	6,08	1,50	0,57	0,37	2,13	2,68	125,89
249	0,05	0,02	0,01	0,01	6,08	1,50	0,57	0,29	2,11	2,70	127,90
250	0,05	0,02	0,01	0,01	6,08	1,50	0,57	0,29	2,11	2,70	127,90
251	0,05	0,02	0,01	0,01	6,08	1,50	0,57	0,29	2,11	2,70	127,90
252	0,05	0,03	0,01	0,01	5,95	1,63	0,57	0,29	2,11	2,63	124,58
253	0,05	0,03	0,01	0,01	5,95	1,63	0,57	0,32	2,11	2,62	123,91
254	0,05	0,03	0,01	0,01	5,95	1,63	0,57	0,32	2,11	2,62	123,91
255	0,05	0,03	0,01	0,01	6,08	1,63	0,57	0,32	2,15	2,68	124,96
256	0,05	0,03	0,01	0,01	6,08	1,63	0,61	0,34	2,16	2,67	123,29
257	0,05	0,03	0,01	0,02	6,08	1,69	0,61	0,39	2,19	2,65	120,94
258	0,05	0,03	0,01	0,02	6,08	1,69	0,61	0,39	2,19	2,65	120,94
259	0,05	0,03	0,01	0,02	6,08	1,69	0,61	0,39	2,19	2,65	120,94
260	0,05	0,03	0,01	0,02	6,08	1,69	0,61	0,39	2,19	2,65	120,94
261	0,05	0,03	0,01	0,02	6,08	1,56	0,61	0,39	2,16	2,66	123,09
262	0,05	0,03	0,01	0,01	6,08	1,56	0,61	0,37	2,15	2,67	123,73
263	0,05	0,03	0,01	0,02	6,20	1,56	0,57	0,39	2,18	2,73	125,15
264	0,05	0,03	0,01	0,02	6,20	1,56	0,57	0,39	2,18	2,73	125,15
265	0,05	0,03	0,01	0,02	6,46	1,56	0,57	0,39	2,24	2,85	127,17
266	0,05	0,03	0,01	0,01	6,58	1,56	0,57	0,37	2,27	2,92	128,76
267	0,05	0,03	0,01	0,01	6,58	1,56	0,57	0,37	2,27	2,92	128,76
268	0,05	0,03	0,01	0,01	6,58	1,56	0,57	0,37	2,27	2,92	128,76
269	0,05	0,03	0,01	0,01	6,58	1,56	0,57	0,37	2,27	2,92	128,76
270	0,05	0,03	0,01	0,01	6,58	1,56	0,57	0,37	2,27	2,92	128,76
271	0,05	0,03	0,01	0,01	6,71	1,56	0,57	0,37	2,30	2,98	129,69
272	0,05	0,03	0,01	0,01	6,84	1,56	0,61	0,37	2,34	3,04	129,64
273	0,05	0,03	0,01	0,01	6,71	1,56	0,61	0,37	2,31	2,98	128,72
274	0,05	0,03	0,01	0,01	6,71	1,56	0,61	0,37	2,31	2,98	128,72
275	0,05	0,03	0,01	0,01	6,71	1,56	0,61	0,34	2,31	2,98	129,34
276	0,05	0,03	0,01	0,01	6,46	1,56	0,61	0,34	2,24	2,86	127,43
277	0,05	0,02	0,01	0,01	6,58	1,50	0,61	0,34	2,26	2,92	129,52
278	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,50	0,65	0,34	2,27	2,92	128,54
279	0,05	0,03	0,02	0,01	6,71	1,56	0,65	0,34	2,32	2,97	128,38
280	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,50	0,65	0,34	2,27	2,92	128,54

281	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,50	0,65	0,34	2,27	2,92	128,54
282	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,38	0,65	0,26	2,22	2,95	132,80
283	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,44	0,70	0,26	2,24	2,93	130,63
284	0,05	0,02	0,02	0,01	6,58	1,44	0,70	0,26	2,24	2,93	130,63
285	0,05	0,02	0,02	0,01	6,46	1,44	0,70	0,26	2,21	2,87	129,68
286	0,05	0,02	0,02	0,01	6,20	1,44	0,65	0,24	2,13	2,76	129,38
287	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,44	0,57	0,26	2,12	2,77	130,78
288	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,50	0,57	0,29	2,14	2,76	128,92
289	0,05	0,02	0,01	0,01	6,33	1,50	0,57	0,29	2,17	2,82	129,90
290	0,05	0,02	0,02	0,01	6,33	1,50	0,65	0,29	2,19	2,80	127,87
291	0,05	0,02	0,02	0,01	6,33	1,50	0,65	0,32	2,20	2,80	127,22
292	0,05	0,02	0,02	0,01	6,33	1,50	0,65	0,29	2,19	2,80	127,87
293	0,05	0,02	0,02	0,01	6,33	1,50	0,65	0,29	2,19	2,80	127,87
294	0,05	0,02	0,01	0,01	6,33	1,50	0,61	0,29	2,18	2,81	128,88
295	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,50	0,61	0,29	2,15	2,75	127,88
296	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,38	0,61	0,26	2,11	2,77	130,95
297	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,38	0,61	0,16	2,09	2,79	133,74
298	0,05	0,02	0,01	0,01	6,20	1,25	0,61	0,18	2,06	2,80	135,61
299	0,05	0,02	0,01	0,01	5,95	1,25	0,61	0,18	2,00	2,67	133,65
300	0,05	0,02	0,01	0,01	5,95	1,31	0,61	0,18	2,01	2,66	132,33

**Tabla 84: Espectrometría muestra individual ácido sulfúrico.**

Wavelength (nm)	Absorbancia				Absortividad					Desvest	Cof variación
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml	Prom.		
190	0,01	-0,04	-0,06	-0,03	0,25	-1,00	-1,06	-0,39	-0,55	0,61	-111,74
191	0,01	-0,09	-0,12	-0,11	0,25	-2,56	-2,26	-1,22	-1,45	1,27	-87,73
192	0,01	-0,13	-0,16	-0,16	0,40	-3,56	-3,00	-1,80	-1,99	1,75	-88,20
193	0,02	-0,16	-0,19	-0,19	0,80	-4,36	-3,48	-2,19	-2,31	2,26	-97,70
194	0,03	-0,16	-0,19	-0,20	1,70	-4,53	-3,52	-2,24	-2,15	2,73	-127,19
195	0,05	-0,14	-0,16	-0,17	2,50	-3,92	-2,96	-1,95	-1,58	2,84	-179,21
196	0,06	-0,10	-0,11	-0,12	3,10	-2,69	-1,94	-1,38	-0,73	2,61	-358,13
197	0,07	-0,05	-0,04	-0,06	3,70	-1,25	-0,78	-0,67	0,25	2,31	923,74
198	0,08	0,01	0,02	0,00	4,15	0,17	0,37	0,02	1,18	1,99	168,74
199	0,09	0,05	0,08	0,06	4,65	1,44	1,39	0,67	2,04	1,78	87,14
200	0,09	0,09	0,12	0,10	4,70	2,44	2,19	1,18	2,63	1,48	56,50
201	0,10	0,11	0,15	0,14	4,95	3,14	2,78	1,57	3,11	1,40	45,01
202	0,10	0,14	0,18	0,17	4,95	3,78	3,28	1,88	3,47	1,27	36,70
203	0,10	0,15	0,20	0,18	5,15	4,25	3,69	2,09	3,79	1,29	33,89
204	0,11	0,16	0,21	0,20	5,25	4,56	3,94	2,28	4,01	1,27	31,62
205	0,11	0,17	0,22	0,21	5,25	4,81	4,15	2,41	4,15	1,25	30,04
206	0,11	0,18	0,23	0,22	5,30	4,94	4,24	2,45	4,23	1,27	29,89
207	0,11	0,18	0,23	0,22	5,30	5,00	4,24	2,50	4,26	1,26	29,47

208	0,11	0,18	0,23	0,22	5,25	5,00	4,28	2,50	4,26	1,24	29,17
209	0,11	0,18	0,23	0,22	5,25	4,97	4,22	2,50	4,24	1,24	29,18
210	0,10	0,17	0,22	0,22	5,15	4,81	4,15	2,49	4,15	1,18	28,49
211	0,10	0,17	0,22	0,22	4,90	4,69	4,09	2,44	4,03	1,11	27,62
212	0,10	0,16	0,21	0,21	4,75	4,53	3,94	2,36	3,90	1,08	27,64
213	0,09	0,16	0,20	0,20	4,55	4,44	3,78	2,28	3,76	1,04	27,74
214	0,08	0,15	0,19	0,19	4,20	4,19	3,59	2,20	3,55	0,94	26,49
215	0,08	0,14	0,18	0,19	4,05	3,89	3,37	2,11	3,36	0,88	26,15
216	0,08	0,13	0,17	0,18	3,75	3,61	3,13	2,00	3,12	0,79	25,44
217	0,07	0,12	0,16	0,17	3,45	3,25	2,87	1,88	2,86	0,70	24,47
218	0,06	0,11	0,14	0,15	3,15	2,94	2,57	1,74	2,60	0,62	23,94
219	0,06	0,10	0,13	0,14	2,85	2,64	2,35	1,59	2,36	0,55	23,35
220	0,05	0,08	0,11	0,13	2,65	2,28	2,09	1,48	2,12	0,49	23,05
221	0,05	0,07	0,10	0,12	2,40	2,00	1,85	1,32	1,89	0,45	23,64
222	0,04	0,06	0,09	0,10	2,10	1,67	1,57	1,18	1,63	0,38	23,12
223	0,04	0,05	0,07	0,09	1,95	1,39	1,37	1,07	1,44	0,37	25,46
224	0,04	0,04	0,06	0,08	1,85	1,11	1,15	0,95	1,27	0,40	31,46
225	0,03	0,03	0,05	0,07	1,60	0,83	0,89	0,81	1,03	0,38	36,82
226	0,03	0,02	0,03	0,06	1,35	0,56	0,63	0,67	0,80	0,37	46,02
227	0,02	0,01	0,02	0,05	1,20	0,14	0,44	0,59	0,59	0,45	75,14
228	0,02	0,00	0,02	0,04	1,05	-0,03	0,39	0,44	0,46	0,44	95,77
229	0,02	-0,02	0,01	0,03	0,85	-0,44	0,13	0,39	0,23	0,54	234,25
230	0,01	-0,02	0,00	0,02	0,65	-0,56	-0,06	0,27	0,08	0,51	656,34
231	0,01	-0,02	-0,01	0,02	0,65	-0,64	-0,13	0,20	0,02	0,54	2528,96
232	0,01	-0,03	-0,02	0,00	0,55	-0,92	-0,39	0,05	-0,18	0,62	-351,78
233	0,01	-0,04	-0,03	0,00	0,45	-1,08	-0,57	-0,02	-0,31	0,67	-216,33
234	0,01	-0,04	-0,04	-0,01	0,40	-1,22	-0,67	-0,13	-0,40	0,70	-173,06
235	0,01	-0,05	-0,05	-0,02	0,40	-1,44	-0,85	-0,17	-0,52	0,80	-155,37
236	0,01	-0,06	-0,05	-0,02	0,25	-1,53	-0,98	-0,23	-0,62	0,79	-126,87
237	0,00	-0,06	-0,06	-0,02	0,15	-1,67	-1,09	-0,27	-0,72	0,81	-113,10
238	0,00	-0,07	-0,06	-0,03	0,15	-1,81	-1,19	-0,35	-0,80	0,87	-108,79
239	0,00	-0,07	-0,07	-0,03	0,05	-1,89	-1,22	-0,39	-0,86	0,86	-100,31
240	0,00	-0,07	-0,07	-0,04	0,05	-1,97	-1,30	-0,43	-0,91	0,90	-98,58
241	0,00	-0,07	-0,07	-0,04	0,00	-2,00	-1,31	-0,49	-0,95	0,89	-93,10
242	0,00	-0,08	-0,07	-0,04	0,00	-2,11	-1,33	-0,50	-0,99	0,93	-94,31
243	0,00	-0,08	-0,07	-0,05	0,00	-2,17	-1,33	-0,51	-1,00	0,95	-94,79
244	0,00	-0,08	-0,07	-0,05	0,05	-2,17	-1,35	-0,53	-1,00	0,97	-96,62
245	0,00	-0,08	-0,07	-0,05	0,05	-2,17	-1,35	-0,56	-1,01	0,96	-95,72
246	0,00	-0,08	-0,08	-0,05	0,05	-2,17	-1,39	-0,55	-1,01	0,97	-95,75
247	0,00	-0,08	-0,08	-0,05	-0,20	-2,17	-1,39	-0,51	-1,07	0,89	-83,38
248	0,00	-0,08	-0,08	-0,04	-0,20	-2,17	-1,39	-0,47	-1,06	0,90	-85,20
249	0,00	-0,07	-0,07	-0,04	-0,15	-2,06	-1,33	-0,47	-1,00	0,86	-86,17
250	0,00	-0,07	-0,07	-0,04	-0,10	-2,06	-1,26	-0,44	-0,96	0,87	-90,71

251	0,00	-0,07	-0,07	-0,04	-0,05	-1,94	-1,24	-0,41	-0,91	0,85	-93,35
252	0,00	-0,07	-0,06	-0,03	-0,05	-1,86	-1,17	-0,36	-0,86	0,82	-94,87
253	0,00	-0,06	-0,06	-0,03	-0,05	-1,67	-1,09	-0,35	-0,79	0,73	-92,38
254	0,00	-0,06	-0,06	-0,03	-0,05	-1,58	-1,02	-0,30	-0,74	0,70	-94,76
255	0,00	-0,05	-0,05	-0,02	-0,05	-1,47	-0,89	-0,22	-0,66	0,65	-99,51
256	0,00	-0,05	-0,05	-0,02	0,05	-1,33	-0,83	-0,18	-0,57	0,63	-109,47
257	0,00	-0,04	-0,04	-0,02	0,05	-1,19	-0,76	-0,17	-0,52	0,57	-109,05
258	0,00	-0,04	-0,04	-0,01	0,00	-1,14	-0,74	-0,11	-0,50	0,54	-107,78
259	0,00	-0,04	-0,04	-0,01	-0,05	-1,14	-0,72	-0,11	-0,51	0,52	-102,60
260	0,00	-0,04	-0,04	0,00	0,00	-1,08	-0,65	-0,01	-0,44	0,53	-121,04
261	0,00	-0,04	-0,03	0,00	0,05	-1,00	-0,61	-0,02	-0,40	0,50	-126,22
262	0,00	-0,04	-0,03	0,00	0,05	-0,97	-0,52	-0,01	-0,36	0,48	-132,06
263	0,00	-0,03	-0,03	0,00	0,05	-0,92	-0,52	0,03	-0,34	0,47	-138,49
264	0,00	-0,03	-0,02	0,00	0,05	-0,83	-0,44	0,05	-0,30	0,43	-144,47
265	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,83	-0,44	0,07	-0,29	0,43	-149,43
266	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,83	-0,41	0,07	-0,27	0,44	-165,03
267	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,83	-0,41	0,08	-0,27	0,45	-167,90
268	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,83	-0,41	0,08	-0,27	0,45	-167,90
269	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,81	-0,41	0,08	-0,26	0,43	-167,86
270	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,81	-0,41	0,08	-0,27	0,42	-155,22
271	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,81	-0,41	0,09	-0,27	0,42	-158,06
272	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,81	-0,37	0,09	-0,26	0,42	-162,29
273	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,81	-0,37	0,10	-0,26	0,42	-165,34
274	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,05	-0,78	-0,39	0,11	-0,25	0,42	-166,04
275	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,78	-0,37	0,11	-0,23	0,43	-182,72
276	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,75	-0,37	0,13	-0,22	0,42	-186,86
277	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,75	-0,35	0,13	-0,22	0,42	-189,87
278	0,00	-0,03	-0,02	0,01	0,10	-0,72	-0,35	0,14	-0,21	0,41	-194,65
279	0,00	-0,03	-0,01	0,01	0,10	-0,72	-0,26	0,15	-0,18	0,40	-219,43
280	0,00	-0,02	-0,01	0,02	0,10	-0,67	-0,19	0,19	-0,14	0,39	-276,69
281	0,00	-0,02	-0,01	0,02	0,10	-0,56	-0,15	0,23	-0,09	0,34	-366,47
282	0,00	-0,02	-0,01	0,02	0,10	-0,47	-0,09	0,25	-0,05	0,31	-581,46
283	0,00	-0,01	0,00	0,03	0,10	-0,39	-0,07	0,28	-0,02	0,29	-1451,89
284	0,00	-0,01	0,00	0,03	0,10	-0,31	0,02	0,32	0,03	0,26	788,80
285	0,00	-0,01	0,00	0,03	0,05	-0,22	0,06	0,33	0,05	0,23	423,28
286	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	-0,11	0,09	0,41	0,11	0,22	197,70
287	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	-0,03	0,19	0,47	0,17	0,22	128,93
288	0,00	0,00	0,01	0,04	0,10	-0,03	0,22	0,50	0,20	0,23	113,47
289	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,08	0,26	0,52	0,23	0,22	94,56
290	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,14	0,31	0,57	0,27	0,23	85,23
291	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,25	0,43	0,58	0,33	0,23	69,92
292	0,00	0,01	0,03	0,05	0,05	0,28	0,48	0,58	0,35	0,23	67,58
293	0,00	0,01	0,03	0,05	0,05	0,36	0,48	0,60	0,37	0,24	63,47

294	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,47	0,56	0,61	0,45	0,21	46,19
295	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,50	0,57	0,66	0,46	0,25	54,02
296	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,59	0,67	0,48	0,26	53,70
297	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,59	0,67	0,48	0,26	53,70
298	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,61	0,68	0,49	0,26	54,03
299	0,00	0,02	0,04	0,06	0,20	0,61	0,69	0,68	0,54	0,23	42,64
300	0,00	0,02	0,04	0,06	0,20	0,64	0,69	0,68	0,55	0,24	42,66
301	0,00	0,02	0,04	0,06	0,20	0,67	0,69	0,72	0,57	0,25	43,30
302	0,00	0,02	0,04	0,07	0,20	0,67	0,69	0,74	0,57	0,25	43,71
303	0,00	0,02	0,04	0,07	0,20	0,67	0,70	0,75	0,58	0,26	44,08
304	0,00	0,03	0,04	0,07	0,20	0,69	0,69	0,75	0,58	0,26	44,05
305	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,69	0,75	0,57	0,28	49,38
306	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,70	0,75	0,57	0,28	49,44
307	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,69	0,75	0,57	0,28	49,38
308	0,00	0,02	0,04	0,07	0,15	0,67	0,69	0,75	0,56	0,28	49,31
309	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,70	0,76	0,58	0,29	49,61
310	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,74	0,76	0,59	0,29	49,85
311	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,74	0,76	0,59	0,29	49,85
312	0,00	0,03	0,04	0,07	0,10	0,69	0,72	0,76	0,57	0,31	55,17
313	0,00	0,03	0,04	0,07	0,10	0,69	0,72	0,75	0,57	0,31	55,05
314	0,00	0,03	0,04	0,07	0,10	0,69	0,70	0,75	0,56	0,31	54,98
315	0,00	0,03	0,04	0,07	0,10	0,69	0,70	0,75	0,56	0,31	54,98
316	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,69	0,75	0,57	0,28	49,38
317	0,00	0,03	0,04	0,07	0,15	0,69	0,69	0,75	0,57	0,28	49,38
318	0,00	0,02	0,04	0,07	0,15	0,67	0,67	0,75	0,56	0,28	49,26
319	0,00	0,02	0,04	0,07	0,15	0,67	0,69	0,75	0,56	0,28	49,31
320	0,00	0,02	0,04	0,07	0,10	0,61	0,67	0,74	0,53	0,29	54,96
321	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,61	0,65	0,73	0,52	0,29	54,68
322	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,64	0,67	0,73	0,53	0,29	54,60
323	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,64	0,67	0,70	0,53	0,29	54,27
324	0,00	0,02	0,04	0,06	0,15	0,64	0,65	0,70	0,54	0,26	48,29
325	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,64	0,65	0,70	0,52	0,28	54,20
326	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,64	0,63	0,72	0,52	0,28	54,38
327	0,00	0,02	0,04	0,06	0,15	0,61	0,65	0,72	0,53	0,26	48,54
328	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,61	0,63	0,72	0,53	0,26	48,46
329	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,61	0,63	0,72	0,53	0,26	48,46
330	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,64	0,63	0,70	0,53	0,26	48,24
331	0,00	0,02	0,04	0,06	0,15	0,64	0,65	0,70	0,54	0,26	48,29
332	0,00	0,02	0,04	0,06	0,15	0,61	0,65	0,70	0,53	0,26	48,29
333	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,64	0,65	0,70	0,52	0,28	54,20
334	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,61	0,65	0,69	0,51	0,28	54,07
335	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,58	0,67	0,69	0,51	0,28	54,39
336	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,58	0,67	0,69	0,51	0,28	54,39



337	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,63	0,68	0,50	0,27	53,91
338	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,58	0,63	0,69	0,51	0,25	48,02
339	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,63	0,68	0,50	0,27	53,91
340	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,63	0,68	0,50	0,27	53,91
341	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,61	0,68	0,49	0,27	53,83
342	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,61	0,68	0,49	0,27	53,83
343	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,61	0,67	0,49	0,26	53,61
344	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,59	0,67	0,48	0,26	53,70
345	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,59	0,67	0,49	0,26	53,57
346	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,58	0,59	0,65	0,48	0,26	53,13
347	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,53	0,59	0,64	0,48	0,22	46,64
348	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,56	0,59	0,64	0,48	0,22	46,49
349	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,56	0,59	0,64	0,50	0,20	40,34
350	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,56	0,59	0,64	0,48	0,22	46,49
351	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,56	0,59	0,64	0,48	0,22	46,49
352	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,56	0,59	0,65	0,49	0,23	46,76
353	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,56	0,61	0,65	0,50	0,21	40,89
354	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,56	0,59	0,64	0,50	0,20	40,34
355	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,58	0,59	0,64	0,49	0,23	46,52
356	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,58	0,59	0,64	0,49	0,23	46,52
357	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,58	0,59	0,65	0,49	0,23	46,76
358	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,50	0,59	0,64	0,47	0,22	46,96
359	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,64	0,61	0,63	0,52	0,21	41,02
360	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,64	0,57	0,64	0,50	0,24	47,04
361	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,64	0,57	0,64	0,50	0,24	47,04
362	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,64	0,61	0,64	0,52	0,21	41,17
363	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,61	0,52	0,65	0,49	0,20	41,19
364	0,00	0,02	0,03	0,06	0,20	0,47	0,52	0,63	0,45	0,18	39,87
365	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,50	0,52	0,64	0,45	0,21	46,47
366	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15	0,50	0,56	0,65	0,46	0,22	46,96
367	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,50	0,57	0,65	0,46	0,24	53,69
368	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,50	0,57	0,65	0,46	0,24	53,69
369	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,50	0,54	0,63	0,44	0,23	52,89
370	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,50	0,57	0,64	0,45	0,24	53,38
371	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,53	0,57	0,63	0,46	0,24	52,79
372	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,56	0,63	0,46	0,24	52,63
373	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,56	0,63	0,46	0,24	52,63
374	0,00	0,02	0,03	0,05	0,05	0,53	0,56	0,61	0,44	0,26	59,60
375	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,56	0,56	0,63	0,46	0,24	52,63
376	0,00	0,02	0,03	0,06	0,10	0,53	0,56	0,63	0,45	0,24	52,70
377	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,53	0,56	0,58	0,44	0,23	51,76
378	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,53	0,56	0,59	0,44	0,23	51,96
379	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,50	0,50	0,59	0,42	0,22	51,90

380	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,50	0,50	0,59	0,42	0,22	51,90
381	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,59	0,42	0,22	52,12
382	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,59	0,42	0,22	52,12
383	0,00	0,02	0,03	0,05	0,05	0,47	0,50	0,59	0,40	0,24	59,74
384	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,57	0,41	0,21	51,47
385	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,57	0,41	0,21	51,47
386	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,57	0,41	0,21	51,47
387	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,57	0,41	0,21	51,47
388	0,00	0,02	0,03	0,05	0,00	0,47	0,50	0,57	0,39	0,26	67,48
389	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,44	0,48	0,53	0,40	0,17	42,81
390	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,44	0,50	0,55	0,41	0,18	43,46
391	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,56	0,41	0,21	51,03
392	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,56	0,41	0,21	51,03
393	0,00	0,02	0,03	0,05	0,20	0,47	0,48	0,56	0,43	0,16	36,58
394	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,44	0,48	0,56	0,41	0,18	43,70
395	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,47	0,46	0,56	0,41	0,18	43,54
396	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,52	0,56	0,41	0,21	51,17
397	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
398	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
399	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
400	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
401	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,48	0,57	0,41	0,21	51,34
402	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
403	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,47	0,50	0,57	0,41	0,21	51,36
404	0,00	0,02	0,03	0,05	0,05	0,44	0,48	0,55	0,38	0,22	58,93
405	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,44	0,48	0,55	0,39	0,20	50,82
406	0,00	0,02	0,03	0,05	0,20	0,44	0,46	0,55	0,41	0,15	36,00
407	0,00	0,02	0,03	0,05	0,20	0,44	0,46	0,55	0,41	0,15	36,00
408	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,44	0,46	0,55	0,40	0,17	43,13
409	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15	0,44	0,46	0,55	0,40	0,17	43,13
410	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,44	0,44	0,55	0,37	0,22	59,09
411	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,44	0,43	0,55	0,37	0,22	59,33
412	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,44	0,43	0,53	0,36	0,21	58,95
413	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00	0,44	0,43	0,53	0,35	0,24	68,01
414	0,00	0,02	0,02	0,05	0,10	0,44	0,43	0,53	0,38	0,19	50,53
415	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,44	0,43	0,53	0,36	0,21	58,95
416	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,44	0,43	0,53	0,36	0,21	58,95
417	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00	0,44	0,43	0,53	0,35	0,24	68,01
418	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,42	0,43	0,53	0,36	0,21	59,24
419	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,42	0,43	0,53	0,36	0,21	59,24
420	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,53	0,35	0,21	59,79
421	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,53	0,35	0,21	59,79
422	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,53	0,35	0,21	59,79

423	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,53	0,35	0,21	59,79
424	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,52	0,35	0,21	59,33
425	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,51	0,34	0,20	58,90
426	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,51	0,34	0,20	58,90
427	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,39	0,43	0,51	0,34	0,20	58,90
428	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,51	0,34	0,17	50,72
429	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,39	0,41	0,51	0,35	0,18	50,12
430	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,51	0,34	0,17	50,72
431	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,51	0,34	0,17	50,72
432	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,52	0,35	0,18	51,36
433	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,52	0,35	0,18	51,36
434	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,52	0,35	0,18	51,36
435	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,51	0,34	0,17	50,72
436	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,41	0,51	0,34	0,17	50,72
437	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,36	0,41	0,51	0,33	0,20	59,71
438	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,36	0,37	0,51	0,34	0,17	51,09
439	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,36	0,39	0,50	0,34	0,17	50,17
440	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,33	0,39	0,51	0,32	0,20	60,86
441	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,36	0,39	0,50	0,33	0,19	59,36
442	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,50	0,33	0,17	51,01
443	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,50	0,33	0,17	51,01
444	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,50	0,33	0,17	51,01
445	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,50	0,33	0,17	51,01
446	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,50	0,33	0,17	51,01
447	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,36	0,39	0,49	0,33	0,17	49,53
448	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,49	0,33	0,16	50,30
449	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,36	0,39	0,49	0,33	0,17	49,53
450	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,36	0,37	0,49	0,33	0,16	49,68
451	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,36	0,39	0,49	0,33	0,17	49,53
452	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,49	0,33	0,16	50,30
453	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,49	0,33	0,16	50,30
454	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,37	0,49	0,32	0,16	50,39
455	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,39	0,49	0,33	0,16	50,30
456	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,35	0,49	0,32	0,16	50,64
457	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,35	0,49	0,32	0,16	50,64
458	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,35	0,49	0,32	0,16	50,64
459	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,49	0,31	0,18	60,19
460	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,49	0,31	0,18	60,19
461	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,47	0,30	0,18	58,90
462	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,47	0,30	0,18	58,90
463	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,35	0,47	0,31	0,15	49,07
464	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,35	0,45	0,31	0,15	48,32
465	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,35	0,45	0,30	0,15	49,16

466	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
467	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,45	0,30	0,17	58,28
468	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,35	0,45	0,30	0,17	58,28
469	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
470	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
471	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
472	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
473	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
474	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
475	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
476	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
477	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
478	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
479	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
480	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
481	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,35	0,45	0,29	0,17	59,21
482	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,33	0,45	0,29	0,17	59,48
483	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,33	0,44	0,29	0,17	57,99
484	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,33	0,45	0,29	0,17	58,63
485	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,33	0,45	0,29	0,17	58,63
486	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,33	0,44	0,30	0,14	47,80
487	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,33	0,33	0,44	0,30	0,14	47,80
488	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,33	0,43	0,29	0,14	47,63
489	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,33	0,43	0,29	0,14	47,63
490	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,33	0,43	0,29	0,14	47,63
491	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,35	0,43	0,30	0,14	47,59
492	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,35	0,43	0,30	0,14	47,59
493	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,35	0,44	0,30	0,15	48,37
494	0,00	0,01	0,02	0,04	0,10	0,31	0,35	0,44	0,30	0,15	48,37
495	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,33	0,35	0,44	0,28	0,19	68,81
496	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,33	0,35	0,43	0,28	0,19	68,40
497	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,33	0,33	0,43	0,27	0,19	68,78
498	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,33	0,33	0,43	0,27	0,19	68,78
499	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,33	0,31	0,44	0,29	0,17	58,46
500	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,31	0,31	0,44	0,28	0,16	59,16

## 2.2 Espectrometría mezclas

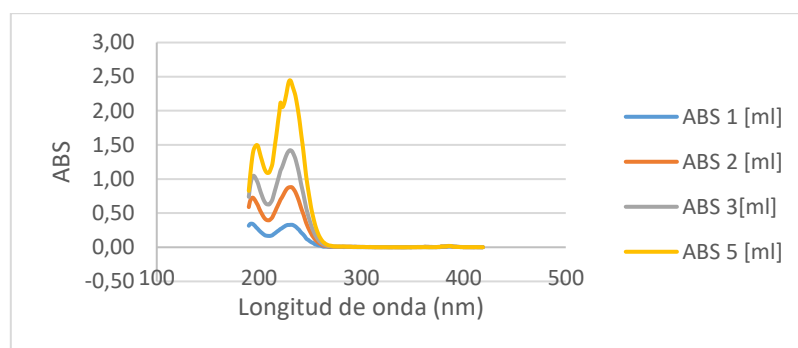


Figura 96: Espectrometría Tiofos- NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 85: Absorbancia muestra Tiofos-NaSH.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,32	0,59	0,74	0,83
191	0,34	0,66	0,86	0,99
192	0,35	0,70	0,95	1,14
193	0,35	0,72	1,01	1,27
194	0,34	0,73	1,04	1,38
195	0,33	0,71	1,05	1,44
196	0,31	0,69	1,03	1,47
197	0,30	0,67	1,00	1,49
198	0,28	0,64	0,97	1,50
199	0,27	0,61	0,94	1,48
200	0,25	0,57	0,89	1,43
201	0,23	0,54	0,84	1,37
202	0,22	0,51	0,79	1,32
203	0,21	0,49	0,75	1,27
204	0,20	0,46	0,71	1,21
205	0,18	0,43	0,68	1,16
206	0,17	0,42	0,65	1,13
207	0,17	0,40	0,64	1,10
208	0,17	0,40	0,63	1,09
209	0,17	0,40	0,63	1,09
210	0,17	0,40	0,63	1,10
211	0,17	0,41	0,65	1,13
212	0,17	0,42	0,67	1,17
213	0,18	0,44	0,70	1,22
214	0,19	0,47	0,75	1,32
215	0,20	0,50	0,80	1,43
216	0,21	0,53	0,85	1,54
217	0,22	0,57	0,91	1,65
218	0,23	0,60	0,96	1,77
219	0,24	0,63	1,01	1,89

220	0,26	0,66	1,07	1,99
221	0,27	0,70	1,12	2,12
222	0,28	0,72	1,15	2,07
223	0,29	0,75	1,19	2,05
224	0,30	0,77	1,23	2,08
225	0,31	0,80	1,28	2,13
226	0,32	0,83	1,32	2,19
227	0,32	0,85	1,36	2,27
228	0,33	0,87	1,39	2,35
229	0,33	0,88	1,41	2,42
230	0,33	0,88	1,42	2,45
231	0,33	0,88	1,42	2,44
232	0,33	0,88	1,41	2,40
233	0,33	0,87	1,39	2,35
235	0,31	0,83	1,32	2,26
236	0,30	0,80	1,27	2,19
237	0,29	0,76	1,22	2,11
238	0,27	0,72	1,16	2,02
239	0,26	0,68	1,09	1,92
240	0,24	0,63	1,02	1,81
241	0,22	0,59	0,94	1,69
242	0,21	0,54	0,87	1,57
243	0,19	0,50	0,81	1,46
244	0,17	0,46	0,73	1,33
245	0,16	0,41	0,66	1,19
246	0,13	0,36	0,59	1,06
247	0,12	0,33	0,53	0,95
248	0,11	0,29	0,47	0,85
249	0,10	0,26	0,42	0,76
250	0,09	0,23	0,37	0,67
251	0,08	0,20	0,32	0,58
252	0,07	0,17	0,28	0,51
253	0,06	0,15	0,24	0,44
254	0,05	0,13	0,21	0,38
255	0,04	0,11	0,18	0,32
256	0,04	0,10	0,15	0,27
257	0,03	0,08	0,13	0,23
258	0,03	0,07	0,11	0,19
259	0,03	0,06	0,09	0,16
260	0,03	0,05	0,08	0,14
261	0,02	0,04	0,06	0,11
262	0,01	0,03	0,05	0,09
263	0,01	0,03	0,04	0,07

264	0,01	0,02	0,04	0,06
265	0,01	0,02	0,03	0,05
266	0,01	0,02	0,03	0,04
267	0,01	0,01	0,02	0,04
268	0,01	0,01	0,02	0,03
269	0,01	0,01	0,02	0,03
270	0,01	0,01	0,02	0,02
271	0,01	0,01	0,01	0,02
272	0,01	0,01	0,01	0,02
273	0,01	0,01	0,01	0,01
274	0,01	0,01	0,01	0,01
275	0,01	0,01	0,01	0,01
276	0,01	0,01	0,01	0,01
277	0,01	0,01	0,01	0,01
278	0,01	0,01	0,01	0,01
279	0,01	0,01	0,01	0,01
280	0,00	0,01	0,01	0,01
281	0,01	0,01	0,01	0,01
282	0,01	0,01	0,01	0,01
283	0,00	0,01	0,01	0,01
284	0,00	0,01	0,01	0,01
285	0,00	0,01	0,01	0,01
286	0,00	0,01	0,01	0,01
287	0,00	0,01	0,01	0,01
288	0,00	0,01	0,01	0,01
289	0,00	0,01	0,01	0,01
290	0,00	0,01	0,01	0,01
291	0,00	0,01	0,01	0,01
292	0,00	0,01	0,01	0,00
293	0,00	0,01	0,01	0,01
294	0,00	0,01	0,01	0,01
295	0,00	0,01	0,01	0,01
296	0,00	0,01	0,01	0,01
297	0,00	0,01	0,01	0,01
298	0,00	0,01	0,01	0,01
299	0,00	0,01	0,01	0,01
300	0,00	0,00	0,01	0,01

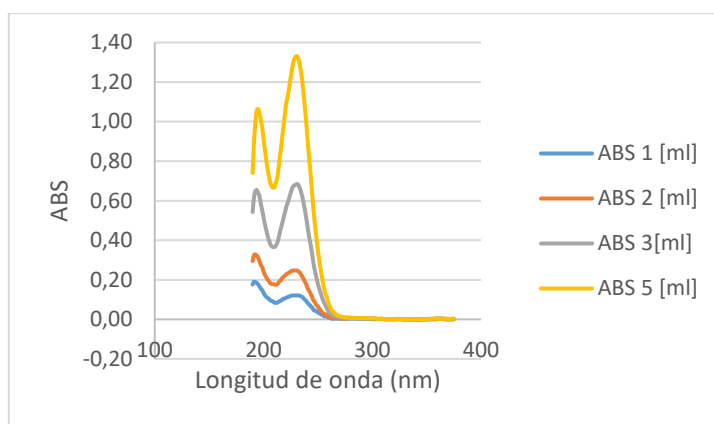


Figura 97: Espectrometría NaSH-Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 86: Absorbancia muestra NaSH- Tiofos.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3 [ml]	ABS 5 [ml]
190	0,18	0,30	0,54	0,74
191	0,19	0,32	0,61	0,87
192	0,19	0,33	0,64	0,96
193	0,19	0,33	0,65	1,03
194	0,18	0,32	0,65	1,06
195	0,18	0,31	0,64	1,06
196	0,17	0,30	0,63	1,05
197	0,16	0,28	0,60	1,03
198	0,15	0,27	0,57	0,99
199	0,15	0,26	0,55	0,96
200	0,13	0,24	0,52	0,92
201	0,13	0,23	0,49	0,87
202	0,12	0,22	0,46	0,83
203	0,11	0,21	0,44	0,79
204	0,11	0,20	0,42	0,75
205	0,10	0,19	0,40	0,72
206	0,10	0,18	0,38	0,70
207	0,09	0,18	0,37	0,68
208	0,09	0,18	0,37	0,67
209	0,09	0,18	0,37	0,67
210	0,08	0,18	0,37	0,67
211	0,08	0,18	0,37	0,68
212	0,08	0,18	0,38	0,70
213	0,09	0,18	0,39	0,73
214	0,09	0,19	0,41	0,77
215	0,09	0,19	0,44	0,82
216	0,09	0,20	0,46	0,86
217	0,10	0,21	0,48	0,91
218	0,10	0,21	0,50	0,96
219	0,10	0,22	0,53	1,00



220	0,11	0,22	0,55	1,05
221	0,11	0,23	0,57	1,10
222	0,11	0,23	0,59	1,12
223	0,11	0,24	0,60	1,15
224	0,12	0,24	0,62	1,19
225	0,12	0,24	0,64	1,22
226	0,12	0,25	0,66	1,26
227	0,12	0,25	0,67	1,29
228	0,12	0,25	0,68	1,31
229	0,12	0,25	0,68	1,32
230	0,12	0,25	0,68	1,33
231	0,12	0,25	0,68	1,33
232	0,12	0,24	0,68	1,32
233	0,12	0,24	0,67	1,30
234	0,12	0,23	0,66	1,27
235	0,12	0,22	0,64	1,23
236	0,11	0,21	0,61	1,19
237	0,11	0,20	0,59	1,13
238	0,10	0,19	0,56	1,07
239	0,10	0,18	0,52	1,02
240	0,09	0,17	0,49	0,95
241	0,08	0,15	0,45	0,88
242	0,08	0,14	0,42	0,81
243	0,07	0,13	0,39	0,75
244	0,06	0,12	0,36	0,69
245	0,06	0,11	0,32	0,62
246	0,05	0,10	0,28	0,55
247	0,05	0,09	0,25	0,49
248	0,04	0,08	0,23	0,45
249	0,04	0,07	0,20	0,40
250	0,04	0,07	0,18	0,35
251	0,03	0,06	0,16	0,31
252	0,03	0,05	0,14	0,27
253	0,03	0,04	0,13	0,24
254	0,02	0,04	0,11	0,21
255	0,02	0,03	0,09	0,18
256	0,02	0,03	0,08	0,15
257	0,02	0,03	0,07	0,13
258	0,02	0,02	0,06	0,12
259	0,01	0,02	0,05	0,10
260	0,01	0,02	0,04	0,08
261	0,01	0,01	0,04	0,07
262	0,01	0,01	0,03	0,06
263	0,00	0,01	0,02	0,04
264	0,00	0,01	0,02	0,04
265	0,00	0,01	0,02	0,03
266	0,00	0,01	0,02	0,03

267	0,00	0,01	0,01	0,02
268	0,00	0,01	0,01	0,02
269	0,00	0,01	0,01	0,02
270	0,00	0,01	0,01	0,02
271	0,00	0,01	0,01	0,02
272	0,00	0,00	0,01	0,01
273	0,00	0,00	0,01	0,01
274	0,00	0,00	0,01	0,01
275	0,00	0,01	0,01	0,01
276	0,00	0,01	0,01	0,01
277	0,00	0,01	0,01	0,01
278	0,00	0,01	0,01	0,01
279	0,00	0,01	0,01	0,01
280	0,00	0,01	0,01	0,01
281	0,00	0,01	0,01	0,01
282	0,00	0,01	0,01	0,01
283	0,00	0,01	0,01	0,01
284	0,00	0,01	0,01	0,01
285	0,00	0,01	0,01	0,01
286	0,00	0,01	0,01	0,01
287	0,00	0,01	0,01	0,01
288	0,00	0,01	0,01	0,01
289	0,00	0,01	0,01	0,01
290	0,00	0,01	0,01	0,01
291	0,00	0,01	0,01	0,01
292	0,00	0,01	0,00	0,01
293	0,00	0,01	0,00	0,01
294	0,00	0,01	0,00	0,01
295	0,00	0,01	0,00	0,01
296	0,00	0,00	0,00	0,01
297	0,00	0,01	0,00	0,01
298	0,00	0,00	0,00	0,01
299	0,00	0,00	0,00	0,01
300	0,00	0,00	0,00	0,01

**Tabla 87: Concentraciones muestra NaSH-Tiofos.**

Concentración NaSH- Tiofos (g/L)				
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml
Nash	0,006	0,013	0,019	0,031
Tiofos	0,012	0,024	0,036	0,058

**Tabla 88: Concentraciones muestra Tiofos- NaSH.**

Concentración Tiofos-NaSH (g/L)				
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml
Nash	0,013	0,025	0,038	0,061

Tiofos	0,006	0,012	0,018	0,029
--------	-------	-------	-------	-------

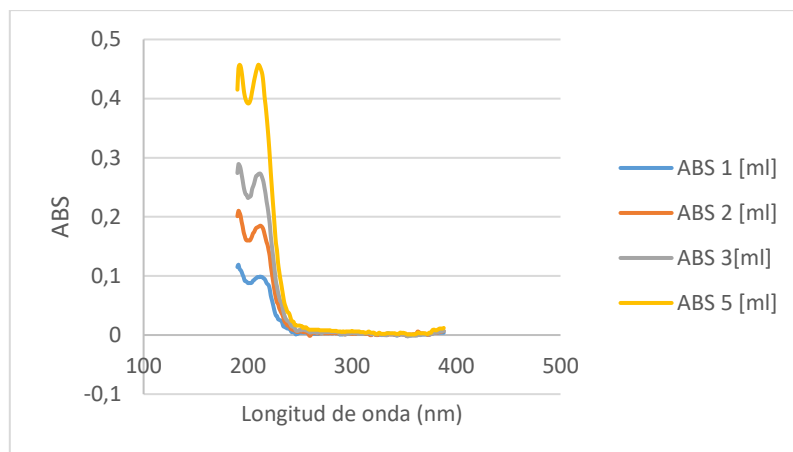


Figura 98: Espectrometría Tiofos- ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 89: Absorbancia muestra Tiofos- ácido sulfúrico.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,115	0,201	0,274	0,415
191	0,119	0,21	0,289	0,451
192	0,112	0,207	0,287	0,457
193	0,11	0,202	0,282	0,455
194	0,107	0,192	0,272	0,446
195	0,102	0,184	0,262	0,432
196	0,098	0,174	0,251	0,416
197	0,092	0,168	0,243	0,405
198	0,091	0,162	0,238	0,398
199	0,09	0,16	0,237	0,394
200	0,088	0,16	0,232	0,392
201	0,088	0,16	0,233	0,392
202	0,088	0,16	0,234	0,395
203	0,088	0,163	0,236	0,401
204	0,089	0,167	0,246	0,411
205	0,092	0,172	0,251	0,42
206	0,093	0,174	0,256	0,43
207	0,095	0,178	0,263	0,438
208	0,096	0,181	0,269	0,446
209	0,098	0,182	0,27	0,452
210	0,098	0,183	0,272	0,457
211	0,098	0,184	0,273	0,456
212	0,099	0,185	0,273	0,452
213	0,098	0,184	0,27	0,447
214	0,098	0,182	0,265	0,44

215	0,096	0,178	0,259	0,425
216	0,095	0,171	0,249	0,404
217	0,092	0,164	0,239	0,389
218	0,088	0,157	0,226	0,371
219	0,086	0,152	0,216	0,351
220	0,084	0,143	0,203	0,329
221	0,078	0,134	0,189	0,304
222	0,067	0,118	0,168	0,276
223	0,06	0,106	0,152	0,251
224	0,053	0,094	0,137	0,226
225	0,045	0,082	0,121	0,202
226	0,038	0,071	0,105	0,177
227	0,033	0,062	0,09	0,155
228	0,032	0,055	0,082	0,143
229	0,027	0,053	0,072	0,122
230	0,026	0,046	0,065	0,109
231	0,025	0,042	0,058	0,097
232	0,024	0,038	0,055	0,087
233	0,021	0,035	0,049	0,076
234	0,015	0,03	0,041	0,065
235	0,014	0,024	0,034	0,055
236	0,013	0,021	0,029	0,049
237	0,012	0,019	0,026	0,044
238	0,011	0,016	0,024	0,039
239	0,011	0,016	0,023	0,038
240	0,01	0,015	0,021	0,035
241	0,008	0,011	0,018	0,029
242	0,005	0,01	0,015	0,024
243	0,005	0,009	0,014	0,023
244	0,005	0,009	0,014	0,022
245	0,004	0,009	0,012	0,017
246	0,001	0,006	0,008	0,017
247	0,002	0,006	0,007	0,016
248	0,002	0,005	0,007	0,016
249	0,004	0,006	0,008	0,016
250	0,005	0,006	0,009	0,016
251	0,004	0,006	0,008	0,015
252	0,004	0,006	0,009	0,015
253	0,004	0,005	0,009	0,012
254	0,004	0,005	0,009	0,013
255	0,004	0,005	0,008	0,013
256	0,004	0,005	0,008	0,013
257	0,003	0,004	0,007	0,011

258	0,002	0,003	0,006	0,01
259	0,002	-0,001	0,005	0,009
260	0,001	-0,001	0,004	0,009
261	0,002	0,002	0,005	0,009
262	0,002	0,004	0,005	0,009
263	0,002	0,004	0,005	0,009
264	0,002	0,004	0,005	0,009
265	0,002	0,003	0,005	0,009
266	0,002	0,003	0,004	0,009
267	0,002	0,003	0,004	0,009
268	0,002	0,003	0,005	0,009
269	0,003	0,003	0,005	0,008
270	0,003	0,003	0,004	0,008
271	0,003	0,003	0,003	0,008
272	0,004	0,003	0,005	0,008
273	0,003	0,003	0,005	0,008
274	0,003	0,003	0,005	0,008
275	0,003	0,003	0,005	0,008
276	0,003	0,003	0,005	0,008
277	0,003	0,003	0,005	0,008
278	0,003	0,003	0,005	0,008
279	0,003	0,005	0,006	0,008
280	0,003	0,003	0,005	0,007
281	0,003	0,003	0,005	0,007
282	0,003	0,003	0,005	0,007
283	0,004	0,004	0,005	0,007
284	0,003	0,003	0,005	0,007
285	0,003	0,003	0,005	0,007
286	0,003	0,003	0,005	0,006
287	0,003	0,003	0,005	0,006
288	0,001	0,003	0,002	0,006
289	0,001	0,003	0,002	0,006
290	0,001	0,002	0,002	0,005
291	0,001	0,002	0,002	0,006
292	0,002	0,002	0,002	0,006
293	0,002	0,001	0,001	0,005
294	0,002	0,002	0,001	0,006
295	0,002	0,002	0,002	0,006
296	0,002	0,002	0,002	0,006
297	0,002	0,002	0,002	0,006
298	0,003	0,002	0,003	0,006
299	0,004	0,002	0,003	0,006
300	0,004	0,002	0,004	0,007

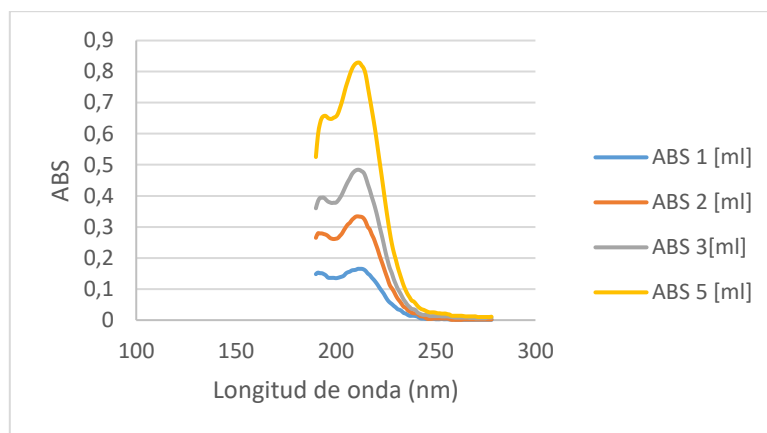


Figura 99: Espectrometría ácido sulfúrico- Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 90: Absorbancia muestra ácido sulfúrico-Tiofos.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3 [ml]	ABS 5 [ml]
190	0,148	0,265	0,36	0,525
191	0,153	0,279	0,382	0,594
192	0,151	0,279	0,393	0,631
193	0,151	0,279	0,394	0,651
194	0,148	0,277	0,394	0,657
195	0,144	0,275	0,388	0,657
196	0,137	0,271	0,382	0,651
197	0,136	0,265	0,379	0,648
198	0,136	0,262	0,377	0,648
199	0,136	0,261	0,378	0,652
200	0,135	0,262	0,378	0,655
201	0,136	0,264	0,384	0,664
202	0,138	0,271	0,393	0,682
203	0,14	0,278	0,404	0,702
204	0,143	0,289	0,418	0,726
205	0,15	0,299	0,432	0,75
206	0,154	0,308	0,445	0,77
207	0,156	0,313	0,456	0,79
208	0,16	0,322	0,469	0,807
209	0,161	0,328	0,477	0,819
210	0,162	0,333	0,482	0,826
211	0,165	0,334	0,484	0,829
212	0,165	0,333	0,483	0,828
213	0,165	0,332	0,479	0,819
214	0,163	0,327	0,474	0,81
215	0,158	0,316	0,459	0,789
216	0,15	0,3	0,438	0,752
217	0,145	0,292	0,419	0,715

218	0,137	0,276	0,397	0,678
219	0,13	0,263	0,377	0,64
220	0,122	0,245	0,354	0,599
221	0,113	0,227	0,328	0,553
222	0,103	0,206	0,299	0,507
223	0,094	0,188	0,273	0,462
224	0,085	0,169	0,245	0,415
225	0,074	0,15	0,216	0,369
226	0,064	0,132	0,191	0,325
227	0,057	0,113	0,168	0,284
228	0,052	0,103	0,152	0,248
229	0,046	0,093	0,132	0,219
230	0,041	0,08	0,116	0,196
231	0,035	0,069	0,101	0,171
232	0,033	0,061	0,09	0,15
233	0,029	0,052	0,078	0,13
234	0,023	0,043	0,066	0,111
235	0,021	0,04	0,057	0,096
236	0,017	0,032	0,048	0,083
237	0,014	0,028	0,042	0,073
238	0,014	0,024	0,036	0,063
239	0,014	0,022	0,035	0,06
240	0,013	0,022	0,032	0,053
241	0,011	0,02	0,024	0,045
242	0,007	0,014	0,021	0,039
243	0,005	0,012	0,018	0,035
244	0,005	0,012	0,017	0,033
245	0,004	0,007	0,017	0,03
246	0,004	0,004	0,016	0,027
247	0,004	0,004	0,013	0,025
248	0,004	0,004	0,013	0,025
249	0,004	0,005	0,013	0,025
250	0,003	0,005	0,013	0,024
251	0,003	0,005	0,013	0,022
252	0,003	0,005	0,013	0,022
253	0,004	0,005	0,012	0,021
254	0,003	0,005	0,012	0,021
255	0,003	0,005	0,012	0,021
256	0,003	0,005	0,012	0,019
257	0,002	0,003	0,011	0,018
258	0,002	0,001	0,01	0,014
259	0,002	0,001	0,009	0,014
260	0,001	0,001	0,008	0,014

261	0,001	0,001	0,008	0,014
262	0,001	0,001	0,008	0,014
263	0,001	0,001	0,008	0,014
264	0,001	0,002	0,008	0,013
265	0,001	0,002	0,008	0,012
266	0,001	0,002	0,008	0,012
267	0,001	0,002	0,007	0,012
268	0,001	0,002	0,007	0,012
269	0,001	0,002	0,007	0,012
270	0,001	0,002	0,006	0,012
271	0,001	0,002	0,006	0,01
272	0,001	0,002	0,006	0,01
273	0,001	0,002	0,006	0,01
274	0,001	0,002	0,006	0,01
275	0,001	0,002	0,006	0,01
276	0,001	0,002	0,008	0,01
277	0,001	0,002	0,008	0,01
278	0,001	0,002	0,008	0,011

**Tabla 91: Concentraciones muestra Tiofos-Ácido sulfúrico.**

Concentración Tiofos-ácido sulfúrico (g/L)				
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml
Ácido Sulfúrico	0,036	0,072	0,107	0,180
Tiofos	0,012	0,024	0,036	0,058

**Tabla 92: Concentraciones muestra Ácido sulfúrico-Tiofos.**

Concentración ácido sulfúrico - Tiofos (g/L)				
	1 ml	2 ml	3 ml	5 ml
Ácido Sulfúrico	0,018	0,036	0,054	0,088
Tiofos	0,024	0,048	0,070	0,120



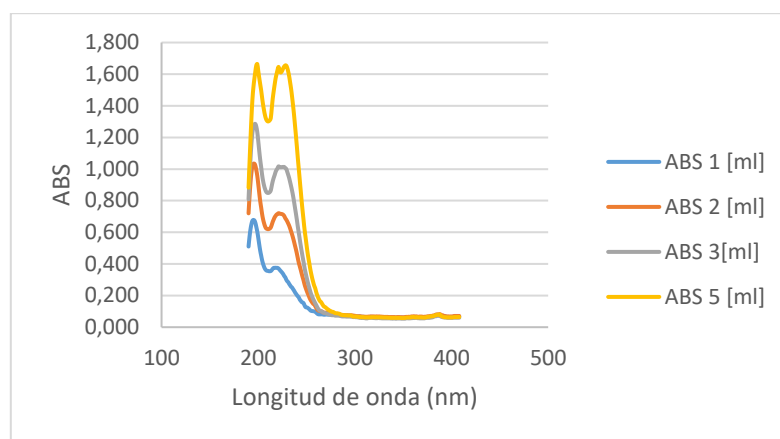


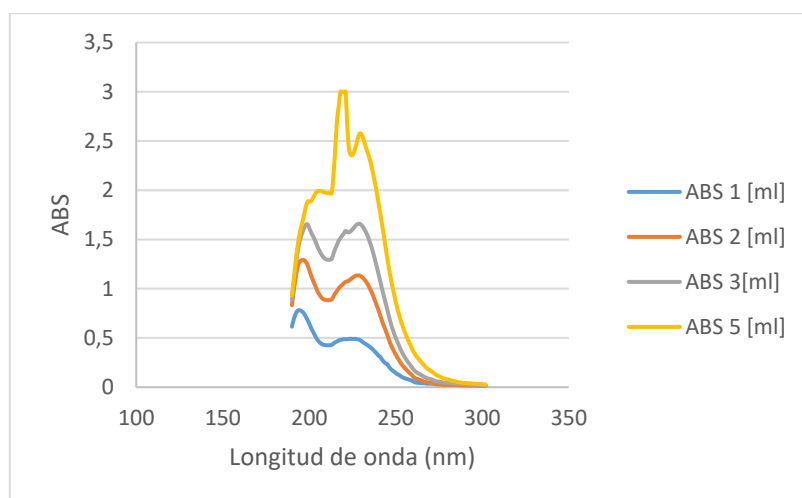
Figura 100: Espectrometría Tiofos- kerosene para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 93: Absorbancia muestra ácido Tiofos- Kerosene.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,510	0,720	0,809	0,882
191	0,572	0,827	0,946	1,040
192	0,619	0,913	1,064	1,188
193	0,652	0,978	1,162	1,326
194	0,673	1,018	1,230	1,439
195	0,678	1,033	1,266	1,516
196	0,675	1,034	1,283	1,569
197	0,661	1,022	1,285	1,616
198	0,635	0,994	1,269	1,655
199	0,605	0,958	1,234	1,664
200	0,567	0,907	1,179	1,622
201	0,525	0,852	1,118	1,579
202	0,486	0,800	1,062	1,539
203	0,454	0,758	1,014	1,499
204	0,424	0,716	0,964	1,452
205	0,401	0,683	0,926	1,408
206	0,383	0,659	0,897	1,372
207	0,369	0,639	0,875	1,340
208	0,361	0,626	0,859	1,318
209	0,357	0,622	0,851	1,306
210	0,356	0,620	0,849	1,301
211	0,354	0,621	0,850	1,303
212	0,354	0,624	0,855	1,309
213	0,355	0,631	0,865	1,322
214	0,361	0,647	0,894	1,382
215	0,369	0,666	0,922	1,444
216	0,375	0,681	0,944	1,492

217	0,375	0,695	0,962	1,534
218	0,376	0,704	0,982	1,573
219	0,375	0,712	0,995	1,601
220	0,375	0,716	1,005	1,627
221	0,371	0,721	1,017	1,646
222	0,364	0,719	1,013	1,626
223	0,357	0,717	1,012	1,611
224	0,350	0,716	1,012	1,614
225	0,343	0,714	1,013	1,625
226	0,334	0,710	1,013	1,639
227	0,323	0,702	1,013	1,649
228	0,315	0,689	1,006	1,655
229	0,301	0,680	1,001	1,654
230	0,291	0,669	0,983	1,640
231	0,285	0,656	0,964	1,617
232	0,274	0,642	0,943	1,587
233	0,265	0,625	0,918	1,548
234	0,256	0,606	0,892	1,508
235	0,251	0,587	0,864	1,459
236	0,241	0,565	0,832	1,404
237	0,232	0,542	0,796	1,346
238	0,221	0,517	0,757	1,280
239	0,212	0,493	0,719	1,213
240	0,203	0,465	0,678	1,141
241	0,195	0,435	0,634	1,066
242	0,188	0,407	0,596	0,999
243	0,175	0,385	0,555	0,930
244	0,167	0,362	0,515	0,861
245	0,159	0,338	0,478	0,793
246	0,156	0,315	0,443	0,731
247	0,151	0,294	0,409	0,673
248	0,137	0,269	0,373	0,614
249	0,127	0,250	0,344	0,567
250	0,125	0,233	0,317	0,520
251	0,123	0,217	0,291	0,474
252	0,118	0,203	0,267	0,435
253	0,113	0,187	0,245	0,399
254	0,106	0,174	0,223	0,363
255	0,103	0,164	0,205	0,333
256	0,102	0,155	0,190	0,306
257	0,101	0,147	0,176	0,282
258	0,100	0,144	0,164	0,261
259	0,097	0,133	0,151	0,246

260	0,092	0,122	0,140	0,222
261	0,086	0,113	0,127	0,203
262	0,082	0,106	0,117	0,187
263	0,081	0,104	0,108	0,174
264	0,081	0,102	0,105	0,164
265	0,081	0,101	0,102	0,159
266	0,082	0,099	0,098	0,149
267	0,080	0,095	0,094	0,139
268	0,079	0,092	0,090	0,131
269	0,079	0,092	0,090	0,128
270	0,080	0,092	0,088	0,123
271	0,080	0,091	0,085	0,118
272	0,079	0,091	0,085	0,113
273	0,079	0,088	0,082	0,109
274	0,079	0,087	0,079	0,104
275	0,079	0,086	0,078	0,102
276	0,077	0,084	0,076	0,098
277	0,077	0,084	0,076	0,097
278	0,078	0,084	0,076	0,095
279	0,078	0,084	0,074	0,091
280	0,077	0,083	0,073	0,089
281	0,078	0,083	0,073	0,088
282	0,078	0,083	0,073	0,088
283	0,078	0,083	0,073	0,086
284	0,076	0,080	0,072	0,085
285	0,075	0,079	0,071	0,081
286	0,073	0,078	0,069	0,078
287	0,073	0,078	0,068	0,077
288	0,073	0,077	0,068	0,076
289	0,073	0,077	0,068	0,076
290	0,073	0,076	0,068	0,075
291	0,073	0,074	0,067	0,075
292	0,073	0,076	0,067	0,075
293	0,073	0,075	0,067	0,074
294	0,073	0,075	0,067	0,074
295	0,073	0,075	0,067	0,074
296	0,073	0,075	0,066	0,074
297	0,071	0,075	0,066	0,071
298	0,070	0,074	0,064	0,067
299	0,069	0,073	0,064	0,067
300	0,069	0,072	0,064	0,067



**Figura 101: Espectrometría kerosene- Tiofos, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

**Tabla 94: Absorbancia muestra Kerosene-Tiofos.**

<i>Wavelength</i> [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3 [ml]	ABS 5 [ml]
190	0,62	0,83	0,89	0,93
191	0,69	0,97	1,05	1,09
192	0,74	1,10	1,20	1,25
193	0,77	1,20	1,34	1,40
194	0,78	1,26	1,45	1,52
195	0,78	1,28	1,51	1,60
196	0,77	1,29	1,57	1,68
197	0,75	1,29	1,61	1,75
198	0,72	1,27	1,65	1,83
199	0,68	1,24	1,65	1,89
200	0,65	1,19	1,62	1,89
201	0,61	1,14	1,57	1,89
202	0,57	1,09	1,54	1,92
203	0,54	1,05	1,51	1,95
204	0,50	1,01	1,46	1,98
205	0,48	0,97	1,42	1,99
206	0,46	0,94	1,38	1,99
207	0,44	0,91	1,35	1,99
208	0,43	0,89	1,32	1,98
209	0,43	0,89	1,31	1,98
210	0,43	0,88	1,30	1,97
211	0,43	0,88	1,30	1,97
212	0,43	0,89	1,30	1,97
213	0,43	0,89	1,30	1,97
214	0,44	0,92	1,35	2,16
215	0,46	0,95	1,41	2,42

216	0,46	0,98	1,45	2,70
217	0,47	1,00	1,49	2,85
218	0,48	1,02	1,51	3,00
219	0,48	1,04	1,54	3,00
220	0,49	1,06	1,56	3,00
221	0,49	1,07	1,59	3,00
222	0,49	1,07	1,58	2,64
223	0,49	1,08	1,57	2,41
224	0,49	1,10	1,59	2,36
225	0,49	1,11	1,60	2,36
226	0,49	1,12	1,62	2,39
227	0,49	1,13	1,65	2,45
228	0,49	1,13	1,66	2,52
229	0,48	1,13	1,66	2,57
230	0,47	1,12	1,65	2,57
231	0,46	1,11	1,63	2,53
232	0,45	1,09	1,60	2,48
233	0,43	1,07	1,57	2,42
234	0,42	1,04	1,53	2,37
235	0,41	1,00	1,47	2,31
236	0,40	0,97	1,42	2,24
237	0,38	0,92	1,36	2,16
238	0,36	0,88	1,29	2,07
239	0,34	0,83	1,22	1,98
240	0,32	0,78	1,15	1,87
241	0,31	0,73	1,08	1,77
242	0,28	0,68	1,00	1,66
243	0,26	0,63	0,94	1,55
244	0,24	0,58	0,86	1,43
245	0,23	0,54	0,80	1,32
246	0,21	0,49	0,72	1,21
247	0,19	0,44	0,66	1,11
248	0,17	0,40	0,60	1,03
249	0,16	0,36	0,55	0,95
250	0,14	0,33	0,50	0,87
251	0,13	0,30	0,46	0,79
252	0,12	0,27	0,42	0,73
253	0,11	0,24	0,38	0,67
254	0,10	0,22	0,34	0,62
255	0,09	0,20	0,31	0,57
256	0,09	0,18	0,28	0,52
257	0,08	0,16	0,26	0,48
258	0,07	0,14	0,23	0,44

259	0,07	0,13	0,21	0,41
260	0,06	0,11	0,19	0,37
261	0,05	0,09	0,17	0,34
262	0,05	0,09	0,15	0,31
263	0,04	0,08	0,14	0,29
264	0,04	0,07	0,13	0,27
265	0,04	0,07	0,12	0,25
266	0,04	0,06	0,11	0,23
267	0,04	0,05	0,10	0,21
268	0,04	0,05	0,09	0,19
269	0,04	0,05	0,09	0,18
270	0,04	0,05	0,08	0,17
271	0,04	0,04	0,08	0,16
272	0,03	0,04	0,07	0,14
273	0,03	0,03	0,06	0,13
274	0,03	0,03	0,06	0,12
275	0,03	0,03	0,06	0,11
276	0,03	0,03	0,06	0,10
277	0,03	0,03	0,05	0,09
278	0,03	0,03	0,05	0,09
279	0,03	0,03	0,05	0,08
280	0,03	0,03	0,05	0,08
281	0,03	0,02	0,05	0,08
282	0,03	0,02	0,04	0,07
283	0,03	0,02	0,04	0,06
284	0,03	0,02	0,04	0,06
285	0,03	0,02	0,03	0,06
286	0,03	0,02	0,03	0,05
287	0,03	0,02	0,03	0,05
288	0,03	0,02	0,03	0,05
289	0,03	0,02	0,03	0,04
290	0,03	0,02	0,03	0,04
291	0,03	0,02	0,03	0,04
292	0,03	0,02	0,03	0,04
293	0,03	0,02	0,03	0,04
294	0,03	0,02	0,03	0,04
295	0,03	0,02	0,03	0,04
296	0,03	0,02	0,03	0,03
297	0,03	0,02	0,03	0,03
298	0,03	0,02	0,02	0,03
299	0,03	0,01	0,02	0,03
300	0,03	0,01	0,02	0,03
301	0,02	0,01	0,02	0,03

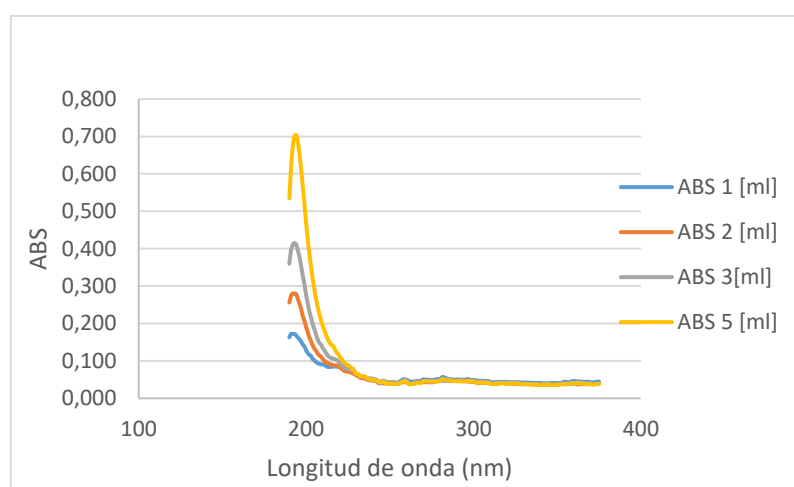
302	0,02	0,01	0,02	0,03
-----	------	------	------	------

**Tabla 95: Concentraciones mezcla Tiofos-Kerosene.**

Concentración (g/L)				
Kerosene	0,036	0,07	0,11	0,17
Tiofos	0,024	0,048	0,07	0,12

**Tabla 96: Concentraciones muestra Kerosene- Tiofos.**

Concentración (g/L)				
Kerosene	0,036	0,07	0,11	0,17
Tiofos	0,024	0,048	0,07	0,12



**Figura 102: Espectrometría NaSH- ácido sulfúrico. para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

**Tabla 97: Absorbancia muestra NaSH-ácido sulfúrico.**

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,163	0,256	0,360	0,535
191	0,172	0,274	0,395	0,615
192	0,172	0,280	0,410	0,670
193	0,172	0,280	0,415	0,700
194	0,169	0,279	0,412	0,704
195	0,163	0,267	0,397	0,686
196	0,158	0,254	0,379	0,656
197	0,152	0,239	0,356	0,615
198	0,144	0,221	0,328	0,567
199	0,139	0,207	0,305	0,521
200	0,129	0,191	0,277	0,471
201	0,121	0,177	0,254	0,425
202	0,116	0,163	0,232	0,385

203	0,113	0,152	0,215	0,351
204	0,105	0,141	0,198	0,318
205	0,101	0,133	0,184	0,290
206	0,097	0,127	0,170	0,265
207	0,094	0,119	0,157	0,243
208	0,092	0,115	0,148	0,224
209	0,091	0,111	0,143	0,208
210	0,091	0,105	0,134	0,193
211	0,089	0,100	0,128	0,181
212	0,086	0,097	0,121	0,169
213	0,084	0,094	0,114	0,158
214	0,084	0,091	0,110	0,149
215	0,084	0,091	0,108	0,143
216	0,085	0,089	0,106	0,141
217	0,085	0,088	0,105	0,133
218	0,085	0,088	0,103	0,124
219	0,084	0,086	0,100	0,120
220	0,083	0,084	0,095	0,112
221	0,081	0,080	0,091	0,107
222	0,079	0,076	0,086	0,100
223	0,078	0,073	0,082	0,095
224	0,077	0,072	0,079	0,090
225	0,076	0,071	0,078	0,088
226	0,075	0,070	0,078	0,087
227	0,075	0,069	0,074	0,080
228	0,072	0,066	0,074	0,079
229	0,071	0,065	0,071	0,072
230	0,065	0,061	0,065	0,066
231	0,063	0,059	0,063	0,065
232	0,060	0,056	0,059	0,060
233	0,058	0,054	0,059	0,059
234	0,057	0,054	0,057	0,059
235	0,057	0,053	0,057	0,059
236	0,054	0,050	0,053	0,055
237	0,053	0,050	0,052	0,053
238	0,053	0,048	0,051	0,050
239	0,053	0,048	0,051	0,050
240	0,052	0,047	0,051	0,050
241	0,050	0,047	0,050	0,049
242	0,049	0,046	0,050	0,047
243	0,046	0,041	0,043	0,046
244	0,045	0,040	0,042	0,043
245	0,045	0,040	0,041	0,043



246	0,046	0,040	0,047	0,044
247	0,046	0,041	0,044	0,043
248	0,043	0,039	0,044	0,039
249	0,043	0,039	0,043	0,039
250	0,043	0,039	0,043	0,039
251	0,043	0,039	0,043	0,039
252	0,043	0,039	0,043	0,039
253	0,043	0,039	0,042	0,039
254	0,042	0,038	0,040	0,039
255	0,042	0,039	0,040	0,039
256	0,045	0,040	0,042	0,041
257	0,048	0,042	0,044	0,042
258	0,051	0,044	0,047	0,045
259	0,050	0,044	0,049	0,045
260	0,050	0,044	0,047	0,045
261	0,047	0,041	0,040	0,039
262	0,045	0,039	0,040	0,037
263	0,044	0,039	0,039	0,038
264	0,045	0,039	0,039	0,039
265	0,045	0,040	0,041	0,040
266	0,046	0,043	0,043	0,041
267	0,046	0,042	0,043	0,041
268	0,046	0,042	0,043	0,041
269	0,048	0,043	0,044	0,041
270	0,051	0,044	0,046	0,045
271	0,050	0,044	0,046	0,046
272	0,050	0,043	0,045	0,046
273	0,049	0,043	0,045	0,045
274	0,049	0,043	0,045	0,045
275	0,049	0,043	0,046	0,045
276	0,049	0,043	0,046	0,045
277	0,050	0,045	0,046	0,045
278	0,051	0,045	0,046	0,045
279	0,051	0,047	0,046	0,046
280	0,051	0,048	0,047	0,046
281	0,056	0,049	0,047	0,051
282	0,057	0,049	0,047	0,051
283	0,055	0,048	0,047	0,050
284	0,053	0,048	0,047	0,049
285	0,051	0,048	0,047	0,049
286	0,051	0,047	0,047	0,047
287	0,050	0,047	0,046	0,047
288	0,050	0,047	0,047	0,046

289	0,050	0,047	0,047	0,046
290	0,050	0,046	0,047	0,046
291	0,050	0,046	0,047	0,046
292	0,050	0,047	0,047	0,046
293	0,049	0,046	0,047	0,045
294	0,050	0,047	0,047	0,045
295	0,050	0,047	0,046	0,045
296	0,051	0,048	0,046	0,046
297	0,051	0,045	0,046	0,046
298	0,049	0,044	0,046	0,045
299	0,049	0,044	0,046	0,046
300	0,049	0,044	0,045	0,045

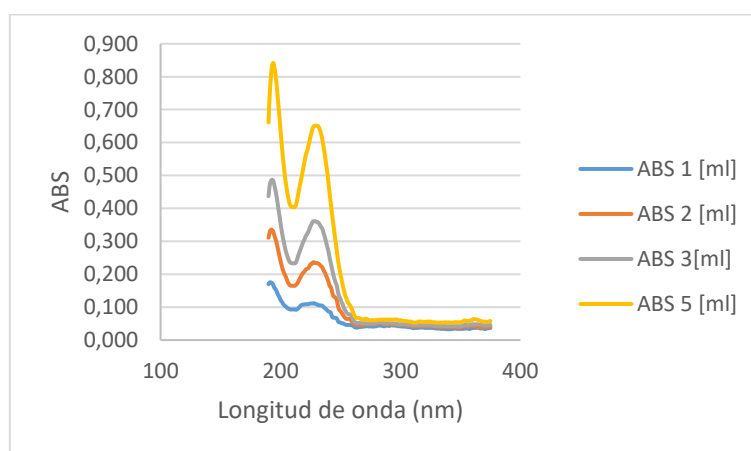


Figura 103: Espectrometría muestra sulfúrico- NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 98: Absorbancia muestra ácido sulfúrico- NaSH.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,170	0,311	0,437	0,661
191	0,175	0,327	0,470	0,745
192	0,175	0,335	0,483	0,801
193	0,173	0,334	0,487	0,833
194	0,167	0,329	0,483	0,842
195	0,158	0,316	0,468	0,826
196	0,154	0,305	0,451	0,802
197	0,146	0,291	0,430	0,767
198	0,137	0,274	0,405	0,724
199	0,131	0,257	0,381	0,684
200	0,122	0,241	0,356	0,639
201	0,117	0,226	0,332	0,595
202	0,111	0,213	0,311	0,556
203	0,106	0,203	0,294	0,521

204	0,103	0,196	0,276	0,489
205	0,100	0,186	0,263	0,463
206	0,096	0,177	0,252	0,441
207	0,095	0,170	0,242	0,423
208	0,093	0,166	0,236	0,410
209	0,093	0,165	0,234	0,405
210	0,093	0,165	0,233	0,404
211	0,093	0,165	0,233	0,404
212	0,093	0,165	0,233	0,404
213	0,092	0,168	0,237	0,411
214	0,094	0,172	0,247	0,428
215	0,097	0,179	0,259	0,448
216	0,101	0,186	0,269	0,467
217	0,105	0,193	0,279	0,485
218	0,107	0,200	0,289	0,503
219	0,108	0,205	0,299	0,522
220	0,108	0,208	0,305	0,541
221	0,109	0,214	0,315	0,561
222	0,109	0,216	0,321	0,572
223	0,109	0,218	0,328	0,585
224	0,110	0,223	0,336	0,601
225	0,111	0,230	0,346	0,618
226	0,111	0,231	0,353	0,632
227	0,111	0,236	0,360	0,645
228	0,112	0,236	0,361	0,650
229	0,110	0,234	0,361	0,651
230	0,109	0,234	0,359	0,651
231	0,107	0,233	0,358	0,651
232	0,106	0,231	0,355	0,646
233	0,105	0,228	0,349	0,637
234	0,105	0,224	0,343	0,624
235	0,104	0,220	0,337	0,606
236	0,100	0,211	0,324	0,586
237	0,097	0,205	0,313	0,562
238	0,094	0,196	0,298	0,535
239	0,090	0,187	0,283	0,509
240	0,087	0,177	0,269	0,478
241	0,086	0,164	0,249	0,443
242	0,082	0,161	0,233	0,413
243	0,071	0,146	0,216	0,382
244	0,068	0,134	0,199	0,353
245	0,068	0,131	0,185	0,325
246	0,067	0,128	0,174	0,297

247	0,065	0,121	0,164	0,269
248	0,057	0,102	0,144	0,241
249	0,054	0,092	0,132	0,220
250	0,053	0,088	0,125	0,200
251	0,051	0,083	0,114	0,182
252	0,051	0,077	0,107	0,165
253	0,049	0,071	0,096	0,149
254	0,047	0,067	0,090	0,135
255	0,046	0,064	0,083	0,126
256	0,046	0,065	0,080	0,116
257	0,046	0,064	0,078	0,110
258	0,046	0,064	0,078	0,105
259	0,045	0,060	0,075	0,099
260	0,044	0,053	0,068	0,089
261	0,042	0,050	0,059	0,079
262	0,039	0,047	0,054	0,072
263	0,038	0,046	0,053	0,068
264	0,038	0,046	0,052	0,067
265	0,039	0,046	0,052	0,067
266	0,040	0,047	0,052	0,066
267	0,040	0,046	0,051	0,064
268	0,040	0,045	0,051	0,063
269	0,041	0,045	0,051	0,062
270	0,041	0,047	0,051	0,062
271	0,042	0,048	0,051	0,065
272	0,042	0,048	0,050	0,063
273	0,042	0,048	0,050	0,062
274	0,041	0,048	0,050	0,060
275	0,042	0,048	0,050	0,060
276	0,041	0,048	0,050	0,060
277	0,041	0,048	0,050	0,060
278	0,041	0,048	0,050	0,060
279	0,042	0,048	0,050	0,060
280	0,042	0,049	0,051	0,061
281	0,044	0,051	0,054	0,061
282	0,044	0,051	0,054	0,062
283	0,044	0,051	0,054	0,062
284	0,044	0,051	0,054	0,062
285	0,043	0,050	0,053	0,062
286	0,042	0,049	0,051	0,062
287	0,042	0,048	0,051	0,062
288	0,044	0,048	0,051	0,062
289	0,044	0,048	0,051	0,062

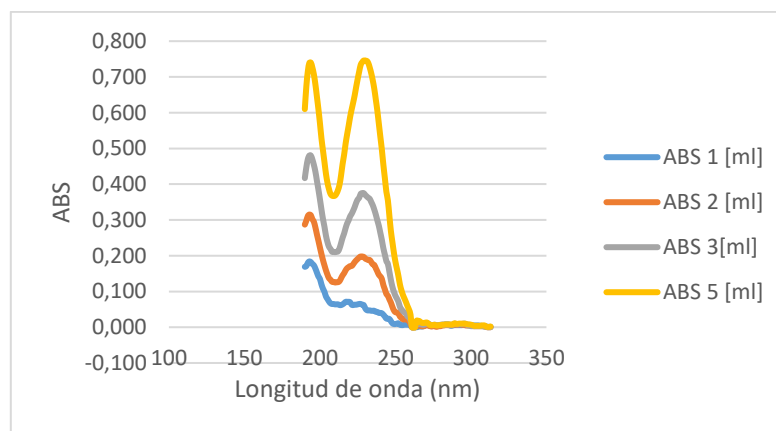
290	0,043	0,048	0,051	0,062
291	0,043	0,048	0,051	0,062
292	0,045	0,048	0,051	0,062
293	0,045	0,047	0,051	0,062
294	0,044	0,048	0,051	0,062
295	0,044	0,047	0,050	0,062
296	0,044	0,047	0,050	0,063
297	0,043	0,047	0,050	0,062
298	0,042	0,046	0,047	0,061
299	0,042	0,046	0,047	0,060
300	0,042	0,046	0,048	0,060

**Tabla 99: Concentraciones muestra NaSH-ácido sulfúrico.**

Concentración (g/L)				
NaSH	0,013	0,025	0,038	0,061
Ácido sulfúrico	0,036	0,072	0,120	0,180

**Tabla 100: Concentraciones muestra ácido sulfúrico- NaSH.**

Concentración (g/L)				
NaSH	0,013	0,025	0,038	0,061
Ácido sulfúrico	0,009	0,018	0,027	0,044



**Figura 104: Espectrometría NaSH- kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.**

**Tabla 101: Absorbancia muestra NaSH- Kerosene.**

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3 [ml]	ABS 5 [ml]
190	0,169	0,287	0,417	0,610
191	0,171	0,298	0,447	0,673
192	0,180	0,311	0,470	0,716
193	0,184	0,315	0,480	0,739

194	0,182	0,313	0,480	0,740
195	0,177	0,302	0,469	0,726
196	0,173	0,295	0,454	0,707
197	0,164	0,279	0,435	0,679
198	0,153	0,260	0,410	0,645
199	0,142	0,242	0,385	0,610
200	0,135	0,223	0,358	0,571
201	0,120	0,205	0,330	0,529
202	0,108	0,188	0,303	0,495
203	0,099	0,173	0,281	0,462
204	0,086	0,159	0,256	0,429
205	0,079	0,147	0,238	0,404
206	0,072	0,137	0,225	0,386
207	0,067	0,133	0,219	0,373
208	0,065	0,127	0,211	0,368
209	0,065	0,127	0,211	0,367
210	0,064	0,125	0,210	0,368
211	0,064	0,126	0,211	0,374
212	0,064	0,126	0,212	0,384
213	0,062	0,129	0,221	0,399
214	0,062	0,137	0,235	0,425
215	0,064	0,145	0,250	0,456
216	0,067	0,151	0,262	0,482
217	0,071	0,159	0,277	0,513
218	0,071	0,165	0,290	0,539
219	0,071	0,168	0,299	0,563
220	0,070	0,171	0,310	0,588
221	0,063	0,171	0,317	0,609
222	0,062	0,176	0,326	0,628
223	0,063	0,182	0,336	0,648
224	0,063	0,187	0,348	0,672
225	0,064	0,191	0,357	0,694
226	0,065	0,195	0,362	0,715
227	0,065	0,198	0,373	0,734
228	0,063	0,197	0,375	0,741
229	0,062	0,197	0,375	0,746
230	0,053	0,192	0,370	0,745
231	0,048	0,190	0,366	0,745
232	0,047	0,188	0,362	0,739
233	0,047	0,188	0,359	0,726
234	0,046	0,182	0,350	0,710
235	0,046	0,176	0,341	0,690
236	0,046	0,174	0,329	0,667

237	0,043	0,165	0,315	0,637
238	0,043	0,156	0,299	0,606
239	0,040	0,147	0,284	0,570
240	0,040	0,142	0,264	0,533
241	0,039	0,135	0,244	0,497
242	0,035	0,118	0,221	0,455
243	0,030	0,106	0,203	0,417
244	0,024	0,093	0,185	0,379
245	0,024	0,088	0,177	0,355
246	0,023	0,078	0,155	0,311
247	0,017	0,069	0,132	0,269
248	0,011	0,057	0,113	0,238
249	0,009	0,047	0,099	0,208
250	0,009	0,042	0,088	0,183
251	0,010	0,041	0,080	0,163
252	0,011	0,038	0,071	0,143
253	0,007	0,030	0,057	0,119
254	0,006	0,026	0,050	0,103
255	0,006	0,022	0,045	0,090
256	0,007	0,022	0,041	0,080
257	0,007	0,022	0,038	0,070
258	0,007	0,020	0,030	0,059
259	0,007	0,018	0,029	0,049
260	0,004	0,009	0,019	0,035
261	0,000	2 0,00	3 0,01	1 0,025
262	0,000	3 0,00	1 0,00	9 0,021
263	0,000	1 0,00	2 0,00	9 0,020
264	0,000	0,003	0,009	0,018
265	0,001	0,004	0,009	0,018
266	0,002	0,004	0,009	0,017
267	0,002	0,003	0,008	0,013
268	0,002	0,003	0,007	0,012
269	0,004	0,003	0,007	0,012
270	0,006	0,005	0,010	0,013
271	0,007	0,007	0,010	0,013
272	0,006	0,004	0,010	0,009
273	0,004	0,003	0,007	0,006
274	0,003	0,002	0,006	0,006
275	0,005	0,003	0,006	0,006
276	0,004	0,003	0,007	0,007
277	0,004	0,001	0,006	0,005
278	0,005	0,002	0,006	0,005
279	0,005	0,003	0,006	0,006

280	0,005	0,003	0,007	0,006
281	0,007	0,005	0,007	0,007
282	0,007	0,005	0,007	0,007
283	0,008	0,006	0,007	0,008
284	0,008	0,006	0,007	0,008
285	0,008	0,006	0,007	0,008
286	0,005	0,006	0,007	0,008
287	0,004	0,006	0,007	0,007
288	0,005	0,006	0,007	0,008
289	0,006	0,007	0,010	0,011
290	0,006	0,007	0,009	0,010
291	0,006	0,007	0,008	0,009
292	0,006	0,008	0,009	0,010
293	0,006	0,008	0,009	0,010
294	0,006	0,007	0,009	0,010
295	0,007	0,007	0,010	0,010
296	0,006	0,006	0,010	0,010
297	0,006	0,005	0,008	0,009
298	0,007	0,005	0,005	0,008
299	0,006	0,005	0,004	0,008
300	0,006	0,004	0,003	0,007

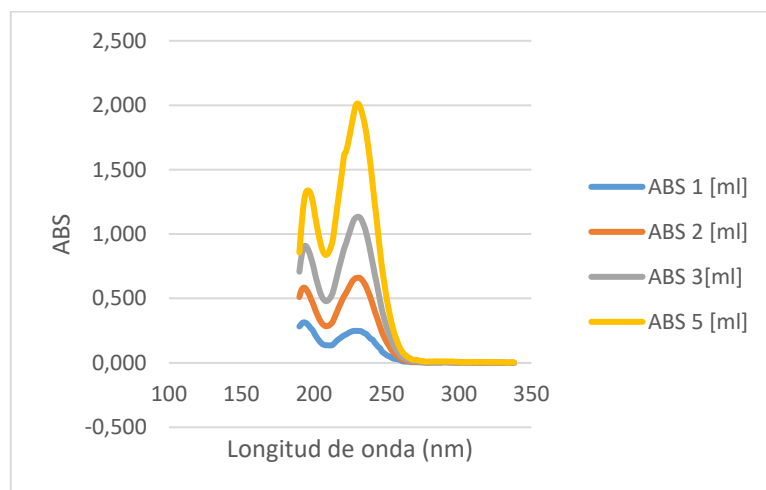


Figura 105: Espectrometría kerosene-NaSH, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 102: Absorbancia muestra Kerosene- NaSH.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3 [ml]	ABS 5 [ml]
190	0,283	0,511	0,708	0,857
191	0,296	0,553	0,796	1,004
192	0,310	0,575	0,857	1,131
193	0,314	0,584	0,897	1,238



194	0,313	0,581	0,909	1,305
195	0,306	0,566	0,901	1,334
196	0,295	0,547	0,880	1,338
197	0,282	0,523	0,851	1,331
198	0,267	0,496	0,815	1,303
199	0,256	0,470	0,776	1,262
200	0,236	0,441	0,731	1,200
201	0,215	0,410	0,680	1,129
202	0,198	0,383	0,637	1,068
203	0,182	0,358	0,597	1,010
204	0,167	0,334	0,558	0,955
205	0,155	0,316	0,527	0,908
206	0,145	0,301	0,504	0,873
207	0,141	0,292	0,489	0,850
208	0,137	0,285	0,480	0,838
209	0,137	0,285	0,480	0,841
210	0,136	0,288	0,487	0,854
211	0,136	0,295	0,501	0,879
212	0,136	0,305	0,519	0,911
213	0,141	0,320	0,544	0,953
214	0,151	0,345	0,585	1,031
215	0,163	0,372	0,631	1,116
216	0,174	0,397	0,676	1,200
217	0,183	0,426	0,724	1,285
218	0,191	0,451	0,766	1,367
219	0,199	0,476	0,809	1,451
220	0,208	0,500	0,852	1,535
221	0,214	0,521	0,892	1,620
222	0,220	0,539	0,922	1,636
223	0,226	0,560	0,957	1,675
224	0,233	0,583	0,993	1,728
225	0,239	0,603	1,028	1,784
226	0,243	0,623	1,063	1,845
227	0,248	0,641	1,094	1,906
228	0,248	0,651	1,116	1,960
229	0,249	0,659	1,127	2,002
230	0,248	0,660	1,133	2,013
231	0,248	0,661	1,133	2,006
232	0,247	0,657	1,125	1,984
233	0,244	0,646	1,106	1,948
234	0,236	0,632	1,081	1,906
235	0,230	0,613	1,051	1,854
236	0,225	0,593	1,012	1,792

237	0,213	0,565	0,967	1,714
238	0,201	0,537	0,917	1,630
239	0,189	0,507	0,862	1,541
240	0,183	0,473	0,804	1,441
241	0,174	0,437	0,746	1,337
242	0,156	0,400	0,686	1,237
243	0,144	0,369	0,635	1,142
244	0,129	0,336	0,577	1,036
245	0,120	0,303	0,520	0,932
246	0,107	0,270	0,463	0,829
247	0,087	0,238	0,409	0,737
248	0,079	0,211	0,365	0,660
249	0,070	0,188	0,323	0,586
250	0,062	0,166	0,284	0,515
251	0,055	0,146	0,249	0,449
252	0,052	0,129	0,220	0,392
253	0,044	0,109	0,188	0,337
254	0,038	0,094	0,162	0,291
255	0,033	0,082	0,137	0,248
256	0,031	0,070	0,118	0,210
257	0,030	0,061	0,101	0,180
258	0,027	0,050	0,084	0,151
259	0,024	0,041	0,070	0,125
260	0,020	0,034	0,055	0,103
261	0,013	0,027	0,046	0,085
262	0,011	0,022	0,038	0,071
263	0,011	0,022	0,034	0,062
264	0,010	0,017	0,028	0,053
265	0,009	0,017	0,025	0,043
266	0,009	0,012	0,020	0,039
267	0,006	0,009	0,016	0,030
268	0,006	0,009	0,015	0,026
269	0,006	0,008	0,013	0,024
270	0,006	0,008	0,011	0,024
271	0,005	0,008	0,011	0,023
272	0,005	0,008	0,011	0,020
273	0,005	0,007	0,009	0,016
274	0,005	0,005	0,008	0,014
275	0,004	0,005	0,007	0,014
276	0,004	0,005	0,007	0,013
277	0,001	0,004	0,007	0,010
278	0,002	0,003	0,007	0,010
279	0,002	0,003	0,007	0,010

280	0,002	0,003	0,006	0,011
281	0,003	0,004	0,007	0,010
282	0,002	0,004	0,005	0,010
283	0,003	0,004	0,006	0,012
284	0,003	0,004	0,006	0,012
285	0,003	0,004	0,006	0,012
286	0,003	0,004	0,006	0,011
287	0,003	0,004	0,006	0,011
288	0,003	0,004	0,006	0,011
289	0,005	0,005	0,007	0,011
290	0,005	0,005	0,007	0,011
291	0,005	0,005	0,007	0,011
292	0,004	0,005	0,007	0,011
293	0,003	0,005	0,006	0,011
294	0,003	0,004	0,006	0,010
295	0,003	0,003	0,006	0,011
296	0,002	0,003	0,006	0,011
297	0,002	0,003	0,005	0,009
298	0,002	0,003	0,003	0,009
299	0,002	0,003	0,003	0,008
300	0,003	0,003	0,003	0,008

**Tabla 103: Concentraciones muestra NaSH-kerosene.**

Concentración (g/L)				
NaSH	0,006	0,013	0,019	0,031
Kerosene	0,008	0,016	0,023	0,038

**Tabla 104: Concentraciones muestra kerosene- NaSH.**

Concentración (g/L)				
NaSH	0,013	0,025	0,038	0,061
Kerosene	0,004	0,008	0,012	0,019

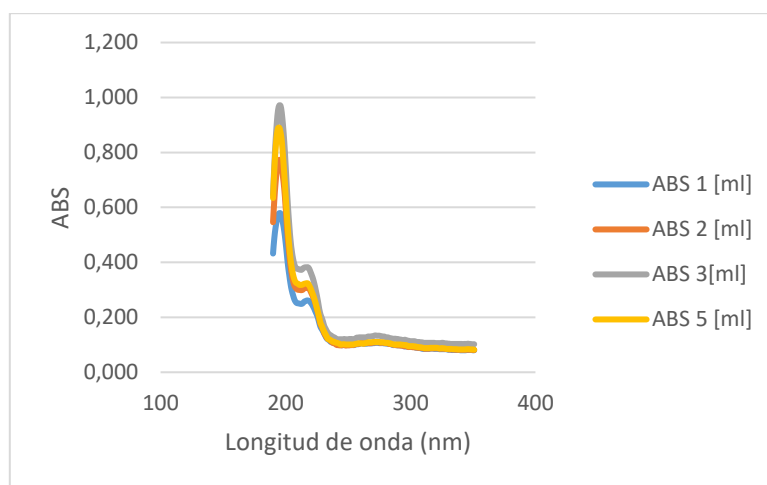


Figura 106: Espectrometría ácido sulfúrico- kerosene, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 105: Absorbancia muestra ácido sulfúrico- Kerosene.

Wavelength [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,432	0,546	0,646	0,634
191	0,487	0,625	0,750	0,734
192	0,525	0,687	0,838	0,809
193	0,552	0,734	0,906	0,861
194	0,571	0,763	0,953	0,888
195	0,579	0,773	0,971	0,890
196	0,578	0,769	0,970	0,873
197	0,565	0,747	0,944	0,841
198	0,541	0,709	0,897	0,784
199	0,513	0,667	0,838	0,723
200	0,476	0,607	0,761	0,651
201	0,432	0,541	0,676	0,578
202	0,388	0,480	0,600	0,512
203	0,354	0,431	0,536	0,459
204	0,322	0,388	0,481	0,413
205	0,298	0,357	0,442	0,380
206	0,281	0,333	0,414	0,356
207	0,266	0,317	0,394	0,339
208	0,257	0,308	0,382	0,328
209	0,252	0,303	0,377	0,324
210	0,251	0,300	0,376	0,322
211	0,250	0,300	0,374	0,318
212	0,249	0,299	0,373	0,318
213	0,249	0,299	0,373	0,318
214	0,252	0,301	0,378	0,320
215	0,257	0,306	0,381	0,322

216	0,259	0,307	0,382	0,323
217	0,261	0,307	0,382	0,324
218	0,261	0,307	0,382	0,323
219	0,259	0,304	0,376	0,315
220	0,254	0,295	0,365	0,306
221	0,248	0,285	0,353	0,294
222	0,240	0,275	0,340	0,282
223	0,231	0,264	0,323	0,269
224	0,220	0,250	0,303	0,253
225	0,210	0,233	0,281	0,236
226	0,197	0,215	0,257	0,218
227	0,180	0,195	0,230	0,199
228	0,165	0,175	0,210	0,179
229	0,157	0,166	0,198	0,169
230	0,149	0,155	0,184	0,157
231	0,140	0,142	0,168	0,147
232	0,131	0,134	0,159	0,138
233	0,123	0,126	0,150	0,130
234	0,119	0,121	0,143	0,121
235	0,116	0,120	0,138	0,120
236	0,111	0,114	0,135	0,117
237	0,109	0,111	0,132	0,114
238	0,108	0,106	0,128	0,111
239	0,107	0,106	0,127	0,111
240	0,105	0,103	0,124	0,108
241	0,103	0,099	0,121	0,107
242	0,102	0,099	0,120	0,106
243	0,100	0,098	0,120	0,104
244	0,100	0,098	0,120	0,101
245	0,098	0,098	0,120	0,101
246	0,099	0,100	0,120	0,102
247	0,099	0,100	0,121	0,102
248	0,099	0,097	0,120	0,101
249	0,099	0,098	0,120	0,101
250	0,099	0,098	0,120	0,101
251	0,099	0,098	0,121	0,101
252	0,099	0,099	0,121	0,101
253	0,099	0,099	0,121	0,101
254	0,099	0,100	0,120	0,101
255	0,099	0,100	0,120	0,102
256	0,102	0,102	0,123	0,103
257	0,102	0,103	0,126	0,104
258	0,102	0,104	0,126	0,105

259	0,103	0,104	0,127	0,105
260	0,105	0,106	0,127	0,105
261	0,105	0,106	0,127	0,105
262	0,104	0,106	0,127	0,104
263	0,104	0,105	0,127	0,105
264	0,104	0,106	0,127	0,106
265	0,104	0,106	0,128	0,107
266	0,105	0,106	0,130	0,109
267	0,105	0,106	0,130	0,109
268	0,105	0,106	0,130	0,109
269	0,105	0,107	0,131	0,109
270	0,106	0,108	0,131	0,110
271	0,106	0,108	0,133	0,110
272	0,107	0,109	0,134	0,110
273	0,107	0,109	0,133	0,110
274	0,107	0,109	0,133	0,110
275	0,106	0,109	0,133	0,110
276	0,106	0,107	0,132	0,109
277	0,106	0,108	0,131	0,109
278	0,106	0,108	0,130	0,109
279	0,105	0,107	0,130	0,108
280	0,105	0,106	0,128	0,107
281	0,104	0,106	0,127	0,107
282	0,105	0,105	0,127	0,107
283	0,103	0,103	0,125	0,105
284	0,103	0,103	0,124	0,105
285	0,101	0,102	0,123	0,103
286	0,099	0,101	0,122	0,102
287	0,099	0,101	0,122	0,101
288	0,099	0,099	0,122	0,101
289	0,098	0,099	0,121	0,101
290	0,098	0,098	0,121	0,101
291	0,098	0,098	0,119	0,101
292	0,098	0,097	0,119	0,101
293	0,097	0,097	0,118	0,100
294	0,096	0,096	0,117	0,100
295	0,094	0,095	0,118	0,099
296	0,094	0,095	0,118	0,099
297	0,094	0,094	0,115	0,098
298	0,093	0,092	0,115	0,095
299	0,093	0,092	0,114	0,095
300	0,093	0,093	0,113	0,095

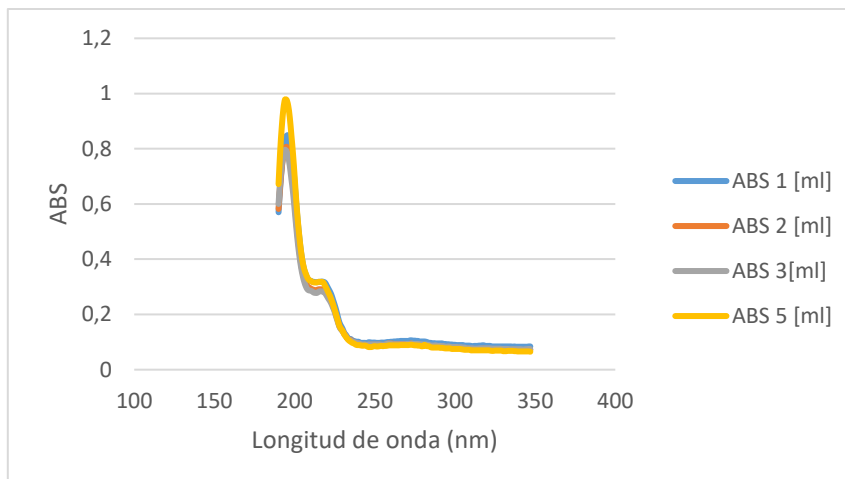


Figura 107: Espectrometría kerosene- ácido sulfúrico, para una concentración de 1, 2, 3 y 5 ml.

Tabla 106: Absorbancia muestra Kerosene - ácido sulfúrico.

<i>Wavelength</i> [nm]	ABS 1 [ml]	ABS 2 [ml]	ABS 3[ml]	ABS 5 [ml]
190	0,570	0,582	0,600	0,672
191	0,658	0,667	0,684	0,789
192	0,731	0,733	0,743	0,879
193	0,789	0,777	0,779	0,944
194	0,829	0,803	0,796	0,978
195	0,847	0,807	0,791	0,977
196	0,848	0,797	0,772	0,956
197	0,830	0,767	0,738	0,913
198	0,793	0,725	0,691	0,849
199	0,743	0,674	0,644	0,782
200	0,675	0,610	0,581	0,700
201	0,602	0,543	0,518	0,614
202	0,534	0,481	0,460	0,540
203	0,476	0,430	0,412	0,480
204	0,426	0,386	0,372	0,429
205	0,389	0,353	0,342	0,391
206	0,362	0,330	0,319	0,364
207	0,344	0,314	0,302	0,347
208	0,331	0,302	0,291	0,333
209	0,323	0,298	0,287	0,325
210	0,322	0,294	0,286	0,322
211	0,319	0,291	0,283	0,318
212	0,318	0,289	0,279	0,316
213	0,317	0,288	0,278	0,316
214	0,317	0,289	0,278	0,316

215	0,318	0,291	0,282	0,318
216	0,318	0,291	0,284	0,318
217	0,319	0,291	0,283	0,318
218	0,318	0,291	0,283	0,315
219	0,315	0,285	0,277	0,304
220	0,305	0,276	0,268	0,293
221	0,294	0,266	0,258	0,280
222	0,283	0,255	0,249	0,268
223	0,270	0,244	0,238	0,253
224	0,252	0,230	0,224	0,236
225	0,234	0,214	0,209	0,217
226	0,214	0,195	0,190	0,197
227	0,191	0,177	0,172	0,177
228	0,170	0,157	0,155	0,158
229	0,158	0,148	0,145	0,148
230	0,147	0,139	0,139	0,139
231	0,133	0,130	0,129	0,127
232	0,126	0,121	0,122	0,119
233	0,117	0,113	0,113	0,111
234	0,111	0,109	0,108	0,105
235	0,111	0,108	0,106	0,101
236	0,106	0,102	0,101	0,097
237	0,104	0,100	0,100	0,095
238	0,102	0,097	0,097	0,091
239	0,101	0,096	0,096	0,089
240	0,101	0,094	0,095	0,089
241	0,097	0,090	0,093	0,088
242	0,097	0,089	0,091	0,087
243	0,097	0,089	0,091	0,087
244	0,097	0,090	0,091	0,087
245	0,096	0,089	0,089	0,085
246	0,099	0,089	0,091	0,082
247	0,099	0,090	0,091	0,082
248	0,098	0,090	0,091	0,082
249	0,098	0,090	0,091	0,084
250	0,098	0,090	0,091	0,085
251	0,097	0,090	0,091	0,084
252	0,097	0,090	0,091	0,084
253	0,097	0,090	0,091	0,085
254	0,098	0,090	0,090	0,086
255	0,098	0,089	0,090	0,085
256	0,098	0,090	0,090	0,086
257	0,099	0,090	0,092	0,086
258	0,100	0,094	0,094	0,087



259	0,100	0,094	0,094	0,088
260	0,101	0,094	0,094	0,088
261	0,101	0,094	0,092	0,088
262	0,102	0,093	0,092	0,088
263	0,102	0,093	0,092	0,088
264	0,103	0,093	0,092	0,088
265	0,103	0,093	0,092	0,088
266	0,104	0,093	0,092	0,089
267	0,104	0,093	0,092	0,089
268	0,104	0,093	0,092	0,089
269	0,104	0,093	0,092	0,089
270	0,104	0,093	0,093	0,089
271	0,104	0,093	0,093	0,089
272	0,106	0,094	0,093	0,090
273	0,106	0,094	0,094	0,090
274	0,105	0,092	0,093	0,089
275	0,105	0,092	0,093	0,088
276	0,104	0,092	0,093	0,088
277	0,104	0,091	0,093	0,087
278	0,102	0,091	0,092	0,087
279	0,102	0,090	0,092	0,085
280	0,102	0,089	0,091	0,085
281	0,102	0,089	0,091	0,090
282	0,101	0,089	0,091	0,086
283	0,099	0,089	0,090	0,085
284	0,097	0,086	0,089	0,084
285	0,097	0,086	0,087	0,081
286	0,095	0,085	0,087	0,080
287	0,096	0,085	0,087	0,080
288	0,095	0,085	0,088	0,080
289	0,095	0,085	0,086	0,080
290	0,095	0,082	0,086	0,080
291	0,095	0,082	0,086	0,079
292	0,095	0,082	0,085	0,079
293	0,093	0,081	0,085	0,078
294	0,093	0,081	0,083	0,077
295	0,092	0,081	0,083	0,077
296	0,092	0,081	0,084	0,077
297	0,091	0,080	0,083	0,077
298	0,091	0,080	0,082	0,075
299	0,090	0,080	0,082	0,075
300	0,090	0,080	0,082	0,075

**Tabla 107: Concentraciones muestra ácido sulfúrico-kerosene.**

Concentración (g/L)				
Ácido sulfúrico	0,036	0,072	0,110	0,180
Kerosene	0,032	0,063	0,090	0,150

**Tabla 108: Concentraciones muestra kerosene- ácido sulfúrico.**

Concentración (g/L)				
Ácido sulfúrico	0,073	0,140	0,214	0,350
Kerosene	0,016	0,030	0,047	0,076

### 2.3. Espectrometría muestras directas de la planta de flotación

**Tabla 109: Absorbancia muestra planta alimentación *Rougher*.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,262	0,034	0,049	0,059	0,087
191	0,261	0,033	0,048	0,060	0,093
192	0,250	0,033	0,048	0,062	0,093
193	0,250	0,033	0,048	0,063	0,091
194	0,252	0,033	0,048	0,063	0,093
195	0,253	0,036	0,048	0,064	0,091
196	0,254	0,038	0,049	0,064	0,091
197	0,254	0,038	0,053	0,065	0,093
198	0,254	0,038	0,053	0,064	0,092
199	0,257	0,038	0,053	0,064	0,096
200	0,259	0,032	0,053	0,069	0,097
201	0,259	0,031	0,053	0,070	0,097
202	0,260	0,034	0,056	0,071	0,104
203	0,262	0,035	0,055	0,072	0,104
204	0,276	0,035	0,054	0,072	0,102
205	0,276	0,036	0,057	0,070	0,104
206	0,276	0,036	0,057	0,068	0,104
207	0,276	0,037	0,057	0,069	0,106
208	0,277	0,038	0,057	0,078	0,105
209	0,289	0,038	0,058	0,083	0,106
210	0,302	0,039	0,060	0,088	0,111
211	0,306	0,045	0,066	0,104	0,119
212	0,323	0,048	0,079	0,123	0,133
213	0,367	0,056	0,101	0,152	0,164
214	0,599	0,076	0,281	0,356	0,349
215	0,937	0,131	0,393	0,621	0,623
216	1,276	0,174	0,412	0,754	0,713
217	1,614	0,184	0,413	0,813	0,711
218	1,947	0,186	0,410	0,770	0,697
219	2,286	0,188	0,392	0,690	0,653

220	2,599	0,189	0,371	0,638	0,616
221	2,752	0,186	0,355	0,595	0,609
222	1,983	0,175	0,337	0,546	0,560
223	1,720	0,170	0,318	0,511	0,533
224	1,654	0,165	0,301	0,485	0,515
225	1,643	0,162	0,288	0,461	0,503
226	1,642	0,161	0,279	0,441	0,493
227	1,638	0,160	0,268	0,422	0,483
228	1,630	0,156	0,256	0,400	0,472
229	1,610	0,148	0,251	0,384	0,460
230	1,575	0,145	0,239	0,368	0,449
231	1,528	0,142	0,231	0,353	0,436
232	1,481	0,141	0,224	0,339	0,426
233	1,431	0,137	0,217	0,326	0,416
234	1,386	0,134	0,210	0,312	0,403
235	1,344	0,133	0,202	0,301	0,394
236	1,298	0,130	0,196	0,290	0,383
237	1,254	0,126	0,190	0,279	0,373
238	1,209	0,123	0,185	0,270	0,364
239	1,164	0,121	0,181	0,259	0,353
240	1,118	0,121	0,174	0,247	0,342
241	1,074	0,117	0,167	0,238	0,330
242	1,032	0,116	0,164	0,231	0,324
243	0,992	0,114	0,162	0,226	0,316
244	0,943	0,109	0,156	0,216	0,303
245	0,894	0,107	0,150	0,208	0,292
246	0,847	0,106	0,147	0,202	0,281
247	0,801	0,099	0,144	0,194	0,268
248	0,758	0,097	0,139	0,186	0,260
249	0,717	0,096	0,132	0,178	0,250
250	0,674	0,094	0,126	0,172	0,242
251	0,636	0,093	0,125	0,168	0,235
252	0,600	0,091	0,123	0,163	0,230
253	0,564	0,091	0,118	0,157	0,220
254	0,528	0,089	0,114	0,149	0,211
255	0,500	0,086	0,112	0,143	0,204
256	0,474	0,085	0,111	0,141	0,201
257	0,447	0,083	0,107	0,137	0,195
258	0,424	0,083	0,107	0,135	0,192
259	0,404	0,082	0,106	0,134	0,189
260	0,388	0,082	0,105	0,128	0,187
261	0,373	0,079	0,100	0,124	0,182
262	0,361	0,077	0,099	0,123	0,176
263	0,349	0,077	0,099	0,123	0,176
264	0,340	0,078	0,098	0,122	0,174

265	0,332	0,078	0,098	0,122	0,174
266	0,325	0,078	0,098	0,121	0,173
267	0,318	0,077	0,097	0,119	0,171
268	0,316	0,077	0,097	0,118	0,170
269	0,310	0,077	0,096	0,116	0,169
270	0,307	0,076	0,095	0,116	0,169
271	0,307	0,076	0,095	0,116	0,169
272	0,306	0,074	0,094	0,116	0,165
273	0,302	0,073	0,093	0,114	0,164
274	0,302	0,073	0,091	0,114	0,164
275	0,303	0,073	0,091	0,114	0,165
276	0,303	0,073	0,091	0,114	0,165
277	0,303	0,073	0,091	0,114	0,165
278	0,307	0,073	0,092	0,114	0,166
279	0,312	0,073	0,092	0,114	0,166
280	0,313	0,073	0,092	0,114	0,166
281	0,312	0,073	0,091	0,113	0,166
282	0,313	0,073	0,091	0,113	0,166
283	0,314	0,072	0,092	0,113	0,167
284	0,316	0,072	0,092	0,113	0,167
285	0,318	0,072	0,090	0,112	0,167
286	0,318	0,071	0,089	0,112	0,167
287	0,318	0,071	0,089	0,113	0,166
288	0,318	0,069	0,089	0,112	0,166
289	0,318	0,069	0,088	0,112	0,166
290	0,318	0,070	0,088	0,112	0,166
291	0,318	0,070	0,088	0,111	0,165
292	0,317	0,070	0,088	0,111	0,165
293	0,317	0,071	0,088	0,111	0,165
294	0,317	0,071	0,088	0,111	0,165
295	0,317	0,070	0,088	0,111	0,166
296	0,317	0,070	0,087	0,111	0,166
297	0,317	0,069	0,086	0,110	0,164
298	0,317	0,069	0,086	0,110	0,161
299	0,316	0,067	0,085	0,108	0,161
300	0,316	0,066	0,085	0,108	0,161

**Tabla 110: Absorbancia muestra planta alimentación Titanic.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,086	0,022	0,027	0,032	0,031
191	0,085	0,019	0,027	0,036	0,036
192	0,086	0,019	0,027	0,038	0,036
193	0,087	0,021	0,027	0,038	0,036
194	0,088	0,024	0,027	0,037	0,033

195	0,088	0,024	0,023	0,033	0,031
196	0,087	0,023	0,023	0,035	0,032
197	0,087	0,023	0,026	0,041	0,033
198	0,087	0,023	0,029	0,040	0,033
199	0,089	0,024	0,029	0,040	0,034
200	0,090	0,024	0,029	0,037	0,034
201	0,089	0,024	0,029	0,036	0,034
202	0,090	0,024	0,032	0,041	0,040
203	0,090	0,025	0,032	0,041	0,041
204	0,090	0,023	0,030	0,040	0,039
205	0,091	0,024	0,027	0,041	0,039
206	0,091	0,024	0,027	0,037	0,037
207	0,092	0,029	0,028	0,038	0,038
208	0,092	0,029	0,029	0,042	0,039
209	0,096	0,029	0,034	0,045	0,043
210	0,110	0,030	0,035	0,047	0,044
211	0,130	0,031	0,037	0,062	0,046
212	0,146	0,040	0,042	0,070	0,055
213	0,179	0,054	0,056	0,111	0,077
214	0,406	0,056	0,114	0,341	0,103
215	0,745	0,154	0,135	0,654	0,211
216	1,020	0,169	0,177	0,819	0,237
217	1,107	0,171	0,186	0,807	0,246
218	1,081	0,171	0,187	0,714	0,250
219	1,007	0,171	0,187	0,634	0,251
220	0,945	0,166	0,186	0,584	0,253
221	0,881	0,157	0,178	0,534	0,244
222	0,794	0,147	0,165	0,481	0,230
223	0,745	0,137	0,155	0,439	0,225
224	0,722	0,132	0,150	0,401	0,216
225	0,705	0,126	0,145	0,367	0,213
226	0,692	0,124	0,142	0,335	0,208
227	0,679	0,118	0,136	0,306	0,200
228	0,663	0,114	0,135	0,280	0,198
229	0,647	0,111	0,130	0,255	0,195
230	0,635	0,105	0,126	0,234	0,187
231	0,623	0,103	0,122	0,216	0,184
232	0,612	0,102	0,121	0,202	0,183
233	0,603	0,100	0,120	0,189	0,180
234	0,591	0,099	0,118	0,177	0,177
235	0,581	0,097	0,116	0,168	0,176
236	0,571	0,095	0,114	0,161	0,174
237	0,561	0,095	0,112	0,153	0,170

238	0,550	0,094	0,111	0,147	0,168
239	0,538	0,094	0,111	0,141	0,166
240	0,526	0,093	0,111	0,136	0,162
241	0,510	0,092	0,110	0,134	0,158
242	0,492	0,089	0,107	0,130	0,155
243	0,478	0,088	0,106	0,126	0,151
244	0,457	0,086	0,102	0,119	0,144
245	0,436	0,086	0,102	0,117	0,140
246	0,414	0,085	0,101	0,115	0,136
247	0,387	0,081	0,099	0,110	0,130
248	0,367	0,079	0,095	0,106	0,124
249	0,343	0,076	0,092	0,100	0,119
250	0,317	0,076	0,090	0,098	0,115
251	0,295	0,076	0,088	0,096	0,113
252	0,278	0,076	0,087	0,094	0,111
253	0,257	0,074	0,080	0,090	0,105
254	0,236	0,071	0,076	0,085	0,097
255	0,218	0,070	0,076	0,084	0,095
256	0,200	0,070	0,076	0,081	0,093
257	0,184	0,070	0,075	0,080	0,090
258	0,171	0,071	0,075	0,080	0,086
259	0,162	0,071	0,075	0,079	0,084
260	0,150	0,070	0,074	0,079	0,082
261	0,139	0,066	0,069	0,072	0,076
262	0,132	0,065	0,068	0,070	0,074
263	0,126	0,065	0,068	0,070	0,073
264	0,123	0,066	0,067	0,069	0,073
265	0,122	0,066	0,068	0,070	0,073
266	0,117	0,066	0,068	0,070	0,073
267	0,112	0,065	0,067	0,069	0,071
268	0,111	0,065	0,067	0,068	0,071
269	0,108	0,065	0,067	0,068	0,071
270	0,106	0,065	0,066	0,068	0,069
271	0,106	0,065	0,065	0,068	0,069
272	0,102	0,064	0,065	0,066	0,066
273	0,101	0,063	0,064	0,064	0,065
274	0,100	0,062	0,064	0,064	0,065
275	0,100	0,063	0,064	0,064	0,066
276	0,100	0,063	0,064	0,064	0,066
277	0,100	0,063	0,064	0,065	0,066
278	0,102	0,064	0,064	0,065	0,066
279	0,102	0,064	0,064	0,065	0,066
280	0,104	0,064	0,064	0,065	0,066

281	0,104	0,063	0,063	0,064	0,066
282	0,104	0,063	0,063	0,064	0,066
283	0,106	0,063	0,063	0,064	0,066
284	0,108	0,063	0,063	0,064	0,066
285	0,111	0,062	0,063	0,064	0,065
286	0,114	0,060	0,063	0,065	0,066
287	0,118	0,060	0,063	0,064	0,066
288	0,120	0,060	0,062	0,064	0,066
289	0,122	0,060	0,061	0,064	0,066
290	0,127	0,060	0,062	0,064	0,068
291	0,127	0,059	0,062	0,064	0,068
292	0,130	0,060	0,061	0,064	0,067
293	0,137	0,061	0,061	0,064	0,068
294	0,139	0,061	0,061	0,064	0,068
295	0,139	0,060	0,060	0,064	0,069
296	0,143	0,060	0,060	0,064	0,069
297	0,145	0,060	0,060	0,063	0,067
298	0,146	0,059	0,060	0,063	0,067
299	0,147	0,056	0,059	0,062	0,067
300	0,149	0,057	0,059	0,061	0,067

**Tabla 111: Absorbancia muestra planta concentrado *Rougher*.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,136	0,025	0,043	0,039	0,051
191	0,137	0,025	0,042	0,041	0,050
192	0,138	0,024	0,044	0,040	0,051
193	0,138	0,024	0,041	0,040	0,053
194	0,142	0,024	0,042	0,040	0,053
195	0,146	0,024	0,042	0,040	0,053
196	0,146	0,026	0,051	0,042	0,055
197	0,154	0,034	0,051	0,047	0,054
198	0,154	0,034	0,049	0,044	0,049
199	0,154	0,035	0,050	0,044	0,050
200	0,154	0,034	0,049	0,044	0,050
201	0,154	0,035	0,048	0,043	0,056
202	0,155	0,035	0,049	0,045	0,061
203	0,155	0,034	0,050	0,045	0,055
204	0,157	0,031	0,048	0,046	0,052
205	0,161	0,030	0,046	0,045	0,054
206	0,161	0,030	0,045	0,044	0,054
207	0,164	0,032	0,046	0,044	0,054
208	0,164	0,032	0,046	0,044	0,056

209	0,168	0,033	0,053	0,044	0,062
210	0,169	0,035	0,061	0,050	0,066
211	0,179	0,037	0,076	0,058	0,068
212	0,213	0,040	0,102	0,060	0,080
213	0,251	0,047	0,140	0,073	0,102
214	0,482	0,081	0,371	0,230	0,277
215	0,821	0,140	0,709	0,286	0,377
216	1,160	0,148	1,048	0,301	0,403
217	1,492	0,152	1,219	0,289	0,404
218	1,720	0,154	1,261	0,289	0,404
219	1,746	0,156	1,188	0,289	0,405
220	1,825	0,159	1,048	0,285	0,397
221	1,805	0,160	0,938	0,272	0,383
222	1,463	0,155	0,818	0,257	0,362
223	1,322	0,150	0,735	0,248	0,349
224	1,273	0,147	0,664	0,240	0,344
225	1,251	0,144	0,601	0,233	0,334
226	1,239	0,143	0,543	0,232	0,329
227	1,224	0,140	0,486	0,228	0,321
228	1,209	0,139	0,433	0,227	0,316
229	1,189	0,135	0,391	0,221	0,309
230	1,165	0,130	0,355	0,214	0,299
231	1,136	0,126	0,322	0,207	0,292
232	1,106	0,124	0,293	0,203	0,289
233	1,074	0,122	0,266	0,199	0,280
234	1,044	0,119	0,242	0,193	0,271
235	1,013	0,117	0,222	0,187	0,265
236	0,983	0,114	0,205	0,183	0,258
237	0,952	0,113	0,190	0,178	0,252
238	0,922	0,110	0,179	0,174	0,244
239	0,892	0,109	0,168	0,170	0,236
240	0,858	0,108	0,157	0,162	0,229
241	0,824	0,102	0,152	0,159	0,223
242	0,798	0,102	0,143	0,154	0,214
243	0,768	0,101	0,137	0,153	0,211
244	0,731	0,098	0,129	0,147	0,202
245	0,692	0,096	0,126	0,142	0,192
246	0,648	0,096	0,123	0,139	0,187
247	0,615	0,095	0,117	0,135	0,178
248	0,585	0,093	0,116	0,129	0,172
249	0,550	0,090	0,109	0,121	0,164
250	0,514	0,087	0,106	0,117	0,154
251	0,484	0,086	0,103	0,112	0,148



252	0,455	0,086	0,101	0,110	0,144
253	0,427	0,085	0,097	0,107	0,136
254	0,395	0,080	0,093	0,101	0,127
255	0,369	0,077	0,091	0,096	0,124
256	0,346	0,076	0,090	0,094	0,122
257	0,325	0,076	0,088	0,093	0,117
258	0,306	0,075	0,087	0,092	0,111
259	0,289	0,075	0,084	0,091	0,110
260	0,276	0,075	0,085	0,087	0,107
261	0,263	0,074	0,083	0,084	0,105
262	0,252	0,072	0,081	0,082	0,100
263	0,242	0,072	0,080	0,082	0,099
264	0,236	0,072	0,078	0,081	0,098
265	0,231	0,072	0,078	0,081	0,097
266	0,224	0,072	0,078	0,080	0,095
267	0,218	0,071	0,078	0,079	0,093
268	0,214	0,071	0,078	0,079	0,093
269	0,209	0,071	0,076	0,079	0,091
270	0,206	0,069	0,075	0,079	0,091
271	0,205	0,070	0,073	0,076	0,090
272	0,205	0,069	0,073	0,077	0,089
273	0,204	0,069	0,073	0,076	0,088
274	0,202	0,069	0,073	0,076	0,088
275	0,202	0,068	0,073	0,076	0,088
276	0,202	0,068	0,073	0,075	0,088
277	0,202	0,068	0,073	0,075	0,089
278	0,204	0,068	0,073	0,075	0,089
279	0,204	0,068	0,073	0,075	0,089
280	0,204	0,068	0,073	0,075	0,089
281	0,206	0,068	0,073	0,074	0,088
282	0,207	0,068	0,073	0,074	0,088
283	0,210	0,068	0,073	0,074	0,089
284	0,211	0,067	0,072	0,074	0,089
285	0,212	0,066	0,070	0,074	0,088
286	0,214	0,066	0,070	0,074	0,088
287	0,214	0,066	0,070	0,074	0,088
288	0,214	0,065	0,070	0,074	0,088
289	0,215	0,065	0,070	0,074	0,088
290	0,217	0,065	0,070	0,074	0,088
291	0,217	0,065	0,070	0,074	0,088
292	0,217	0,067	0,070	0,073	0,088
293	0,218	0,066	0,070	0,074	0,089
294	0,218	0,066	0,070	0,074	0,088

295	0,219	0,065	0,070	0,074	0,087
296	0,220	0,064	0,068	0,073	0,089
297	0,220	0,063	0,066	0,072	0,087
298	0,221	0,064	0,066	0,072	0,087
299	0,220	0,060	0,065	0,072	0,086
300	0,220	0,060	0,066	0,072	0,086

**Tabla 112: Absorbancia muestra planta concentrado 1° Limpieza.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,307	0,040	0,057	0,075	0,116
191	0,307	0,040	0,057	0,075	0,116
192	0,311	0,038	0,057	0,073	0,117
193	0,314	0,039	0,057	0,074	0,119
194	0,315	0,039	0,055	0,077	0,119
195	0,312	0,039	0,056	0,081	0,120
196	0,313	0,040	0,063	0,081	0,125
197	0,318	0,041	0,060	0,085	0,123
198	0,318	0,042	0,060	0,086	0,122
199	0,318	0,043	0,062	0,085	0,128
200	0,318	0,043	0,061	0,085	0,128
201	0,321	0,044	0,060	0,089	0,128
202	0,321	0,046	0,064	0,092	0,132
203	0,322	0,045	0,064	0,092	0,132
204	0,325	0,045	0,063	0,092	0,129
205	0,328	0,046	0,066	0,094	0,128
206	0,329	0,042	0,065	0,092	0,128
207	0,329	0,042	0,067	0,092	0,129
208	0,332	0,043	0,065	0,093	0,130
209	0,345	0,045	0,068	0,101	0,142
210	0,345	0,045	0,069	0,102	0,144
211	0,353	0,048	0,077	0,108	0,154
212	0,390	0,055	0,084	0,114	0,180
213	0,414	0,064	0,096	0,138	0,206
214	0,652	0,098	0,257	0,304	0,425
215	0,991	0,156	0,283	0,524	0,733
216	1,329	0,179	0,351	0,577	0,860
217	1,659	0,187	0,355	0,555	0,865
218	1,868	0,197	0,351	0,524	0,824
219	2,207	0,207	0,350	0,491	0,792
220	2,545	0,207	0,344	0,475	0,761
221	2,755	0,205	0,330	0,463	0,719
222	2,127	0,196	0,317	0,438	0,666
223	1,912	0,188	0,303	0,419	0,638
224	1,872	0,185	0,295	0,408	0,622

225	1,874	0,183	0,289	0,400	0,608
226	1,888	0,182	0,288	0,396	0,599
227	1,914	0,176	0,281	0,388	0,585
228	1,933	0,175	0,278	0,384	0,575
229	1,922	0,170	0,274	0,378	0,560
230	1,882	0,162	0,265	0,364	0,546
231	1,822	0,161	0,259	0,354	0,532
232	1,759	0,159	0,252	0,345	0,519
233	1,690	0,156	0,246	0,337	0,505
234	1,627	0,152	0,239	0,327	0,489
235	1,564	0,147	0,232	0,317	0,475
236	1,504	0,144	0,228	0,308	0,460
237	1,443	0,141	0,220	0,299	0,446
238	1,383	0,138	0,214	0,290	0,432
239	1,323	0,137	0,207	0,281	0,418
240	1,260	0,131	0,199	0,271	0,402
241	1,201	0,127	0,194	0,264	0,390
242	1,146	0,122	0,187	0,256	0,380
243	1,097	0,121	0,185	0,247	0,366
244	1,038	0,116	0,177	0,237	0,352
245	0,978	0,114	0,172	0,232	0,340
246	0,921	0,114	0,169	0,224	0,330
247	0,870	0,110	0,165	0,214	0,318
248	0,824	0,107	0,160	0,205	0,306
249	0,775	0,104	0,152	0,197	0,293
250	0,727	0,101	0,149	0,190	0,285
251	0,685	0,100	0,145	0,186	0,277
252	0,647	0,100	0,143	0,183	0,272
253	0,611	0,096	0,139	0,177	0,261
254	0,573	0,094	0,132	0,169	0,251
255	0,543	0,091	0,129	0,166	0,249
256	0,515	0,091	0,127	0,164	0,245
257	0,488	0,090	0,127	0,162	0,239
258	0,467	0,089	0,125	0,159	0,232
259	0,449	0,088	0,124	0,159	0,226
260	0,429	0,088	0,123	0,157	0,223
261	0,414	0,084	0,120	0,149	0,220
262	0,401	0,083	0,116	0,147	0,217
263	0,389	0,083	0,116	0,147	0,216
264	0,380	0,083	0,115	0,145	0,214
265	0,375	0,083	0,115	0,145	0,214
266	0,366	0,083	0,115	0,145	0,212
267	0,359	0,082	0,114	0,143	0,209
268	0,354	0,082	0,113	0,143	0,208
269	0,348	0,082	0,113	0,142	0,207

270	0,345	0,082	0,112	0,142	0,206
271	0,345	0,082	0,112	0,142	0,206
272	0,341	0,082	0,111	0,141	0,205
273	0,340	0,080	0,110	0,139	0,204
274	0,340	0,080	0,110	0,139	0,203
275	0,340	0,080	0,110	0,139	0,203
276	0,340	0,080	0,110	0,139	0,203
277	0,340	0,080	0,110	0,139	0,204
278	0,341	0,080	0,110	0,139	0,204
279	0,341	0,080	0,110	0,139	0,204
280	0,342	0,081	0,110	0,139	0,204
281	0,342	0,080	0,110	0,139	0,204
282	0,342	0,080	0,109	0,139	0,205
283	0,344	0,079	0,108	0,138	0,205
284	0,345	0,079	0,108	0,138	0,205
285	0,347	0,078	0,108	0,138	0,204
286	0,347	0,078	0,108	0,138	0,206
287	0,347	0,078	0,108	0,138	0,206
288	0,347	0,077	0,107	0,138	0,205
289	0,347	0,077	0,107	0,138	0,205
290	0,347	0,077	0,107	0,139	0,205
291	0,347	0,077	0,107	0,138	0,205
292	0,347	0,074	0,107	0,136	0,205
293	0,347	0,075	0,107	0,139	0,205
294	0,347	0,075	0,107	0,139	0,205
295	0,347	0,074	0,107	0,139	0,205
296	0,346	0,074	0,107	0,138	0,205
297	0,345	0,074	0,105	0,134	0,204
298	0,345	0,073	0,105	0,134	0,204
299	0,342	0,072	0,103	0,134	0,202
300	0,340	0,072	0,103	0,134	0,202

**Tabla 113: Absorbancia muestra planta concentrado 2° Limpieza.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,101	0,026	0,029	0,036	0,044
191	0,101	0,031	0,030	0,036	0,045
192	0,100	0,030	0,029	0,037	0,045
193	0,101	0,031	0,030	0,039	0,045
194	0,102	0,031	0,030	0,039	0,045
195	0,100	0,036	0,034	0,038	0,046
196	0,104	0,036	0,034	0,040	0,050
197	0,108	0,035	0,032	0,046	0,051
198	0,108	0,035	0,031	0,044	0,048

199	0,108	0,036	0,033	0,044	0,049
200	0,109	0,036	0,035	0,044	0,051
201	0,111	0,036	0,034	0,043	0,051
202	0,111	0,040	0,034	0,043	0,052
203	0,111	0,040	0,035	0,042	0,052
204	0,112	0,036	0,034	0,039	0,050
205	0,115	0,034	0,035	0,040	0,049
206	0,114	0,034	0,035	0,041	0,049
207	0,121	0,036	0,036	0,041	0,051
208	0,121	0,036	0,036	0,040	0,054
209	0,122	0,036	0,037	0,041	0,054
210	0,135	0,038	0,037	0,048	0,060
211	0,154	0,039	0,046	0,054	0,070
212	0,179	0,042	0,050	0,060	0,080
213	0,217	0,047	0,066	0,075	0,093
214	0,447	0,083	0,091	0,189	0,163
215	0,786	0,101	0,147	0,239	0,340
216	1,125	0,149	0,215	0,277	0,383
217	1,428	0,151	0,221	0,294	0,396
218	1,716	0,163	0,226	0,297	0,419
219	2,000	0,163	0,226	0,290	0,419
220	2,054	0,163	0,226	0,286	0,417
221	2,052	0,160	0,220	0,278	0,405
222	1,517	0,153	0,208	0,263	0,382
223	1,367	0,149	0,203	0,258	0,366
224	1,320	0,147	0,200	0,251	0,354
225	1,297	0,143	0,194	0,242	0,347
226	1,282	0,142	0,193	0,241	0,340
227	1,260	0,141	0,189	0,233	0,331
228	1,237	0,138	0,186	0,228	0,325
229	1,206	0,134	0,181	0,224	0,314
230	1,168	0,132	0,174	0,215	0,302
231	1,123	0,127	0,168	0,207	0,291
232	1,076	0,125	0,163	0,200	0,283
233	1,024	0,121	0,159	0,194	0,273
234	0,978	0,120	0,154	0,188	0,262
235	0,933	0,116	0,150	0,183	0,251
236	0,886	0,113	0,145	0,176	0,241
237	0,841	0,109	0,140	0,169	0,232
238	0,797	0,106	0,137	0,163	0,222
239	0,753	0,106	0,133	0,158	0,213
240	0,710	0,102	0,128	0,151	0,201
241	0,669	0,100	0,122	0,145	0,195

242	0,629	0,098	0,119	0,139	0,185
243	0,594	0,098	0,117	0,137	0,180
244	0,555	0,094	0,112	0,129	0,170
245	0,519	0,092	0,110	0,126	0,161
246	0,485	0,089	0,110	0,123	0,155
247	0,455	0,087	0,106	0,120	0,148
248	0,426	0,085	0,101	0,115	0,140
249	0,396	0,084	0,097	0,111	0,135
250	0,367	0,083	0,095	0,105	0,130
251	0,345	0,083	0,094	0,104	0,127
252	0,322	0,082	0,092	0,102	0,122
253	0,301	0,082	0,089	0,101	0,118
254	0,280	0,081	0,085	0,095	0,113
255	0,263	0,079	0,085	0,093	0,108
256	0,249	0,079	0,085	0,092	0,107
257	0,233	0,079	0,084	0,091	0,103
258	0,220	0,078	0,083	0,088	0,103
259	0,209	0,078	0,083	0,087	0,102
260	0,199	0,078	0,082	0,087	0,100
261	0,192	0,077	0,079	0,084	0,093
262	0,186	0,075	0,077	0,082	0,091
263	0,180	0,073	0,077	0,081	0,090
264	0,174	0,073	0,077	0,080	0,089
265	0,171	0,073	0,077	0,081	0,089
266	0,166	0,073	0,077	0,081	0,089
267	0,162	0,073	0,076	0,079	0,087
268	0,160	0,073	0,076	0,079	0,087
269	0,156	0,072	0,075	0,079	0,086
270	0,154	0,072	0,074	0,079	0,085
271	0,151	0,072	0,074	0,078	0,085
272	0,147	0,071	0,073	0,077	0,085
273	0,146	0,069	0,072	0,075	0,083
274	0,144	0,068	0,072	0,075	0,083
275	0,144	0,068	0,072	0,075	0,082
276	0,144	0,068	0,072	0,075	0,082
277	0,143	0,068	0,072	0,075	0,082
278	0,143	0,069	0,072	0,075	0,081
279	0,143	0,068	0,072	0,075	0,084
280	0,143	0,069	0,073	0,075	0,084
281	0,143	0,068	0,072	0,074	0,084
282	0,142	0,068	0,071	0,074	0,083
283	0,141	0,067	0,068	0,073	0,083
284	0,141	0,067	0,068	0,073	0,082

285	0,141	0,067	0,068	0,072	0,081
286	0,140	0,067	0,068	0,072	0,081
287	0,139	0,067	0,068	0,071	0,081
288	0,139	0,065	0,067	0,071	0,080
289	0,138	0,065	0,067	0,071	0,079
290	0,138	0,065	0,068	0,071	0,079
291	0,138	0,065	0,067	0,071	0,078
292	0,137	0,064	0,067	0,071	0,078
293	0,138	0,066	0,068	0,071	0,078
294	0,138	0,067	0,067	0,070	0,078
295	0,137	0,066	0,065	0,070	0,078
296	0,137	0,065	0,066	0,070	0,077
297	0,135	0,063	0,065	0,068	0,076
298	0,135	0,062	0,065	0,067	0,076
299	0,133	0,060	0,063	0,066	0,073
300	0,133	0,060	0,063	0,066	0,073

**Tabla 114: Absorbancia muestra planta concentrado 3° Limpieza.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,039	0,028	0,031	0,031	0,025
191	0,038	0,028	0,037	0,031	0,027
192	0,035	0,029	0,033	0,029	0,028
193	0,036	0,031	0,031	0,031	0,031
194	0,039	0,031	0,031	0,034	0,031
195	0,040	0,027	0,032	0,029	0,030
196	0,039	0,027	0,034	0,029	0,029
197	0,040	0,034	0,035	0,029	0,030
198	0,042	0,032	0,035	0,033	0,028
199	0,039	0,032	0,035	0,033	0,029
200	0,039	0,032	0,035	0,032	0,030
201	0,041	0,037	0,035	0,031	0,031
202	0,045	0,041	0,035	0,032	0,032
203	0,045	0,040	0,035	0,032	0,029
204	0,045	0,039	0,033	0,033	0,029
205	0,049	0,038	0,034	0,034	0,029
206	0,049	0,035	0,034	0,032	0,030
207	0,050	0,036	0,035	0,033	0,033
208	0,050	0,035	0,034	0,034	0,033
209	0,053	0,036	0,035	0,035	0,033
210	0,059	0,037	0,035	0,037	0,034
211	0,064	0,045	0,035	0,040	0,034
212	0,079	0,045	0,037	0,046	0,041
213	0,112	0,048	0,043	0,055	0,062

214	0,326	0,059	0,056	0,101	0,184
215	0,598	0,095	0,111	0,139	0,225
216	0,709	0,137	0,141	0,174	0,251
217	0,750	0,138	0,144	0,174	0,245
218	0,752	0,141	0,146	0,174	0,237
219	0,737	0,143	0,147	0,174	0,223
220	0,688	0,143	0,147	0,174	0,219
221	0,656	0,142	0,146	0,171	0,210
222	0,604	0,130	0,140	0,158	0,194
223	0,572	0,123	0,134	0,150	0,183
224	0,550	0,118	0,130	0,147	0,177
225	0,531	0,118	0,129	0,144	0,174
226	0,515	0,118	0,126	0,142	0,171
227	0,497	0,115	0,125	0,137	0,167
228	0,480	0,114	0,123	0,137	0,165
229	0,462	0,111	0,117	0,130	0,158
230	0,443	0,107	0,114	0,125	0,150
231	0,425	0,104	0,111	0,121	0,145
232	0,408	0,102	0,110	0,120	0,143
233	0,391	0,099	0,107	0,117	0,139
234	0,373	0,098	0,106	0,115	0,135
235	0,355	0,097	0,104	0,113	0,129
236	0,339	0,096	0,101	0,110	0,125
237	0,321	0,095	0,100	0,106	0,122
238	0,306	0,095	0,099	0,103	0,119
239	0,290	0,093	0,097	0,100	0,118
240	0,272	0,092	0,095	0,100	0,113
241	0,255	0,091	0,094	0,099	0,111
242	0,244	0,090	0,092	0,095	0,106
243	0,231	0,087	0,092	0,095	0,101
244	0,216	0,087	0,088	0,091	0,097
245	0,204	0,085	0,087	0,090	0,096
246	0,187	0,083	0,087	0,090	0,095
247	0,177	0,083	0,085	0,085	0,095
248	0,169	0,081	0,081	0,080	0,088
249	0,159	0,080	0,079	0,080	0,084
250	0,147	0,080	0,078	0,079	0,083
251	0,140	0,079	0,078	0,080	0,083
252	0,133	0,079	0,078	0,079	0,080
253	0,127	0,079	0,078	0,075	0,079
254	0,117	0,079	0,075	0,072	0,076
255	0,113	0,079	0,074	0,072	0,075
256	0,107	0,079	0,074	0,072	0,075



257	0,105	0,079	0,074	0,072	0,075
258	0,099	0,078	0,074	0,072	0,073
259	0,093	0,078	0,074	0,072	0,073
260	0,091	0,078	0,076	0,072	0,072
261	0,088	0,076	0,073	0,071	0,071
262	0,085	0,076	0,071	0,069	0,068
263	0,081	0,076	0,071	0,069	0,068
264	0,081	0,076	0,071	0,069	0,068
265	0,081	0,076	0,071	0,069	0,068
266	0,079	0,076	0,071	0,069	0,068
267	0,077	0,076	0,071	0,068	0,068
268	0,077	0,076	0,071	0,069	0,068
269	0,075	0,076	0,071	0,069	0,067
270	0,074	0,075	0,071	0,068	0,067
271	0,073	0,075	0,070	0,068	0,067
272	0,070	0,073	0,069	0,067	0,066
273	0,069	0,073	0,069	0,067	0,064
274	0,069	0,072	0,069	0,066	0,064
275	0,069	0,072	0,069	0,066	0,064
276	0,067	0,073	0,069	0,066	0,064
277	0,067	0,073	0,069	0,066	0,064
278	0,067	0,073	0,069	0,067	0,064
279	0,067	0,073	0,069	0,068	0,064
280	0,067	0,073	0,069	0,068	0,065
281	0,066	0,072	0,068	0,065	0,064
282	0,065	0,072	0,068	0,065	0,064
283	0,064	0,071	0,068	0,065	0,064
284	0,063	0,071	0,068	0,065	0,064
285	0,063	0,070	0,067	0,064	0,063
286	0,063	0,070	0,067	0,064	0,063
287	0,062	0,069	0,067	0,063	0,063
288	0,060	0,069	0,066	0,063	0,062
289	0,059	0,069	0,065	0,062	0,060
290	0,059	0,070	0,065	0,062	0,060
291	0,058	0,069	0,064	0,062	0,060
292	0,058	0,069	0,064	0,060	0,059
293	0,058	0,070	0,064	0,061	0,061
294	0,058	0,070	0,064	0,062	0,061
295	0,058	0,069	0,064	0,059	0,058
296	0,058	0,067	0,064	0,059	0,058
297	0,055	0,066	0,063	0,057	0,057
298	0,055	0,066	0,061	0,057	0,057
299	0,052	0,062	0,060	0,056	0,054

300	0,052	0,062	0,060	0,056	0,054
-----	-------	-------	-------	-------	-------

**Tabla 115: Absorbancia muestra planta concentrado 4° Limpieza.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,078	0,020	0,031	0,032	0,053
191	0,077	0,022	0,031	0,035	0,054
192	0,077	0,022	0,030	0,036	0,055
193	0,077	0,022	0,030	0,036	0,057
194	0,077	0,022	0,029	0,036	0,057
195	0,080	0,023	0,029	0,035	0,056
196	0,081	0,023	0,033	0,039	0,057
197	0,078	0,026	0,035	0,042	0,057
198	0,076	0,027	0,033	0,042	0,057
199	0,078	0,027	0,034	0,042	0,057
200	0,082	0,027	0,033	0,042	0,058
201	0,084	0,027	0,033	0,042	0,058
202	0,087	0,028	0,034	0,043	0,058
203	0,088	0,027	0,034	0,043	0,058
204	0,087	0,028	0,034	0,044	0,056
205	0,089	0,027	0,033	0,046	0,056
206	0,087	0,026	0,031	0,043	0,056
207	0,088	0,026	0,032	0,044	0,063
208	0,087	0,028	0,033	0,045	0,064
209	0,088	0,028	0,034	0,048	0,072
210	0,108	0,029	0,036	0,048	0,072
211	0,120	0,036	0,036	0,049	0,078
212	0,140	0,038	0,038	0,062	0,085
213	0,165	0,043	0,047	0,065	0,093
214	0,394	0,048	0,147	0,138	0,111
215	0,707	0,073	0,179	0,181	0,220
216	1,021	0,094	0,188	0,235	0,317
217	1,302	0,110	0,191	0,240	0,340
218	1,445	0,131	0,190	0,240	0,339
219	1,375	0,135	0,189	0,239	0,331
220	1,299	0,135	0,183	0,235	0,322
221	1,238	0,130	0,175	0,223	0,310
222	1,046	0,121	0,167	0,209	0,291
223	0,966	0,117	0,159	0,201	0,279
224	0,932	0,115	0,156	0,195	0,271
225	0,914	0,112	0,149	0,189	0,264
226	0,903	0,111	0,148	0,188	0,259
227	0,890	0,109	0,145	0,182	0,253
228	0,877	0,109	0,145	0,180	0,248

229	0,869	0,104	0,142	0,175	0,242
230	0,851	0,101	0,131	0,167	0,232
231	0,837	0,097	0,130	0,165	0,225
232	0,820	0,097	0,129	0,163	0,221
233	0,805	0,094	0,124	0,158	0,213
234	0,791	0,092	0,122	0,152	0,206
235	0,776	0,090	0,118	0,149	0,201
236	0,757	0,090	0,116	0,144	0,194
237	0,742	0,087	0,113	0,140	0,188
238	0,724	0,087	0,111	0,138	0,182
239	0,705	0,086	0,109	0,133	0,176
240	0,680	0,086	0,105	0,129	0,170
241	0,661	0,084	0,105	0,129	0,167
242	0,638	0,082	0,101	0,124	0,162
243	0,619	0,081	0,101	0,123	0,158
244	0,593	0,078	0,096	0,119	0,152
245	0,562	0,077	0,096	0,114	0,146
246	0,531	0,077	0,096	0,113	0,144
247	0,502	0,075	0,094	0,109	0,142
248	0,472	0,072	0,091	0,106	0,137
249	0,443	0,070	0,087	0,106	0,133
250	0,410	0,070	0,087	0,103	0,130
251	0,381	0,070	0,087	0,103	0,130
252	0,352	0,070	0,087	0,103	0,129
253	0,323	0,071	0,086	0,100	0,125
254	0,298	0,068	0,086	0,099	0,123
255	0,272	0,068	0,085	0,097	0,122
256	0,251	0,068	0,085	0,097	0,122
257	0,226	0,068	0,084	0,096	0,121
258	0,210	0,068	0,084	0,096	0,120
259	0,195	0,067	0,083	0,096	0,120
260	0,179	0,067	0,083	0,096	0,120
261	0,165	0,066	0,082	0,095	0,115
262	0,155	0,065	0,080	0,093	0,114
263	0,147	0,064	0,080	0,092	0,114
264	0,141	0,065	0,080	0,092	0,113
265	0,135	0,065	0,080	0,092	0,113
266	0,127	0,065	0,080	0,092	0,113
267	0,121	0,065	0,079	0,091	0,113
268	0,119	0,065	0,079	0,092	0,113
269	0,113	0,065	0,079	0,091	0,111
270	0,112	0,065	0,078	0,091	0,111
271	0,109	0,065	0,078	0,091	0,111

272	0,106	0,065	0,078	0,090	0,109
273	0,104	0,065	0,077	0,089	0,108
274	0,106	0,063	0,077	0,088	0,108
275	0,106	0,063	0,077	0,088	0,108
276	0,107	0,063	0,077	0,088	0,108
277	0,107	0,063	0,077	0,088	0,108
278	0,108	0,063	0,077	0,088	0,108
279	0,108	0,063	0,077	0,088	0,108
280	0,111	0,063	0,077	0,088	0,108
281	0,111	0,063	0,076	0,086	0,107
282	0,112	0,062	0,076	0,086	0,107
283	0,118	0,062	0,073	0,085	0,107
284	0,119	0,062	0,074	0,085	0,107
285	0,120	0,061	0,074	0,083	0,104
286	0,122	0,061	0,074	0,084	0,103
287	0,123	0,061	0,074	0,083	0,103
288	0,126	0,060	0,072	0,083	0,103
289	0,127	0,060	0,072	0,083	0,102
290	0,129	0,060	0,072	0,083	0,101
291	0,130	0,059	0,072	0,082	0,101
292	0,133	0,057	0,071	0,082	0,101
293	0,139	0,058	0,071	0,083	0,101
294	0,140	0,057	0,071	0,083	0,100
295	0,140	0,057	0,069	0,079	0,099
296	0,142	0,057	0,068	0,081	0,099
297	0,144	0,055	0,067	0,081	0,096
298	0,144	0,055	0,067	0,080	0,096
299	0,146	0,053	0,066	0,077	0,095
300	0,146	0,053	0,066	0,076	0,093

**Tabla 116: Absorbancia muestra planta concentrado 5° Limpieza.**

<i>Wavelength</i>	Original	1 ml	2ml	3ml	5 ml
190	0,299	0,080	0,132	0,181	0,225
191	0,301	0,081	0,132	0,182	0,225
192	0,314	0,078	0,135	0,182	0,224
193	0,314	0,079	0,137	0,185	0,224
194	0,318	0,080	0,137	0,188	0,226
195	0,317	0,080	0,137	0,188	0,228
196	0,320	0,081	0,139	0,188	0,228
197	0,320	0,081	0,139	0,189	0,228
198	0,322	0,081	0,139	0,191	0,228
199	0,327	0,081	0,141	0,191	0,232

200	0,332	0,082	0,142	0,192	0,236
201	0,339	0,082	0,142	0,196	0,237
202	0,345	0,083	0,145	0,196	0,237
203	0,351	0,084	0,145	0,196	0,236
204	0,352	0,084	0,145	0,196	0,235
205	0,357	0,088	0,145	0,203	0,244
206	0,359	0,088	0,144	0,198	0,245
207	0,367	0,088	0,146	0,199	0,245
208	0,374	0,088	0,146	0,199	0,243
209	0,378	0,090	0,152	0,203	0,244
210	0,381	0,091	0,160	0,206	0,247
211	0,406	0,101	0,170	0,221	0,276
212	0,438	0,109	0,189	0,239	0,306
213	0,482	0,129	0,219	0,277	0,335
214	0,711	0,338	0,444	0,510	0,568
215	1,049	0,503	0,774	0,848	0,886
216	1,388	0,505	0,943	1,187	1,225
217	1,726	0,478	1,030	1,526	1,541
218	2,065	0,465	1,059	1,727	1,879
219	2,403	0,436	1,036	1,752	2,218
220	2,742	0,419	0,992	1,771	2,472
221	3,000	0,410	0,927	1,676	2,549
222	2,300	0,383	0,839	1,359	1,961
223	2,082	0,369	0,795	1,223	1,738
224	2,077	0,359	0,773	1,169	1,691
225	2,127	0,353	0,758	1,144	1,690
226	2,222	0,350	0,743	1,126	1,694
227	2,346	0,343	0,724	1,103	1,695
228	2,494	0,340	0,707	1,075	1,694
229	2,631	0,333	0,686	1,049	1,675
230	2,686	0,321	0,664	1,016	1,629
231	2,683	0,310	0,640	0,976	1,563
232	2,639	0,300	0,614	0,935	1,496
233	2,586	0,290	0,586	0,890	1,422
234	2,565	0,279	0,558	0,845	1,351
235	2,554	0,268	0,529	0,800	1,279
236	2,539	0,256	0,502	0,755	1,206
237	2,521	0,246	0,474	0,712	1,134
238	2,514	0,237	0,447	0,669	1,065
239	2,513	0,227	0,420	0,629	0,997
240	2,523	0,215	0,395	0,586	0,929
241	2,607	0,210	0,370	0,547	0,863
242	2,699	0,203	0,350	0,513	0,808

243	2,731	0,197	0,333	0,483	0,760
244	2,727	0,189	0,313	0,451	0,706
245	2,720	0,179	0,291	0,420	0,654
246	2,775	0,175	0,274	0,396	0,608
247	2,842	0,170	0,261	0,371	0,569
248	2,851	0,165	0,249	0,351	0,533
249	2,807	0,158	0,235	0,332	0,498
250	2,715	0,155	0,223	0,313	0,468
251	2,697	0,150	0,216	0,299	0,442
252	2,689	0,147	0,210	0,286	0,420
253	2,680	0,145	0,203	0,272	0,400
254	2,629	0,141	0,194	0,260	0,377
255	2,612	0,140	0,184	0,250	0,359
256	2,611	0,140	0,182	0,243	0,345
257	2,620	0,138	0,180	0,235	0,330
258	2,647	0,137	0,173	0,231	0,318
259	2,702	0,135	0,171	0,226	0,311
260	2,751	0,133	0,171	0,221	0,305
261	2,737	0,132	0,168	0,214	0,295
262	2,663	0,131	0,165	0,211	0,286
263	2,591	0,131	0,163	0,207	0,280
264	2,536	0,130	0,159	0,205	0,274
265	2,483	0,130	0,158	0,204	0,271
266	2,451	0,130	0,157	0,202	0,266
267	2,414	0,129	0,154	0,198	0,263
268	2,374	0,128	0,154	0,197	0,261
269	2,332	0,128	0,152	0,195	0,256
270	2,292	0,126	0,149	0,193	0,253
271	2,261	0,126	0,149	0,190	0,251
272	2,224	0,126	0,149	0,190	0,248
273	2,178	0,125	0,148	0,188	0,245
274	2,132	0,125	0,146	0,187	0,243
275	2,088	0,125	0,146	0,186	0,241
276	2,049	0,124	0,146	0,185	0,240
277	2,013	0,124	0,146	0,185	0,240
278	1,976	0,124	0,146	0,185	0,239
279	1,941	0,124	0,145	0,185	0,239
280	1,905	0,124	0,145	0,185	0,238
281	1,873	0,123	0,145	0,183	0,234
282	1,845	0,124	0,143	0,181	0,232
283	1,817	0,124	0,142	0,180	0,229
284	1,787	0,123	0,142	0,180	0,227
285	1,759	0,122	0,138	0,176	0,226

286	1,737	0,122	0,138	0,176	0,226
287	1,714	0,122	0,138	0,176	0,226
288	1,690	0,122	0,138	0,175	0,223
289	1,668	0,122	0,138	0,172	0,220
290	1,652	0,122	0,138	0,172	0,220
291	1,635	0,121	0,137	0,171	0,219
292	1,615	0,121	0,137	0,171	0,218
293	1,600	0,121	0,137	0,172	0,218
294	1,585	0,121	0,136	0,171	0,218
295	1,567	0,121	0,133	0,171	0,215
296	1,552	0,121	0,133	0,169	0,214
297	1,534	0,121	0,133	0,167	0,212
298	1,520	0,121	0,133	0,167	0,211
299	1,499	0,120	0,130	0,165	0,210
300	1,483	0,119	0,130	0,165	0,209

## Anexos G: Experimentos de cinética de flotación a escala de laboratorio

### 1. Obtención de la recuperación intrínseca y la constante de flotabilidad

En esta sección se presentan los ajustes logrados con los modelos García-Zúñiga, Klimpel y Kelsall modificado, contrastados con la curva obtenida de forma experimental.

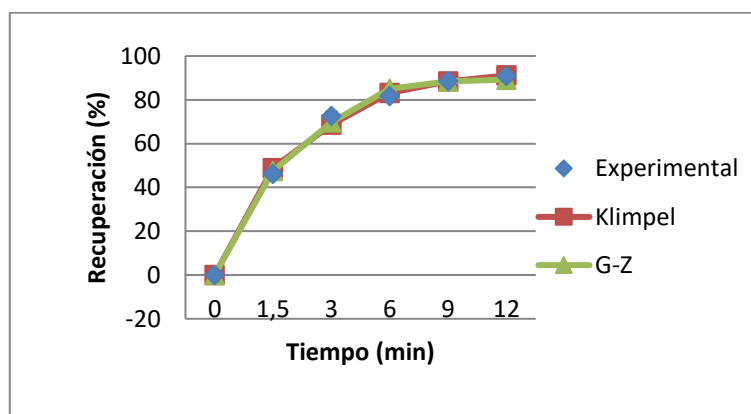


Figura 108: Cinética de flotación etapa *Rougher*, para el Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

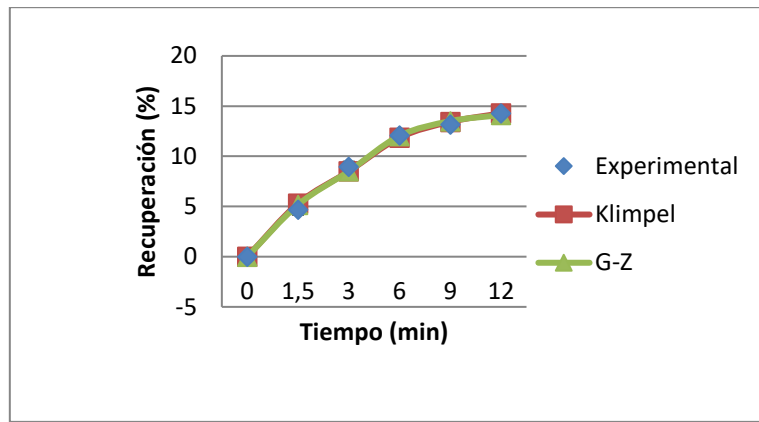


Figura 109: Cinética de flotación etapa *Rougher*, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

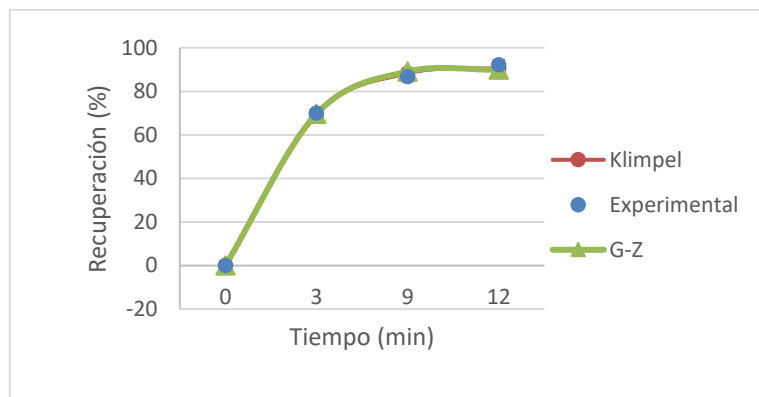


Figura 110: Cinética de flotación etapa 1° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

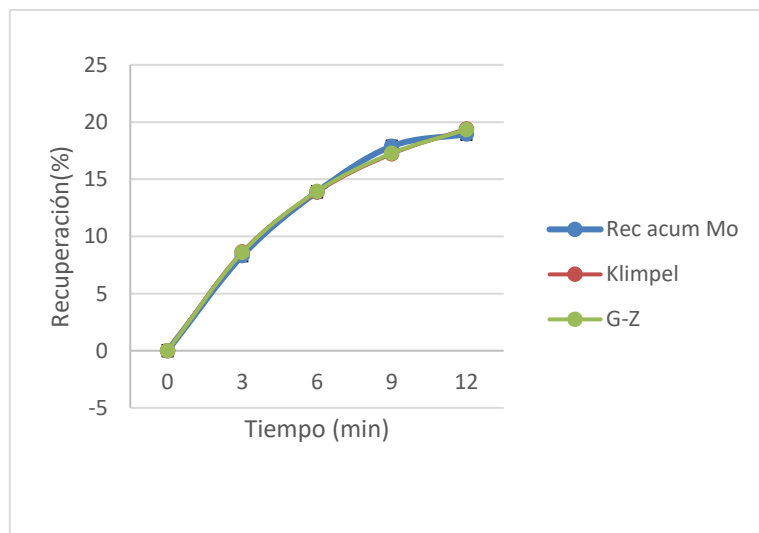


Figura 111: Cinética de flotación etapa 1° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado



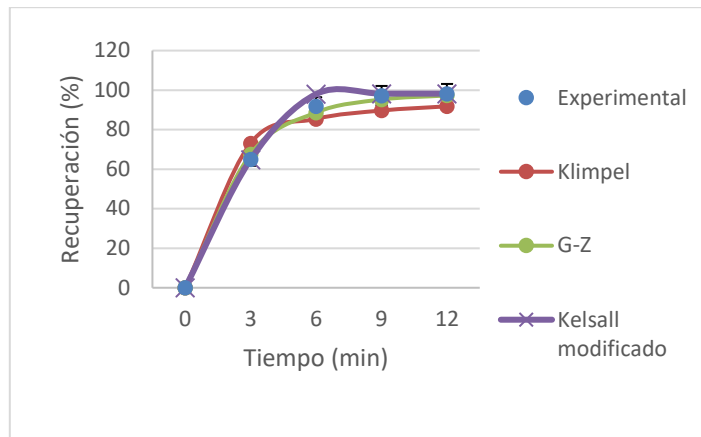


Figura 112: Cinética de flotación etapa 2° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

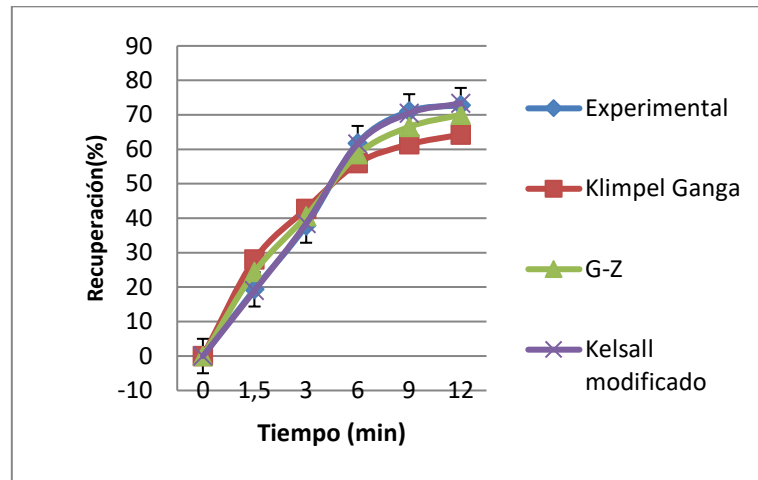


Figura 113: Cinética de flotación etapa 2° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

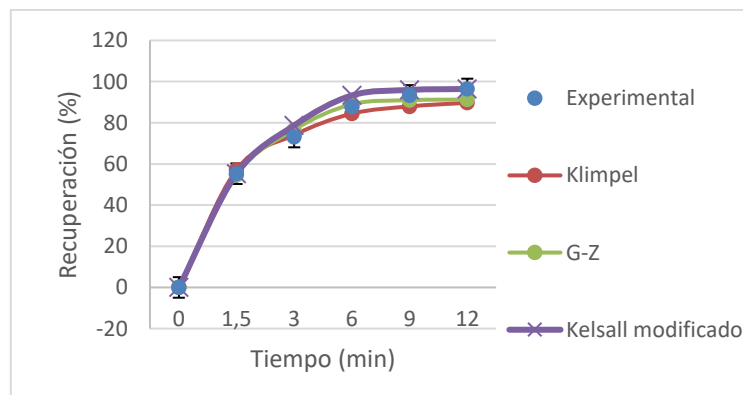


Figura 114: Cinética de flotación etapa 5° limpieza, Mo. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

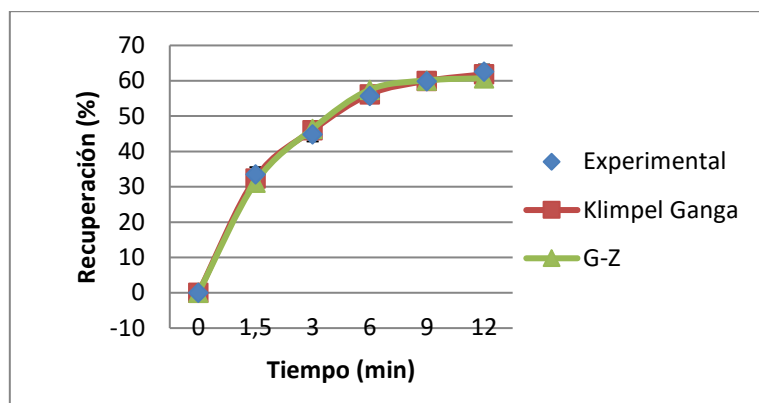


Figura 115: Cinética de flotación etapa 5° limpieza, ganga. Considerando el modelo de Klimpel, García Zúñiga y los valores experimentales con el respectivo error asociado.

## 2. Componentes de flotabilidad

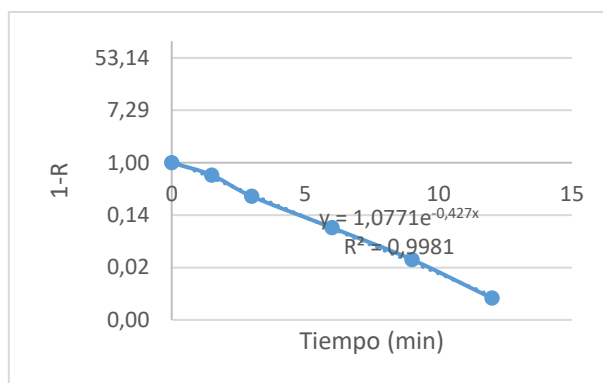


Figura 116: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa *Rougher*.

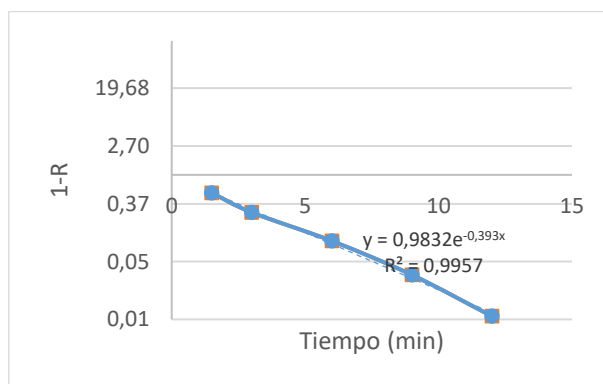


Figura 117: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza.

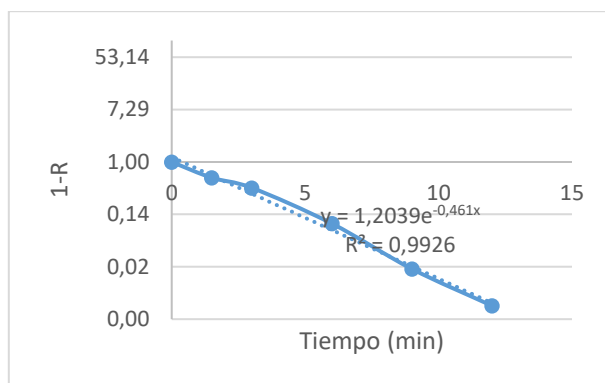


Figura 118: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza.

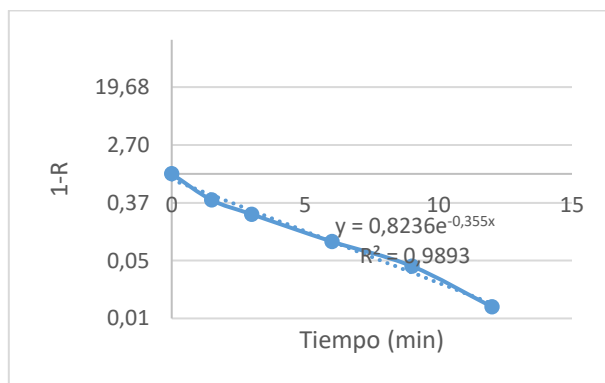


Figura 119: Promedio de los resultados obtenidos para la cinética de flotación de la etapa 3° limpieza.

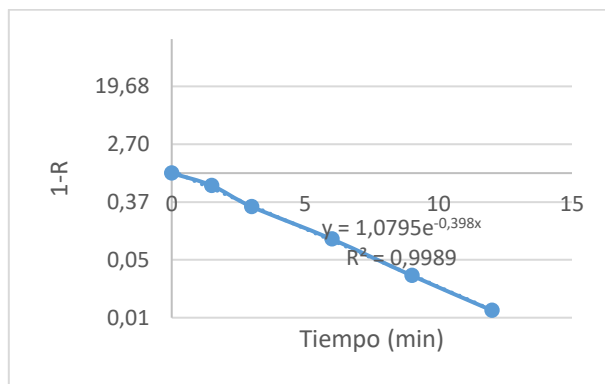


Figura 120: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa *Rougher*, prueba 1.

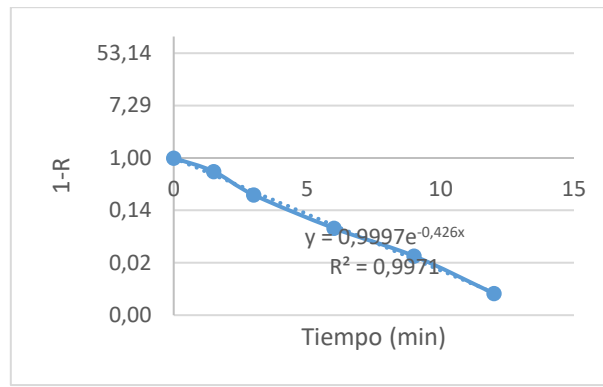


Figura 121: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa *Rougher*, prueba 2.

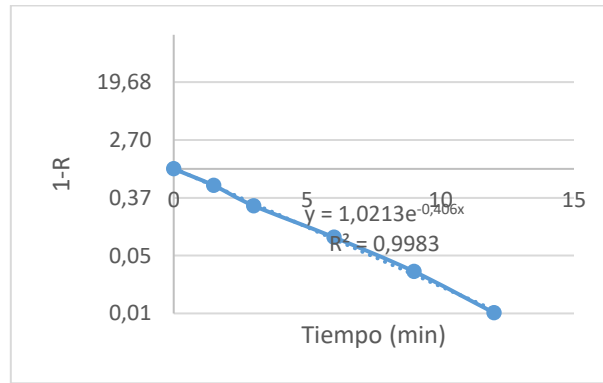


Figura 122: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza, prueba 1.

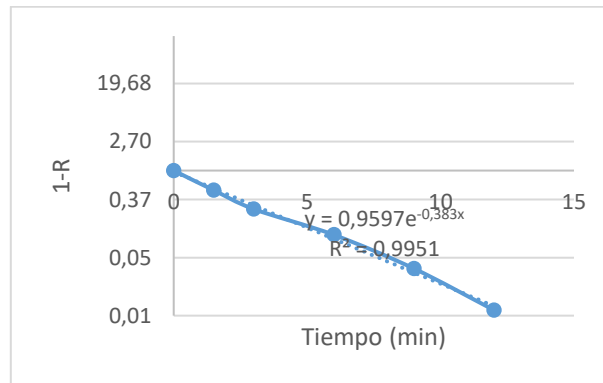


Figura 123: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 1° limpieza, prueba 2.

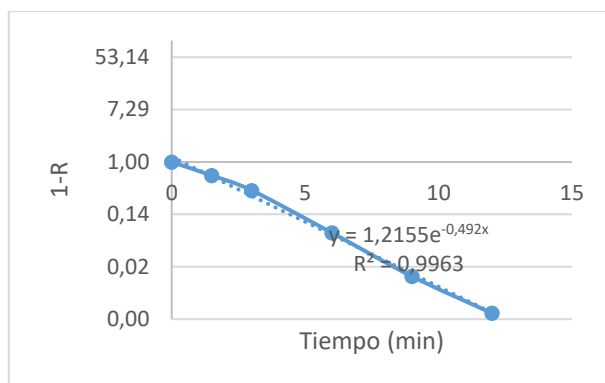


Figura 124: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza, prueba 1.

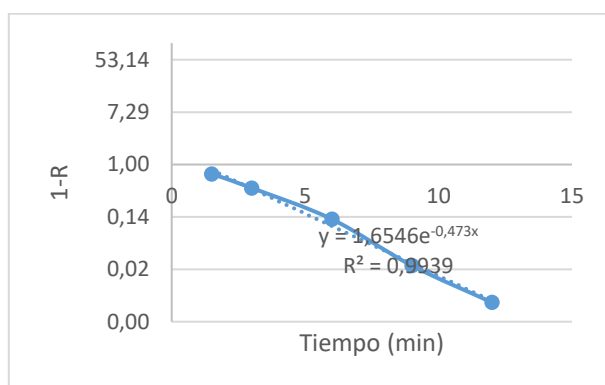


Figura 125: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 2° limpieza, prueba 2.

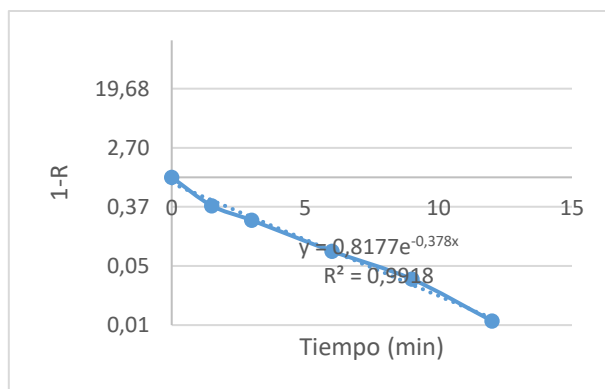


Figura 126: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 5° limpieza, prueba 1.

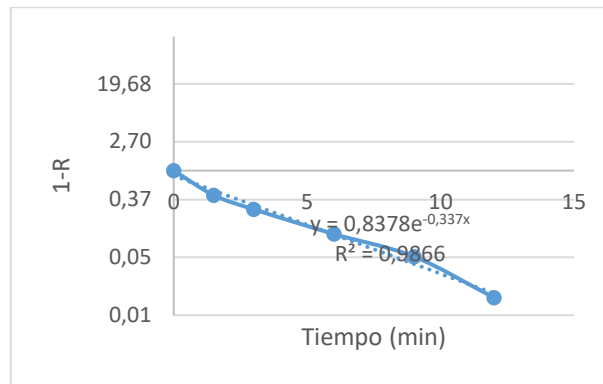


Figura 127: Valor de 1-R en el tiempo para la cinética de flotación de la etapa 5° limpieza, prueba 2.

Tabla 117: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa *Rougher*, prueba 1.

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,08	1,00	0,07	7,365
1,5	0,59	0,65	0,06	5,912
3	0,33	0,32	0,01	1,126
6	0,10	0,10	0,00	0,458
9	0,03	0,03	0,00	0,042
12	0,01	0,01	0,00	0,015

Tabla 118: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa *Rougher*, prueba 2.

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,10	1,00	0,10	10,00
1,5	0,58	0,60	0,02	1,91
3	0,31	0,25	0,06	5,94
6	0,09	0,07	0,02	1,55
9	0,02	0,02	0,00	0,05
12	0,01	0,01	0,00	0,07

Tabla 119: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa *Rougher*, promedio.

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,08	1,00	0,08	7,71
1,5	0,57	0,63	0,06	5,87
3	0,30	0,28	0,02	1,95
6	0,08	0,09	0,00	0,20
9	0,02	0,03	0,00	0,24
12	0,01	0,01	0,00	0,05

**Tabla 120: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, prueba 1.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,02	1,00	0,02	2,13
1,5	0,56	0,57	0,01	1,03
3	0,30	0,28	0,02	2,06
6	0,09	0,10	0,01	0,63
9	0,03	0,03	0,00	0,30
12	0,01	0,01	0,00	0,07

**Tabla 121: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, prueba 2.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	0,96	1,00	0,04	4,03
1,5	0,54	0,51	0,03	3,05
3	0,30	0,27	0,04	3,66
6	0,10	0,11	0,01	1,44
9	0,03	0,03	0,00	0,44
12	0,01	0,01	0,00	0,12

**Tabla 122: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 1° Limpieza, promedio.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	0,98	1,00	0,02	1,68
1,5	0,55	0,54	0,01	0,75
3	0,30	0,27	0,03	2,78
6	0,09	0,10	0,01	1,02
9	0,03	0,03	0,00	0,36
12	0,01	0,01	0,00	0,10

**Tabla 123: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, prueba 1.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,22	1,00	0,22	21,55
1,5	0,58	0,54	0,04	4,33
3	0,28	0,27	0,00	0,32
6	0,06	0,10	0,04	3,97
9	0,01	0,03	0,02	1,77
12	0,00	0,01	0,00	0,45

**Tabla 124: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, prueba 2.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,65	1,00	0,65	65,40
1,5	0,81	0,70	0,11	11,14
3	0,40	0,41	0,01	1,05
6	0,10	0,13	0,03	2,92
9	0,02	0,02	0,00	0,17
12	0,01	0,01	0,00	0,03

**Tabla 125: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 2° Limpieza, promedio.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	1,20	1,00	0,20	20,39
1,5	0,60	0,55	0,05	5,26
3	0,30	0,38	0,07	7,34
6	0,08	0,10	0,02	2,12
9	0,02	0,02	0,00	0,16
12	0,00	0,00	0,00	0,05

**Tabla 126: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, prueba 1.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	0,82	1,00	0,18	18,23
1,5	0,46	0,39	0,08	7,83
3	0,26	0,24	0,03	2,73
6	0,08	0,08	0,00	0,08
9	0,03	0,03	0,01	0,54
12	0,01	0,01	0,00	0,07

**Tabla 127: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, prueba 2.**

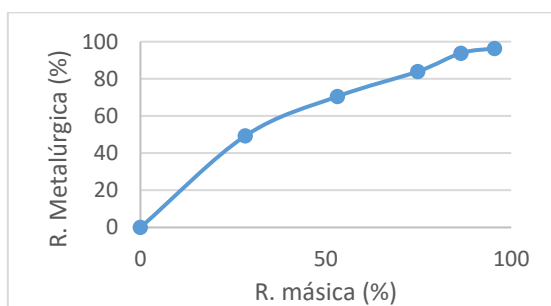
Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	0,84	1,00	0,16	16,22
1,5	0,51	0,43	0,08	7,57
3	0,30	0,26	0,04	4,06
6	0,11	0,11	0,00	0,24
9	0,04	0,05	0,01	1,19
12	0,01	0,01	0,00	0,19



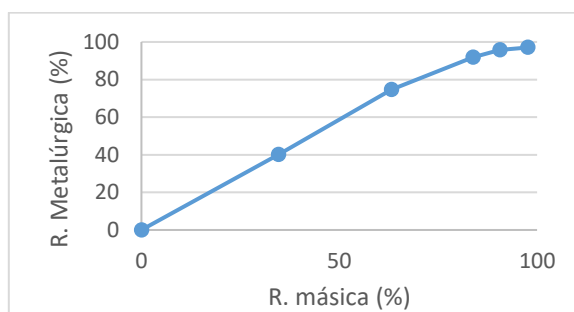
**Tabla 128: Diferencia entre el valor teórico y experimental de 1-R, para la etapa 5° Limpieza, promedio.**

Tiempo (min)	1-R teórico	1-R experimental	Diferencia	Diferencia (%)
0	0,82	1,00	0,18	17,64
1,5	0,48	0,41	0,08	7,72
3	0,28	0,25	0,03	3,46
6	0,10	0,10	0,00	0,00
9	0,03	0,04	0,01	0,83
12	0,01	0,01	0,00	0,12

### 3. Recuperación metalúrgica y recuperación másica



**Figura 128: Recuperación v/s recuperación metalúrgica etapa rougher prueba 1.**



**Figura 129: Recuperación v/s recuperación metalúrgica etapa rougher prueba 2.**

#### 4. Curvas de recuperación y ley

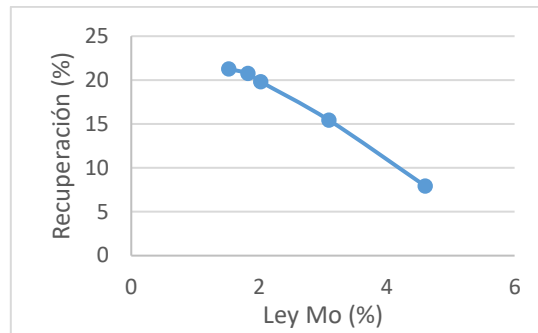


Figura 130: Curva de recuperación v/s ley, cinética *Rougher*, prueba 1.

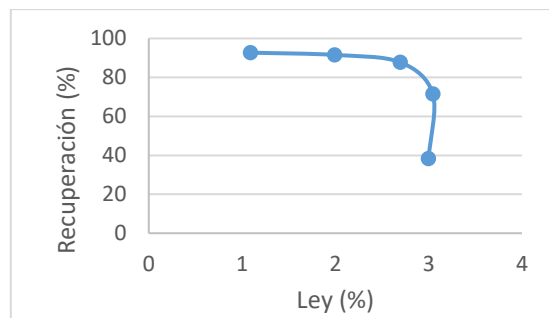


Figura 131: Curva de recuperación v/s ley, cinética *Rougher*, prueba 2.

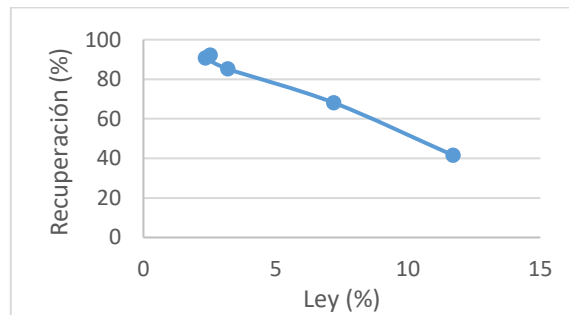


Figura 132: Curva de recuperación v/s ley, cinética 1° limpieza, prueba 1.

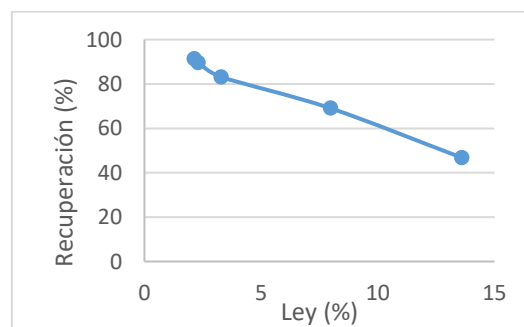
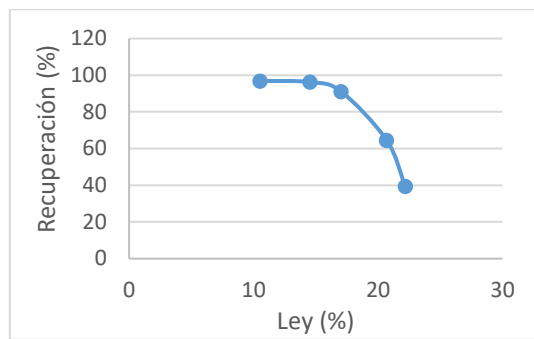
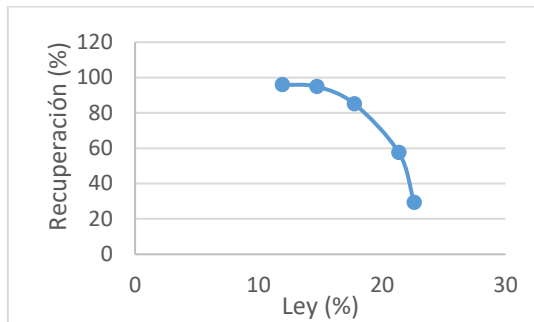


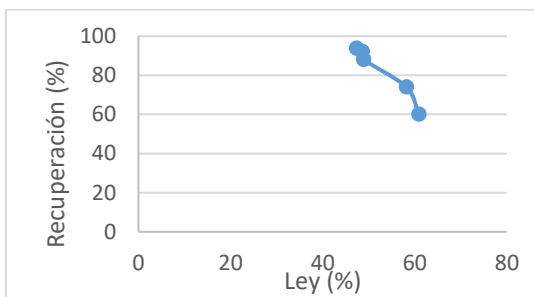
Figura 133: Curva de recuperación v/s ley, cinética 1° limpieza, prueba 2



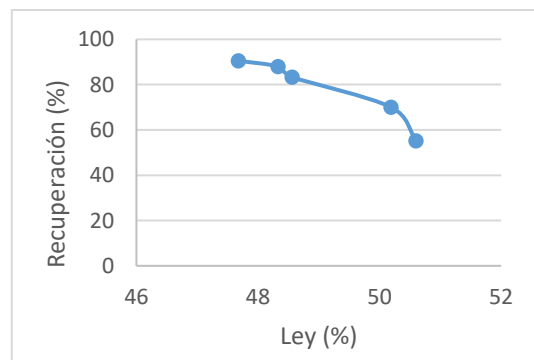
**Figura 134: Curva de recuperación v/s ley, cinética 2° limpieza, prueba 1.**



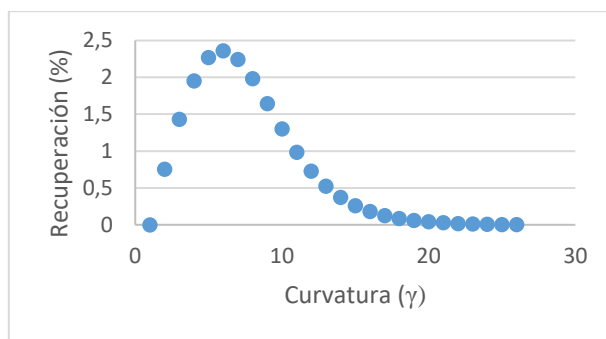
**Figura 135: Curva de recuperación v/s ley, cinética 2° limpieza, prueba 2.**



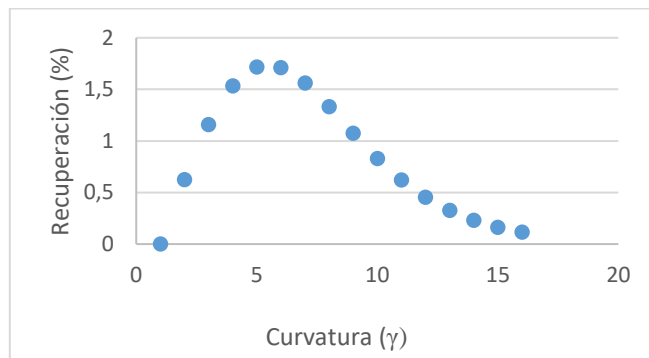
**Figura 136: Curva de recuperación v/s ley, cinética 5° limpieza, prueba 1.**



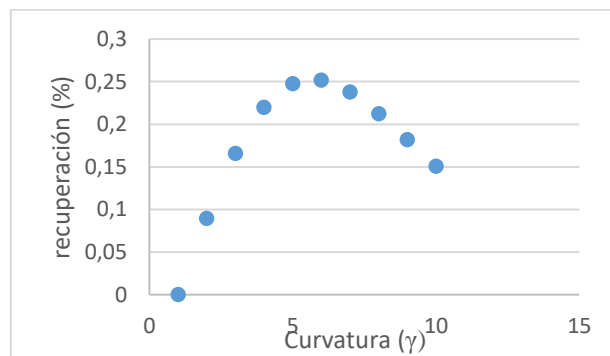
**Figura 137: Curva de recuperación v/s ley, cinética 5° limpieza, prueba 2.**



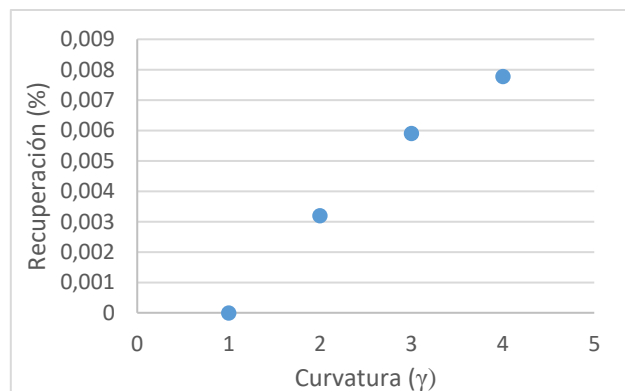
**Figura 138: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa Rougher.**



**Figura 139: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 1° Limpieza.**



**Figura 140: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 2° Limpieza.**



**Figura 141: Curva de recuperación v/s curvatura (razón de enriquecimiento), etapa 5° Limpieza.**

## Anexos L: Simulaciones

### 1. Caso base

#### 1.1 Sin modificaciones

Tabla 129: Resultado simulación caso base sin modificaciones.

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% Molibdenita	% Ganga	% Mo	Fino Mo tph	% <i>Solids</i>	<i>Solids</i> SG	<i>Pulp</i> SG
Flujo A. 3°L	34,4	51,9	27,1	72,9	16,2	5,6	39,9	3,1	1,4
Flujo A. Columna 3	17,2	25,9	27,1	72,9	16,2	2,8	39,9	3,1	1,4
Flujo A. Columna 4	17,2	25,9	27,1	72,9	16,2	2,8	39,9	3,1	1,4
Flujo conc. columna 3	5,7	3,6	58,8	41,2	35,3	2,0	61,5	3,5	1,8
Flujo conc. columna 4	5,7	3,6	58,9	41,1	35,3	2,0	61,6	3,5	1,8
Flujo cola columna 3	11,5	22,4	11,3	88,7	6,8	0,8	34,0	2,9	1,3
Flujo cola columna 4	11,5	22,4	11,4	88,7	6,8	0,8	33,9	2,9	1,3
F Conc, Columna 6	10,2	2,1	63,0	37,0	37,8	3,9	82,7	3,5	2,5
Flujo cola columna 6	1,2	5,0	23,0	77,0	13,8	0,2	19,1	3,0	1,2

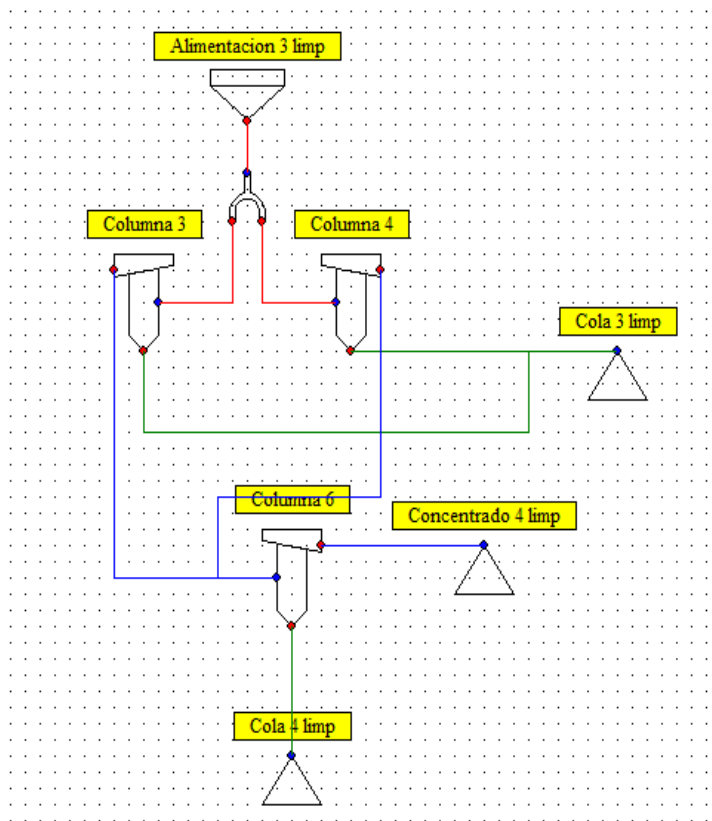


Figura 142: Diagrama de flujos caso base

## 1.2 Aumento de la ley a un 35%

Tabla 130: Resultado simulación caso base aumentando la ley a un 35%, sin variar el tonelaje de sólido.

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% Molibdenita	% Ganga	Mo (%)	Fino Mo TPH	% <i>Solids</i>	<i>Solids</i> SG	<i>Pulp</i> SG
Flujo A. 3°L	34,4	51,9	35,0	65,0	21,0	7,2	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 3	17,2	25,9	35,0	65,0	21,0	3,6	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 4	17,2	25,9	35,0	65,0	21,0	3,6	39,9	3,2	1,4
Flujo conc. columna 3	6,4	3,6	67,5	32,5	40,5	2,6	64,3	3,6	1,9
Flujo conc. columna 4	6,4	3,6	67,5	32,5	40,5	2,6	64,4	3,6	1,9
Flujo cola columna 3	10,8	22,4	15,6	84,4	9,4	1,0	32,5	3,0	1,3
Flujo cola columna 4	10,8	22,4	15,6	84,4	9,4	1,0	32,5	3,0	1,3
F conc. columna 6	11,7	2,1	71,2	28,9	42,7	5,0	84,6	3,7	2,6
Flujo cola columna 6	1,2	5,0	30,2	69,9	18,1	0,2	18,8	3,1	1,2

**Tabla 131: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, sin variar el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	72,01	37,35	1,93
4° Limpieza	96,01	91,05	1,05
Global	69,14	34,01	2,03

**Tabla 132; Resultado Simulaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	% Mo	Fino Mo TPH	% Solids	Solids SG	Pulp SG
Flujo A. 3°L	60,0	90,5	35,0	65,0	21,0	12,6	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 3	30,0	45,2	35,0	65,0	21,0	6,3	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 4	30,0	45,2	35,0	65,0	21,0	6,3	39,9	3,2	1,4
Flujo conc. columna 3	11,2	6,2	67,5	32,5	40,5	4,5	64,2	3,6	1,9
Flujo conc. columna 4	11,2	6,2	67,5	32,5	40,5	4,5	64,3	3,6	1,9
Flujo cola columna 3	18,9	39,0	15,8	84,2	9,5	1,8	32,6	3,0	1,3
Flujo cola columna 4	18,9	39,1	15,8	84,2	9,5	1,8	32,6	3,0	1,3
Flujo Conc. columna 6	20,3	3,7	71,2	28,8	42,7	8,7	84,5	3,7	2,6
Flujo cola columna 6	2,0	8,7	30,7	69,3	18,4	0,4	19,0	3,1	1,2

**Tabla 133: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	71,66	37,17	1,93
4° limpieza	95,84	90,85	1,06

Global	68,68	33,77	2,03
--------	-------	-------	------

**Tabla 134: Resultado Simulaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo tph	% <i>Solids</i>	<i>Solids</i> SG	<i>Pulp</i> SG
Flujo A. 3°L	24,0	36,2	35,0	65,0	21,0	5,0	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 3	12,0	18,1	35,0	65,0	21,0	2,5	39,9	3,2	1,4
Flujo A. Columna 4	12,0	18,1	35,0	65,0	21,0	2,5	39,9	3,2	1,4
Flujo conc. columna 3	4,5	2,5	67,4	32,6	40,5	1,8	64,3	3,6	1,9
Flujo conc. columna 4	4,5	2,5	67,5	32,5	40,5	1,8	64,5	3,6	1,9
Flujo cola columna 3	7,5	15,6	15,6	84,4	9,4	0,7	32,5	3,0	1,3
Flujo cola columna 4	7,5	15,6	15,6	84,4	9,4	0,7	32,5	3,0	1,3
Flujo conc. columna 6	8,2	1,5	71,1	28,9	42,7	3,5	84,6	3,7	2,6
Flujo cola columna 6	0,8	3,5	29,8	70,2	17,9	0,1	18,7	3,1	1,2

**Tabla 135: Resultado recuperaciones, caso base aumentando la ley a un 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	72,10	37,42	1,93
4° Limpieza	96,05	91,09	1,05
Global	69,26	34,08	2,03

### 1.3 Disminución de la ley a un 12%

**Tabla 136: Resultado Simulación, caso base disminuyendo la ley a un 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo tph	% <i>Solids</i>	<i>Solids</i> SG	<i>Pulp</i> SG
Flujo A. 3°L	34,4	51,9	23,0	77,0	13,8	4,7	39,9	3,0	1,4



Flujo A. Columna 3	17,2	25,9	23,0	77,0	13,8	2,4	39,9	3,0	1,4
Flujo A. Columna 4	17,2	25,9	23,0	77,0	13,8	2,4	39,9	3,0	1,4
Flujo conc. columna 3	5,3	3,6	53,5	46,5	32,1	1,7	59,9	3,4	1,7
Flujo conc. columna 4	5,3	3,6	53,5	46,5	32,1	1,7	60,0	3,4	1,7
Flujo cola columna 3	11,9	22,4	9,3	90,7	5,6	0,7	34,7	2,9	1,3
Flujo cola columna 4	11,9	22,4	9,3	90,7	5,6	0,7	34,7	2,9	1,3
Flujo conc. columna 6	9,5	2,1	57,8	42,3	34,7	3,3	81,6	3,5	2,4
Flujo cola columna 6	1,2	5,0	19,4	80,6	11,7	0,1	19,2	3,0	1,2

**Tabla 137: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	71,93	30,93	2,33
4° Limpieza	95,99	88,91	1,08
Global	69,05	27,50	2,51

**Tabla 138: Resultado simulaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	Water tph	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	Solids SG	Pulp SG
Flujo alimen. 3°L	60,0	90,5	23,0	77,0	13,8	8,3	39,9	3,0	1,4
Flujo alimen. Columna 3	30,0	45,2	23,0	77,0	13,8	4,1	39,9	3,0	1,4
Flujo alimen. Columna 4	30,0	45,2	23,0	77,0	13,8	4,1	39,9	3,0	1,4
Flujo conc.	9,2	6,2	53,5	46,5	32,1	3,0	59,7	3,4	1,7

columna 3									
Flujo conc. columna 4	9,2	6,2	53,5	46,5	32,1	3,0	59,9	3,4	1,7
Flujo cola columna 3	20,8	39,0	9,4	90,6	5,7	1,2	34,7	2,9	1,3
Flujo cola columna 4	20,8	39,1	9,4	90,6	5,7	1,2	34,7	2,9	1,3
Flujo conc. columna 6	16,4	3,7	57,8	42,2	34,7	5,7	81,5	3,5	2,4
Flujo cola columna 6	2,1	8,7	19,8	80,2	11,9	0,2	19,4	3,0	1,2

**Tabla 139: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° Limpieza	71,57	30,77	2,33
4° Limpieza	95,83	88,73	1,08
Global	68,61	13,65	2,51

**Tabla 140: Resultado simulaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	Solids SG	Pulp SG
Flujo alimen. 3°L	24,0	36,2	23,0	77,0	13,8	3,3	39,9	3,0	1,4
Flujo alimen. Columna 3	12,0	18,1	23,0	77,0	13,8	1,7	39,9	3,0	1,4
Flujo alimen. Columna 4	12,0	18,1	23,0	77,0	13,8	1,7	39,9	3,0	1,4
Flujo conc. columna 3	3,7	2,5	53,4	46,6	32,1	1,2	59,9	3,4	1,7
Flujo conc.	3,7	2,5	53,5	46,5	32,1	1,2	60,0	3,4	1,7

columna 4									
Flujo cola columna 3	8,3	15,6	9,3	90,7	5,6	0,5	34,7	2,9	1,3
Flujo cola columna 4	8,3	15,6	9,3	90,7	5,6	0,5	34,7	2,9	1,3
Flujo conc. columna 6	6,6	1,5	57,7	42,3	34,6	2,3	81,6	3,5	2,4
Flujo cola columna 6	0,8	3,5	19,2	80,9	11,5	0,1	19,1	3,0	1,2

Tabla 141: Resultado recuperaciones, caso base disminuyendo la ley a un 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón enriquecimiento
3° Limpieza	72,04	31,00	2,32
4° Limpieza	95,93	88,84	1,08
Global	69,11	27,54	2,51

## 2. Columna Corta

### 2.1 Sin modificaciones

Tabla 142: Resultado Simulación, caso columna corta, sin modificaciones.

STREAM	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	% Mo	Fino Mo tph	% Solids	Solids SG	Pulp SG
Flujo alimen. 3°L	34,4	51,88	27,08	72,92	16,25	5,59	39,87	3,08	1,37
Flujo alimen. Columna 3	17,2	25,94	27,08	72,92	16,25	2,79	39,87	3,08	1,37
Flujo alimen. Columna 4	17,2	25,94	27,08	72,92	16,25	2,79	39,87	3,08	1,37
Flujo conc. columna 3	5,83	3,57	65,56	34,44	39,34	2,29	62,01	3,58	1,81
Flujo conc. columna 4	5,83	3,57	65,56	34,44	39,34	2,29	62,01	3,58	1,81

Flujo Cola columna 3	11,37	22,37	7,36	92,64	4,42	0,50	33,71	2,87	1,28
Flujo cola columna 4	11,37	22,37	7,37	92,63	4,42	0,50	33,71	2,87	1,28
Flujo cola columna 6	0,55	2,5	14,78	85,22	8,87	0,05	17,92	2,95	1,13
Flujo cola columna extra	0,55	2,5	14,8	85,2	8,88	0,05	17,92	2,95	1,13
Flujo conc. columna 6	5,28	1,07	70,81	29,19	42,49	2,24	83,14	3,67	2,53
Flujo conc. columna extra	5,28	1,07	70,81	29,19	42,49	2,24	83,14	3,67	2,53

**Tabla 143: Resultado recuperaciones, caso columna corta, sin modificaciones.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	82,06	33,90	2,42
4° limpieza	97,82	90,57	1,08
Global	80,27	30,70	2,61

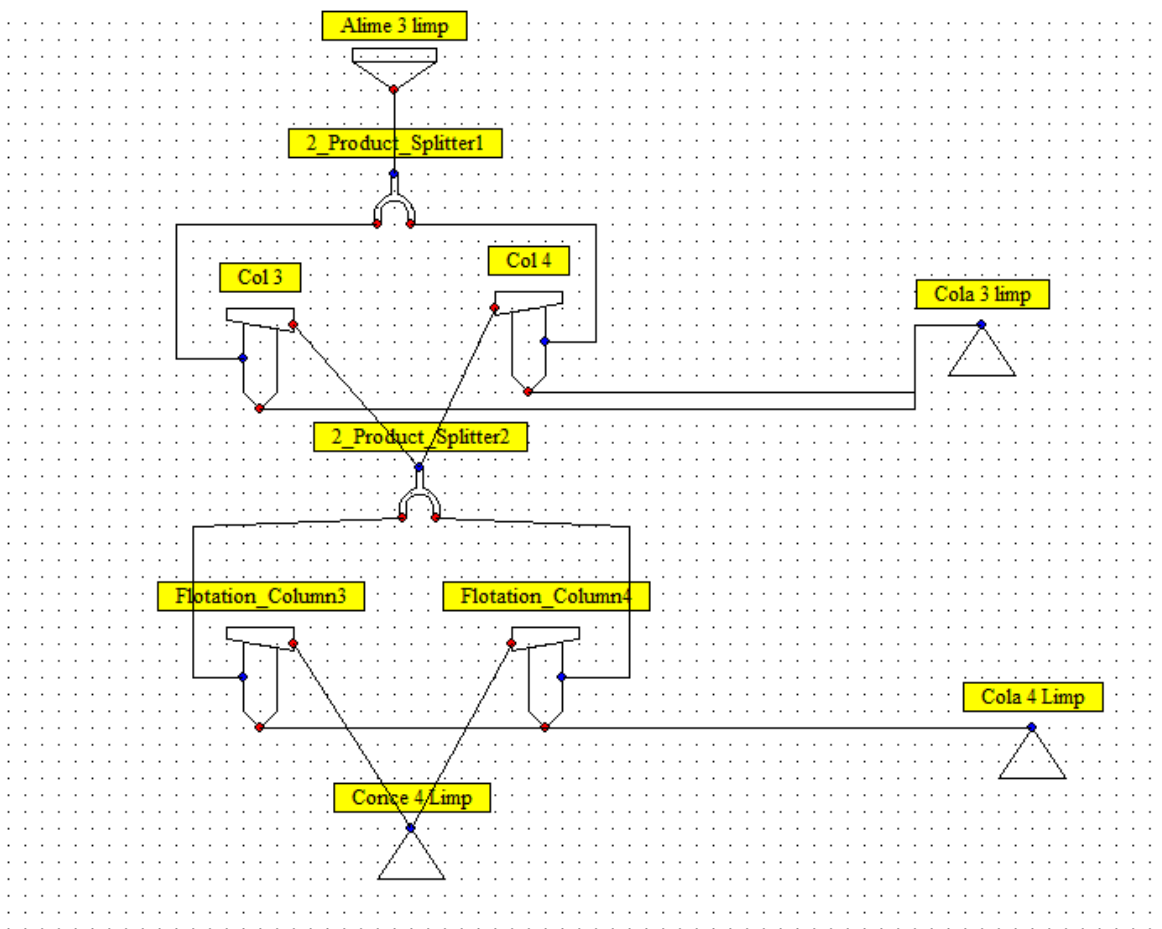


Figura 143: Diagrama de flujos caso columna corta.

## 2.2 Aumento de la ley a 35%

Tabla 144: Resultado Simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, sin aumentar el tonelaje de sólido.

STREAM	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo tph	% Solids	Solids SG
Flujo alimen. 3°L	34,4	51,9	35,0	65,0	21,0	7,2	39,9	3,2
Flujo alimen. Columna 3	17,2	25,9	35,0	65,0	21,0	3,6	39,9	3,2
Flujo alimen. Columna 4	17,2	25,9	35,0	65,0	21,0	3,6	39,9	3,2
Flujo conc. columna 3	6,7	3,6	73,4	26,6	44,0	3,0	65,3	3,7
Flujo conc.	6,7	3,6	73,4	26,6	44,0	3,0	65,3	3,7

columna 4								
Flujo Cola columna 3	10,5	22,4	10,3	89,7	6,2	0,6	31,9	2,9
Flujo cola columna 4	10,5	22,4	10,3	89,7	6,2	0,6	31,9	2,9
Flujo conc. columna 6	6,2	1,1	77,9	22,1	46,7	2,9	85,3	3,8
Flujo conc. columna extra	6,2	1,1	77,9	22,1	46,7	2,9	85,3	3,8
Flujo cola columna 6	0,5	2,5	20,1	79,9	12,0	0,1	17,2	3,0
Flujo cola columna extra	0,5	2,5	20,1	79,9	12,1	0,1	17,2	3,0

**Tabla 145: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, sin aumentar el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	28,87	39,13	2,10
4° limpieza	31,79	92,27	1,06
Global	9,18	36,10	2,22

**Tabla 146: Resultado simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	% Mo	Fino Mo tph	% Solids	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
Flujo alimen. 3°L	60,0	90,5	35,0	65,0	21,0	12,6	39,9	1,4	3,2
Flujo alimen. Columna 3	30,0	45,2	35,0	65,0	21,0	6,3	39,9	1,4	3,2
Flujo alimen. Columna 4	30,0	45,2	35,0	65,0	21,0	6,3	39,9	1,4	3,2
Flujo conc. columna 3	11,7	6,2	73,4	26,6	44,0	5,2	65,3	1,9	3,7

Flujo conc. columna 4	11,7	6,2	73,4	26,6	44,0	5,2	65,3	1,9	3,7
Flujo Cola columna 3	18,3	39,0	10,4	89,6	6,2	1,1	31,9	1,3	2,9
Flujo cola columna 4	18,3	39,0	10,4	89,6	6,2	1,1	31,9	1,3	2,9
Flujo conc. columna 6	10,8	1,9	77,9	22,1	46,7	5,1	85,3	2,7	3,8
Flujo conc. columna extra	10,8	1,9	77,9	22,1	46,7	5,1	85,3	2,7	3,8
Flujo cola columna 6	0,9	4,4	20,2	79,8	12,1	0,1	17,2	1,1	3,0
Flujo cola columna extra	0,9	4,4	20,2	79,8	12,1	0,1	17,2	1,1	3,0

**Tabla 147: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	82,07	39,07	2,10
4° limpieza	97,87	92,32	1,06
Global	80,32	36,07	2,22

**Tabla 148: Resultado simulación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo (tph)	% Solids	<i>Pulp SG</i>	<i>Solids SG</i>
Flujo alimen. 3°L	24,0	36,2	35,0	65,0	21,0	5,0	39,9	1,4	3,2
Flujo alimen. Columna 3	12,0	18,1	35,0	65,0	21,0	2,5	39,9	1,4	3,2
Flujo alimen. Columna 4	12,0	18,1	35,0	65,0	21,0	2,5	39,9	1,4	3,2
Flujo conc. columna 3	4,7	2,5	73,4	26,6	44,0	2,1	65,3	1,9	3,7
Flujo conc.	4,7	2,5	73,4	26,6	44,0	2,1	65,3	1,9	3,7

columna 4									
Flujo Cola columna 3	7,3	15,6	10,3	89,7	6,2	0,5	31,9	1,3	2,9
Flujo cola columna 4	7,3	15,6	10,3	89,7	6,2	0,5	31,9	1,3	2,9
Flujo conc. columna 6	4,3	0,8	77,9	22,1	46,7	2,0	85,3	2,7	3,8
Flujo conc. columna extra	4,3	0,8	77,9	22,1	46,7	2,0	85,3	2,7	3,8
Flujo cola columna 6	0,4	1,7	20,0	80,0	12,0	0,0	17,2	1,1	3,0
Flujo cola columna extra	0,4	1,7	20,0	80,0	12,0	0,0	17,2	1,1	3,0

**Tabla 149: Resultado recuperación, caso columna corta, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	81,97	39,08	2,10
4° limpieza	97,92	92,32	1,06
Global	80,27	36,08	2,22

## 2.4 Disminución ley 12%

**Tabla 150: Resultado simulación, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	<i>Pulp SG</i>	<i>Solids SG</i>
Flujo alimen. 3°L	34,4	51,9	23,0	77,0	13,8	4,7	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 3	17,2	25,9	23,0	77,0	13,8	2,4	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 4	17,2	25,9	23,0	77,0	13,8	2,4	39,9	1,4	3,0
Flujo conc.	5,4	3,6	60,5	39,5	36,3	1,9	60,0	1,8	3,5



columna 3									
Flujo conc. columna 4	5,4	3,6	60,5	39,5	36,3	1,9	60,0	1,8	3,5
Flujo Cola columna 3	11,8	22,4	6,0	94,0	3,6	0,4	34,6	1,3	2,9
Flujo cola columna 4	11,8	22,4	6,0	94,0	3,6	0,4	34,6	1,3	2,9
Flujo conc. columna 6	4,8	1,1	66,1	33,9	39,7	1,9	81,8	2,4	3,6
Flujo conc. columna extra	4,8	1,1	66,1	33,9	39,7	1,9	81,8	2,4	3,6
Flujo cola columna 6	0,6	2,5	12,2	87,8	7,3	0,0	18,3	1,1	2,9
Flujo cola columna extra	0,6	2,5	12,3	87,7	7,4	0,0	18,3	1,1	2,9

**Tabla 151: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, sin modificar el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	81,96	31,16	2,63
4° limpieza	97,86	89,55	1,09
Global	80,21	27,91	2,87

**Tabla 152: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	% Mo	Fino Mo	% Solids	<i>Pulp SG</i>	<i>Solids SG</i>
Flujo alimen. 3°L	60,0	90,5	23,0	77,0	13,8	8,3	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 3	30,0	45,2	23,0	77,0	13,8	4,1	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 4	30,0	45,2	23,0	77,0	13,8	4,1	39,9	1,4	3,0
Flujo conc.	9,4	6,2	60,5	39,5	36,3	3,4	60,0	1,8	3,5

columna 3									
Flujo conc. columna 4	9,4	6,2	60,5	39,5	36,3	3,4	60,0	1,8	3,5
Flujo Cola columna 3	20,7	39,0	6,0	94,0	3,6	0,7	34,6	1,3	2,9
Flujo cola columna 4	20,7	39,0	6,0	94,0	3,6	0,7	34,6	1,3	2,9
Flujo conc. columna 6	8,4	1,9	66,1	33,9	39,7	3,3	81,8	2,4	3,6
Flujo conc. columna extra	8,4	1,9	66,1	33,9	39,7	3,3	81,8	2,4	3,6
Flujo cola columna 6	1,0	4,4	12,4	87,7	7,4	0,1	18,3	1,1	2,9
Flujo cola columna extra	1,0	4,4	12,4	87,6	7,4	0,1	18,3	1,1	2,9

**Tabla 153: Resultado simulaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	81,98	31,17	2,63
4° limpieza	97,83	89,52	1,09
Global	80,19	27,90	2,87

**Tabla 154: Resultado simulaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% Molibdenita	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
Flujo alimen. 3°L	24,0	36,2	23,0	77,0	13,8	3,3	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 3	12,0	18,1	23,0	77,0	13,8	1,7	39,9	1,4	3,0
Flujo alimen. Columna 4	12,0	18,1	23,0	77,0	13,8	1,7	39,9	1,4	3,0
Flujo conc.	3,7	2,5	60,5	39,5	36,3	1,4	60,1	1,8	3,5

columna 3									
Flujo conc. columna 4	3,7	2,5	60,5	39,5	36,3	1,4	60,1	1,8	3,5
Flujo Cola columna 3	8,3	15,6	6,0	94,0	3,6	0,3	34,6	1,3	2,9
Flujo cola columna 4	8,3	15,6	6,0	94,0	3,6	0,3	34,6	1,3	2,9
Flujo conc. columna 6	3,4	0,8	66,1	33,9	39,7	1,3	81,8	2,4	3,6
Flujo conc. columna extra	3,4	0,8	66,1	33,9	39,7	1,3	81,8	2,4	3,6
Flujo cola columna 6	0,4	1,7	12,2	87,8	7,3	0,03	18,3	1,1	2,9
Flujo cola columna extra	0,4	1,7	12,2	87,8	7,3	0,03	18,3	1,1	2,9

**Tabla 155: Resultado recuperaciones, caso columna corta, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
3° limpieza	81,97	31,17	2,63
4° limpieza	97,89	89,57	1,09
Global	80,24	27,92	2,87

### 3. Celdas convencionales

#### 3.1 Sin modificaciones

**Tabla 156: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% molibdenia	% Ganga	% Mo	Fino Mo tph	% Solids	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
Flujo alim. 3°L	11,4	16,3	27,1	72,9	16,2	1,9	41,1	1,4	3,1
Flujo alim. 3°L	11,4	16,3	27,1	72,9	16,2	1,9	41,1	1,4	3,1
Flujo alim. 3°L	11,4	16,3	27,1	72,9	16,2	1,9	41,1	1,4	3,1
Flujo conc celda 1	4,3	4,2	61,3	38,8	36,8	1,6	50,7	1,6	3,5
Flujo conc celda 2	4,3	4,2	61,3	38,8	36,8	1,6	50,7	1,6	3,5

Flujo conc celda 3	4,3	4,2	61,3	38,8	36,8	1,6	50,7	1,6	3,5
Flujo cola celda 1	7,1	12,1	6,5	93,5	3,9	0,3	37,0	1,3	2,9
Flujo cola celda 2	7,1	12,1	6,5	93,5	3,9	0,3	37,0	1,3	2,9
Flujo cola celda 3	7,1	12,1	6,5	93,5	3,9	0,3	37,0	1,3	2,9

Tabla 157: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,12	37,63	2,26

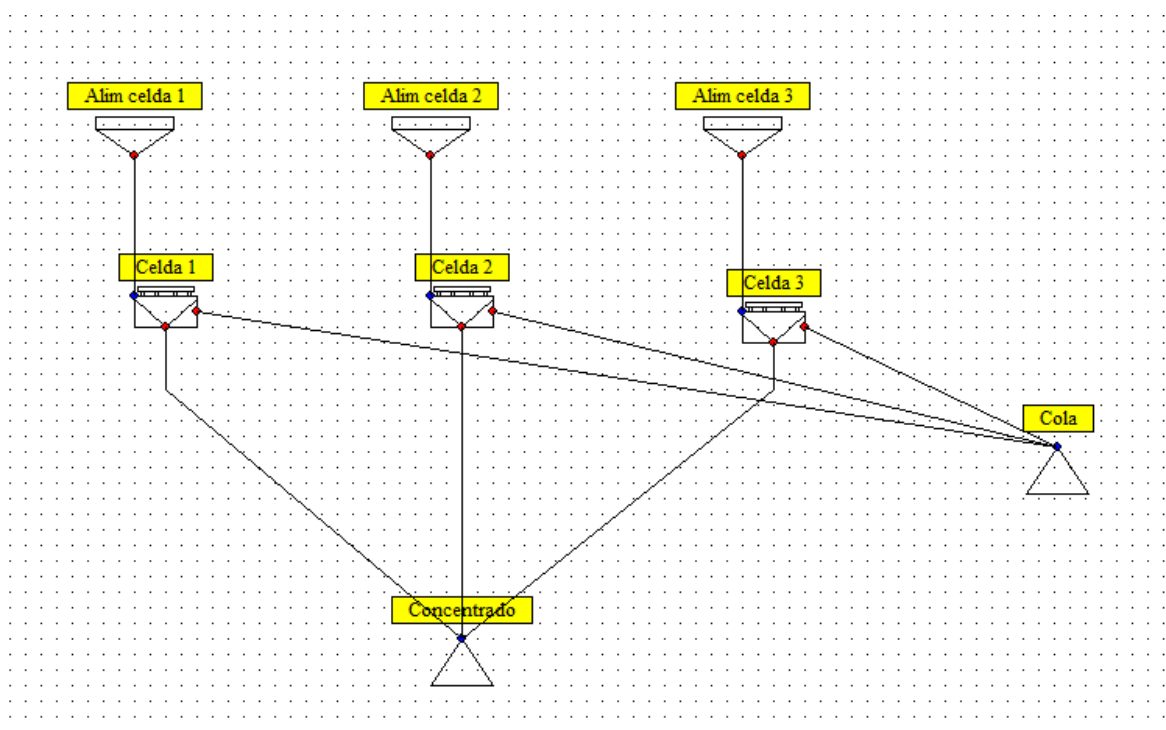


Figura 144: Diagrama de flujos caso celdas convencionales.

### 3.2 Aumento de la ley a 35%

Tabla 158: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.

STREAM	TPH Solids	TPH Water	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo (tph)	% Solids	Pulp SG	Solids SG
--------	------------	-----------	--------------	---------	-----	---------------	----------	---------	-----------

Flujo alim banco 1	11,40	16,31	35,00	65,00	21,00	2,39	41,14	1,39	3,17
Flujo alim banco 2	11,40	16,31	35,00	65,00	21,00	2,39	41,14	1,39	3,17
Flujo alim banco 3	11,40	16,31	35,00	65,00	21,00	2,39	41,14	1,39	3,17
Flujo conc celda 1	4,88	4,18	69,62	30,38	41,77	2,04	53,86	1,64	3,65
Flujo conc celda 2	4,88	4,18	69,62	30,38	41,77	2,04	53,86	1,64	3,65
Flujo conc celda 3	4,88	4,18	69,62	30,38	41,77	2,04	53,86	1,64	3,65
Flujo cola celda 1	6,52	12,13	9,10	90,90	5,46	0,36	34,97	1,30	2,89
Flujo cola celda 2	6,52	12,13	9,10	90,90	5,46	0,36	34,97	1,30	2,89
Flujo cola celda 3	6,52	12,13	9,10	90,90	5,46	0,36	34,97	1,30	2,89

**Tabla 159: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, sin modificaciones en el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,15	42,81	1,99

**Tabla 160: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
Flujo alim banco 1	20,0	28,6	35,0	65,0	21,0	4,2	41,1	1,4	3,2
Flujo alim banco 2	20,0	28,6	35,0	65,0	21,0	4,2	41,1	1,4	3,2
Flujo alim banco 3	20,0	28,6	35,0	65,0	21,0	4,2	41,1	1,4	3,2
Flujo conc celda 1	8,6	7,3	69,6	30,4	41,8	3,6	53,9	1,6	3,7
Flujo conc celda 2	8,6	7,3	69,6	30,4	41,8	3,6	53,9	1,6	3,7
Flujo conc celda 3	8,6	7,3	69,6	30,4	41,8	3,6	53,9	1,6	3,7

Flujo cola celda 1	11,4	21,3	9,1	90,9	5,5	0,6	35,0	1,3	2,9
Flujo cola celda 2	11,4	21,3	9,1	90,9	5,5	0,6	35,0	1,3	2,9
Flujo cola celda 3	11,4	21,3	9,1	90,9	5,5	0,6	35,0	1,3	2,9

**Tabla 161: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
Global	85,14	42,80	1,99

**Tabla 162: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% Solids	Solids SG	Pulp SG
Flujo alim banco 1	8,0	12,1	35,0	65,0	21,0	1,7	39,9	3,2	1,4
Flujo alim banco 2	8,0	12,1	35,0	65,0	21,0	1,7	39,9	3,2	1,4
Flujo alim banco 3	8,0	12,1	35,0	65,0	21,0	1,7	39,9	3,2	1,4
Flujo conc celda 1	3,4	3,1	69,6	30,4	41,8	1,4	52,6	3,7	1,6
Flujo conc celda 2	3,4	3,1	69,6	30,4	41,8	1,4	52,6	3,7	1,6
Flujo conc celda 3	3,4	3,1	69,6	30,4	41,8	1,4	52,6	3,7	1,6
Flujo cola celda 1	4,6	9,0	9,1	90,9	5,5	0,3	33,8	2,9	1,3
Flujo cola celda 2	4,6	9,0	9,1	90,9	5,5	0,3	33,8	2,9	1,3
Flujo cola celda 3	4,6	9,0	9,1	90,9	5,5	0,3	33,8	2,9	1,3

**Tabla 163: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, aumentando la ley a 35%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,04	42,75	1,99

### 3.3 Disminución de la ley a un 12%

**Tabla 164: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, sin variar el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% <i>Solids</i>	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
Flujo alim banco 1	11,4	16,3	23,0	77,0	13,8	1,6	41,1	1,4	3,0
Flujo alim banco 2	11,4	16,3	23,0	77,0	13,8	1,6	41,1	1,4	3,0
Flujo alim banco 3	11,4	16,3	23,0	77,0	13,8	1,6	41,1	1,4	3,0
Flujo conc celda 1	4,0	4,2	56,0	44,0	33,6	1,3	48,8	1,5	3,4
Flujo conc celda 2	4,0	4,2	56,0	44,0	33,6	1,3	48,8	1,5	3,4
Flujo conc celda 3	4,0	4,2	56,0	44,0	33,6	1,3	48,8	1,5	3,4
Flujo cola celda 1	7,4	12,1	5,3	94,7	3,2	0,2	37,9	1,3	2,9
Flujo cola celda 2	7,4	12,1	5,3	94,7	3,2	0,2	37,9	1,3	2,9
Flujo cola celda 3	7,4	12,1	5,3	94,7	3,2	0,2	37,9	1,3	2,9

**Tabla 165: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, sin variar el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,17	35,00	2,43

**Tabla 166: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH <i>Solids</i>	TPH <i>Water</i>	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo	% <i>Solids</i>	<i>Pulp</i> SG	<i>Solids</i> SG
F alim banco 1	20,0	28,6	23,0	77,0	13,8	2,8	41,1	1,4	3,0
F alim banco 2	20,0	28,6	23,0	77,0	13,8	2,8	41,1	1,4	3,0
F alim banco 3	20,0	28,6	23,0	77,0	13,8	2,8	41,1	1,4	3,0
F conc celda 1	7,0	7,3	56,0	44,0	33,6	2,3	48,8	1,5	3,4
F conc celda 2	7,0	7,3	56,0	44,0	33,6	2,3	48,8	1,5	3,4
F conc celda 3	7,0	7,3	56,0	44,0	33,6	2,3	48,8	1,5	3,4
F cola celda 1	13,0	21,3	5,3	94,7	3,2	0,4	37,9	1,3	2,9

F cola celda 2	13,0	21,3	5,3	94,7	3,2	0,4	37,9	1,3	2,9
F cola celda 3	13,0	21,3	5,3	94,7	3,2	0,4	37,9	1,3	2,9

**Tabla 167: Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, aumentando el tonelaje de sólido.**

	Recuperación Metalúrgica	Recuperación en peso	Razón de enriquecimiento
Global	85,05	34,95	2,43

**Tabla 168 : Resultado simulaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

<i>STREAM</i>	TPH Solids	TPH Water	% molibdenia	% Ganga	%Mo	Fino Mo(tph)	% Solids	Solids SG	Pulp SG
	Sim	Sim	Sim	Sim			Sim	Sim	Sim
F alim banco 1	8,0	12,1	23,0	77,0	13,8	1,1	39,9	3,0	1,4
F alim banco 2	8,0	12,1	23,0	77,0	13,8	1,1	39,9	3,0	1,4
F alim banco 3	8,0	12,1	23,0	77,0	13,8	1,1	39,9	3,0	1,4
F conc celda 1	2,8	3,1	56,0	44,0	33,6	0,9	47,5	3,4	1,5
F conc celda 2	2,8	3,1	56,0	44,0	33,6	0,9	47,5	3,4	1,5
F conc celda 3	2,8	3,1	56,0	44,0	33,6	0,9	47,5	3,4	1,5
F cola celda 1	5,2	9,0	5,3	94,7	3,2	0,2	36,7	2,9	1,3
F cola celda 2	5,2	9,0	5,3	94,7	3,2	0,2	36,7	2,9	1,3
F cola celda 3	5,2	9,0	5,3	94,7	3,2	0,2	36,7	2,9	1,3

**Tabla 169: Resultado recuperaciones, caso celdas convencionales, disminuyendo la ley a 12%, disminuyendo el tonelaje de sólido.**

	Recuperación metalúrgica (%)	Recuperación en peso (%)	Razón de enriquecimiento
Global	85,17	35,00	2,43



#### 4. Evaluación de las alternativas simuladas

Tabla 170: Ganancia anual caso base, para todas las variaciones de leyes y flujos analizadas.

Caso base						
		Fino (tph)	Fino al año	Fino 5° Limpieza. (tph)	Fino 5° Limpieza. (t/año)	Ganancia al año (MUS\$)
Sin modificaciones		3,90	34164,00	3,06	26818,74	367,76
Ley 35%	Sin variar tonelaje	5,00	43800,00	3,93	34383,00	471,49
	Aumentar a 60 tph	9,70	84972,00	7,61	66703,02	914,69
	Disminuir a 24 tph	3,50	30660,00	2,75	24068,10	330,04
Ley a 12%	Sin variar tonelaje	3,30	28908,00	2,59	22692,78	311,18
	Aumentar a 60 tph	5,70	49932,00	4,47	39196,62	537,50
	Disminuir a 24 tph	2,30	20148,00	1,81	15816,18	216,88

Tabla 171: Ganancia anual Columna Corta, para todas las leyes y flujos analizadas.

Columna Corta						
		Fino (tph)	Fino al año	Fino 5° Limpieza. (tph)	Fino 5° Limpieza. (t/año)	Beneficio al año (MUS\$)
Sin modificaciones		4,48	39244,80	3,52	30807,17	422,45
	Sin variar tonelaje	5,80	50808,00	4,55	39884,28	546,93
Ley 35%	Aumentar a 60 tph	10,20	89352,00	8,01	70141,32	961,83
	Disminuir a 24 tph	4,00	35040,00	3,14	27506,40	377,19
	Sin variar tonelaje	3,80	33288,00	2,98	26131,08	358,33
Ley a 12%	Aumentar a 60 tph	6,60	57816,00	5,18	45385,56	622,36
	Disminuir a 24 tph	2,60		2,04	17879,16	245,17

**Tabla 172: Ganancia anual Celdas convencionales, para cada una de las leyes y flujos analidos.**

Celdas convencionales						
	Fino (tph)	Fino al año	Fino 5° Limpieza (tph)	Fino 5° Limpieza año	Beneficio al año (MUS\$)	Fino (tph)
Sin modificaciones		4,80	42048,00	3,77	33007,68	452,63
	Sin variar tonelaje	6,12	53611,20	4,80	42084,79	577,10
Ley 35%	Aumentar a 60 tph	10,80	94608,00	8,48	74267,28	1018,41
	Disminuir a 24 tph	4,20	36792,00	3,30	28881,72	396,05
	Sin variar tonelaje	3,90	34164,00	3,06	26818,74	367,76
Ley a 12%	Aumentar a 60 tph	6,90	60444,00	5,42	47448,54	650,65
	Disminuir a 24 tph	2,70	23652,00	2,12	18566,82	254,60