

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
QUÍMICO

**“FACTIBILIDAD TÉCNICA DE REACTIVOS
ALTERNATIVOS EN FLOTACIÓN DE
MOLIBDENITA A NIVEL DE LABORATORIO”**

**PLANTA MOLIBDENO
DIVISIÓN SALVADOR – CODELCO CHILE**

Danisa Urrutia Contreras

Profesor Guía:
Alvaro Aracena Caipa

2015

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han brindado su apoyo y amor durante toda mi vida.

A mi sobrino, Alonso, quien nació al culminar esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Waldo y Elcira, por su esfuerzo y la confianza que tuvieron en mí, sin ellos no podría haber avanzado en este largo camino. Gracias por entregarme los valores y por estar conmigo siempre, sin duda son el pilar fundamental en mi vida.

A mi hermano que desde siempre me ha enseñado que con paciencia y perseverancia todos los sueños se pueden lograr. Gracias por el apoyo incondicional, por celebrar conmigo cada uno de mis logros y sobre todo por ayudar a levantarme en los malos momentos.

A Francisco, mi pololo, llegaste en la mitad de esta etapa pero sin duda fuiste un gran apoyo cuando estuve lejos de casa, siempre estuviste dispuesto a escuchar, aguantar y a acompañarme en todas. Contigo compartí mis triunfos y fracasos y espero seguir compartiéndolos. Gracias por tu amor, paciencia, por haber estado en los momentos difíciles y por apoyarme cuando más lo necesitaba.

A mis amigos de la Universidad por formar parte de mi familia durante todos estos años, por todas esas sonrisas, carretes y noches de estudio. Marce, Claudia, Cata, Diana, Mauro, Cristóbal, Nico y Koke gracias por estar siempre y recorrer juntos este difícil pero entretenido camino.

A mi querida amiga Fernanda por estar siempre a pesar de la distancia, gracias por tus consejos, por contagiarme tu alegría y por cada momento vivido.

A mis compañeros de Laboratorio Metalúrgico Sulfuros, por ayudarme y tener siempre la disposición de enseñarme y lo más importante por incluirme en su grupo de trabajo y amigos.

Agradezco a Eduardo Guevara, Jorge Aguilar, Fernando Álvarez y operadores de Planta Moly, por haberme dado la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y por el apoyo constante durante el desarrollo de esta memoria.

Finalmente quiero agradecer a mi profesor guía Álvaro Aracena, por sus consejos, paciencia y disposición. Gracias por haber compartido conmigo sus conocimientos y guiarme en la realización de este proyecto de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en la planta de molibdeno de División Salvador de Codelco Chile. Este proyecto tuvo como objetivo principal realizar un estudio de factibilidad técnica de diferentes reactivos alternativos y control de potencial óxido-reducción en pruebas de flotación de molibdenita a nivel de laboratorio.

La planta de concentración selectiva de molibdenita actualmente emplea Anamol-D como reactivo depresor en compañía de NaCN, los cuales presentan altos consumos, altos precios y lo más importante se encuentran obsoletos. Por lo anterior, el trabajo preliminar de esta memoria fue construir una base de datos, con la cual se analizó la variación de la dosis de Anamol-D y NaCN agregada a la planta de molibdeno, desde el año 2009 hasta el año 2013.

Seguidamente se realizaron pruebas de flotación de MoS_2 a nivel de laboratorio para evaluar el efecto por separado de la dosificación de Anamol-D, NaHS y Tiofos 80:20 sobre la recuperación de Mo, Cu y Fe. También se determinó el efecto del pH por medio de la adición de H_2SO_4 y la influencia del potencial óxido-reducción. El estudio experimental fue desarrollado en una celda de flotación rougher Agitair modificada de 2.6 litros de capacidad, donde se colectaron concentrados a distintos tiempos de flotación.

Los resultados experimentales mostraron que al utilizar una menor cantidad de NaHS o Tiofos 80:20 en vez de adicionar Anamol-D se obtienen mejores resultados de recuperación de Mo (%) y depresión de Cu (%) y Fe (%), mientras que adicionar H_2SO_4 como modificador de pH presentó efectos positivos sólo sobre la recuperación de Mo. Por otra parte, los resultados obtenidos indicaron que un control de potencial óxido-reducción mediante la adición de reactivo depresante, disminuye la cantidad de reactivo agregado a cada prueba de flotación rougher, obteniendo resultados similares de recuperación de Mo, Cu y Fe que al agregar una cantidad específica de depresante. Por ello la medición de potencial determina el consumo óptimo de reactivo depresante.

En base a los resultados obtenidos, se recomienda incluir en la planta de molibdeno un sistema de control automático de flujo para adicionar los reactivos depresores Anamol-D y NaCN. Además, considerar un sistema de medición automático de potencial óxido-reducción

directamente en planta y de acuerdo a este valor, agregar la óptima cantidad de reactivo depresante de Cu y Fe. Finalmente, se planteó como cambio fundamental en la planta de molibdeno el uso de NaSH o Tiofos 80:20 como reactivos depresores de Cu y Fe en conjunto con H₂SO₄ para el ajuste de pH.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 CODELCO	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II: DIVISIÓN SALVADOR	7
2.1 Descripción general	7
2.2 Productos de División Salvador	8
2.3 Descripción Planta Concentradora	8
2.3.1 Chancado primario, secundario y terciario	10
2.3.2 Molienda	10
2.3.3 Flotación	11
2.3.3.1 Flotación Colectiva.....	11
2.3.3.2 Flotación Selectiva	12
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	17
3.1 Molibdeno.....	17
3.1.1 Propiedades del molibdeno.....	17
3.1.2 Usos del molibdeno	17
3.1.3 Minerales de molibdeno	19
3.1.4 Reservas y producción mundial de molibdeno.....	20
3.1.5 Demanda Mundial de molibdeno	20
3.1.6 Productos de molibdeno y sus precios.....	22
3.1.7 Molibdeno en Chile	23
3.2 Fundamentos del proceso de flotación	25
3.2.1 Variables de operación en el proceso de flotación	26
3.2.2 Reactivos utilizados en flotación.....	27
3.2.3 Cinética de flotación.....	29
3.3 Flotación de Molibdenita.....	31

3.3.1	Estructura y flotabilidad natural de la molibdenita	31
3.3.2	Molibdenita en solución acuosa	32
3.3.3	Fenómenos eléctricos sobre la superficie de la molibdenita	34
3.3.4	Planteamiento metalúrgico de la flotación de molibdenita.....	35
3.3.5	Esquema de reactivos en separación de molibdenita desde el concentrado Cu-Mo...	36
3.3.6	Mecanismo de acción de los depresantes sulfurosos.....	39
3.3.7	Causas que afectan la flotabilidad de la molibdenita	41
3.3.7.1	Efecto depresor del ión calcio en la flotación de la molibdenita.....	43
3.3.7.2	Efecto activador del ácido sulfúrico en la flotación de la molibdenita	46
3.3.7.3	Aplicación del nitrógeno en flotación de molibdenita.....	47
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE TRABAJO ESTADÍSTICO Y EXPERIMENTAL		50
4.1	Trabajo estadístico.....	50
4.2	Trabajo experimental.....	51
4.2.1	Reactivos utilizados en pruebas de flotación rougher de MoS ₂ en laboratorio	52
4.2.1.1	Anamol-D	52
4.2.1.2	NaHS.....	53
4.2.1.3	Tiofos 80:20.....	53
4.2.1.4	Ácido Sulfúrico.....	54
4.2.2	Procedimiento experimental.....	54
4.2.2.1	Muestreo	54
4.2.2.2	Preparación de muestras	56
4.2.2.3	Flotación rougher de MoS ₂	57
4.2.2.4	Filtrado, secado y pulverizado.....	59
4.2.3	Trabajo preliminar	60
4.2.3.1	Evaluación tiempo de acondicionamiento de reactivos en flotación de MoS ₂	60
4.2.3.2	Evaluación flujo de nitrógeno en celda de flotación	61
4.2.4	Granulometría de pulpa de alimentación.....	61
4.2.5	Mineralogía y análisis químico de la pulpa alimentación a las pruebas de flotación.	62
4.2.6	Evaluación de la dosis de Anamol-D en flotación rougher de MoS ₂	62
4.2.7	Evaluación de la dosis y el tipo de depresante usado en flotación rougher.....	63

4.2.8	Evaluación del pH en la flotación rougher de molibdenita	64
4.2.9	Evaluación del potencial óxido-reducción en pruebas de flotación	65
4.2.10	Desarrollo experimental de pruebas anexas	66
4.2.10.1	Efecto del potencial óxido-reducción en el consumo de Anamol-D	66
4.2.10.2	Desarrollo experimental de pruebas adicionales	67
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		69
5.1	Resultados y discusiones de trabajo estadístico	69
5.1.1	Dosis de Anamol-D	69
5.1.2	Dosis de Cianuro de Sodio	70
5.1.3	Recuperación global de molibdeno	72
5.1.4	Recuperación selectiva de molibdeno	73
5.1.5	Ley de molibdeno en el concentrado final de molibdenita.....	74
5.1.6	Efecto de reactivos depresantes en resultados metalúrgicos	75
5.1.7	Molibdeno alimentado a la planta concentradora.....	77
5.1.8	Ley de alimentación a la planta de molibdeno	78
5.1.9	Efecto del molibdeno alimentado en el consumo de reactivos depresantes	79
5.1.10	Ley de molibdeno en el relave de la planta de molibdeno	81
5.1.11	TMF de molibdeno producido en la planta de flotación selectiva.....	82
5.1.12	Efecto de reactivos depresantes en las TMF de Mo producido y en la ley de Mo contenido en el relave de la planta de molibdeno	83
5.2	Resultados y discusiones de trabajo experimental	85
5.2.1	Resultados de trabajo preliminar	85
5.2.1.1	Efecto tiempo de acondicionamiento en pruebas de flotación de MoS ₂	85
5.2.1.2	Evaluación del flujo de nitrógeno en pruebas de flotación de MoS ₂	86
5.2.2	Caracterización del concentrado colectivo Cu-Mo.....	87
5.2.2.1	Caracterización Química	87
5.2.2.2	Caracterización mineralógica	87
5.2.2.3	Caracterización granulométrica.....	89
5.2.3	Efecto de la dosis de Anamol-D en pruebas de flotación rougher de MoS ₂	90
5.2.4	Variación del tipo y dosis de depresante en pruebas de flotación rougher de MoS ₂ ..	93
5.2.4.1	Efecto de la dosificación de NaHS en pruebas de flotación rougher de MoS ₂	93

5.2.4.2	Efecto de la dosificación de Tiofos 80:20 en pruebas de flotación rougher de MoS ₂	97
5.2.5	Efecto de pH en pruebas de flotación rougher de MoS ₂	100
5.2.5.1	Efecto de pH y adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo Cu-Mo100	
5.2.5.2	Efecto de pH y adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo.....	104
5.2.5.3	Efecto de pH y adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo.....	107
5.2.5.4	Efecto de pH y adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo .	110
5.2.5.5	Efecto de pH y adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo .	114
5.2.5.6	Efecto de pH y adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo .	117
5.2.6	Efecto de potencial óxido-reducción en pruebas de flotación rougher de MoS ₂	121
5.2.6.1	Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando NaHS	121
5.2.6.2	Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando Tiofos 80:20	126
5.2.6.3	Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando una mezcla de NaHS y Tiofos 80:20.....	130
5.2.7	Modelos de cinética de flotación	131
5.2.8	Pruebas anexas.....	134
5.2.8.1	Ajuste del potencial óxido-reducción adicionando Anamol-D	134
5.2.8.2	Pruebas adicionales.....	138
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.....		141
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES		143
CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA		144
CAPITULO IX: ANEXOS		148
ANEXO A		149
A.1	Cálculo recuperación acumulada.....	150
A.2	Cinética de flotación.....	151
A.3	Cálculo análisis granulométrico	152
A.4	Efecto de Anamol-D en flotación de MoS ₂	153
A.5	Efecto de NaHS en flotación de MoS ₂	154
A.6	Efecto de Tiofos 80:20 en flotación de MoS ₂	155
A.7	Efecto de pH en flotación de MoS ₂	156
A.7.1	3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo	156

A.7.2	4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo	157
A.7.3	6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo	158
A.7.4	2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo.....	159
A.7.5	4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo.....	160
A.7.6	5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo.....	161
A.8	Efecto de potencial electroquímico en flotación de MoS ₂	162
A.8.1	Mediante adición de NaHS.....	162
A.8.2	Mediante adición de Tiofos 80:20.....	163
ANEXO B.....		164
B.1	Fórmula de ajuste de sólidos	165
B.2	Fórmula cálculo de volumen de reactivo depresante a utilizar	165
B.3	Procedimiento preparación reactivos.....	166
B.3.1	Identificación y control de riesgos en la preparación de reactivos.....	166
B.3.2	Preparación de una solución de Anamol-D	167
B.3.2.1	Equipos, materiales e insumos.....	167
B.3.2.2	Equipos de protección personal.....	168
B.3.2.3	Procedimiento preparación de Anamol-D	168
B.3.3	Dilución de reactivos depresantes	169
B.3.3.1	Equipos, materiales e insumos.....	169
B.3.3.2	Equipos de protección personal.....	169
B.3.3.3	Procedimiento dilución NaHS	170
B.3.3.4	Procedimiento de dilución Tiofos 80:20	170
B.4	Protocolo de flotación.....	171
B.4.1	Objetivo	171
B.4.2	Identificación y control de riesgos en las pruebas de flotación de MoS ₂	171
B.4.3	Equipos, materiales e insumos.....	173
B.4.5	Equipos de protección personal	174
B.4.6	Procedimiento de flotación selectiva de MoS ₂ en laboratorio.....	175
ANEXO C.....		178
C.1	Hoja de datos de seguridad de Sulfuro de Sodio	179

C.2	Hoja de datos de seguridad de Trióxido de Arsénico	184
C.3	Hoja de datos de seguridad de Sulfhidrato de Sodio	188
C.4	Hoja de datos de seguridad de Tiofos 80:20.....	194
C.5	Hoja de datos de seguridad de Ácido Sulfúrico	201
C.6	Hoja de datos de seguridad de Nitrógeno	206

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Recuperación global de Mo en planta concentradora.....	2
Figura 1.2: Ley de Mo en el concentrado de MoS ₂ comercializado a Molymet.....	3
Figura 1.3: Evolución del precio de los reactivos usados en planta de molibdeno.....	4
Figura 2.1: Diagrama de proceso para el tratamiento de minerales sulfurados.	9
Figura 2.2: Diagrama de flotación colectiva, División Salvador.	12
Figura 2.3: Diagrama de flujos Planta Molibdeno.....	15
Figura 3.1: Principales usos industriales del molibdeno en el año 2011	19
Figura 3.2: Reservas mundiales de molibdeno en el año 2013.....	20
Figura 3.3: Participación de cada país en la demanda mundial de molibdeno.	21
Figura 3.4: Comportamiento del precio del molibdeno desde 1980.....	23
Figura 3.5: Producción Chilena de molibdeno mina, en miles de toneladas métricas.	24
Figura 3.6: Estructura cristalina de la molibdenita.	31
Figura 3.7: Diagrama Eh-pH para el sistema.....	33
Figura 3.8: Curva de recuperación de Mo y Cu v/s tamaño de	42
Figura 3.9: Potencial Zeta de MoS ₂ en función del pH en presencia	44
Figura 3.10: Efecto de iones calcio en la recuperación de partículas de MoS ₂	45
Figura 3.11: Comparación del consumo de sulfuro de sodio utilizando aire o nitrógeno	49
Figura 4.1: Punto de muestreo de concentrado Cu-Mo.	55
Figura 4.2: Celda de flotación Agitair Modificada Essa.	58
Figura 4.3: Set de mallas instalado en el rotap.	62
Figura 5.1: Comportamiento histórico de consumo de Anamol-D en planta de molibdeno..	70
Figura 5.2: Comportamiento histórico de consumo de cianuro de sodio en planta de molibdeno	71
Figura 5.3: Recuperación global de molibdeno.	72
Figura 5.4: Recuperación selectiva de molibdeno.	73
Figura 5.5: Ley de molibdeno en el concentrado obtenido en planta de concentración selectiva.	74
Figura 5.6: Matriz de gráficas de dispersión de consumo de Anamol-D, consumo de NaCN, ley de Mo, recuperación global y selectiva de Mo	76

Figura 5.7: Porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora.....	77
Figura 5.8: Cantidad de Mo alimentado a la planta concentradora	78
Figura 5.9: Variación de la ley de Mo alimentado a la planta de molibdeno	79
Figura 5.10: Matriz de gráficas de dispersión para variables de alimentación v/s consumo de reactivo.....	80
Figura 5.11: Comportamiento histórico de la ley de Mo en el relave de la planta de flotación selectiva	82
Figura 5.12: Toneladas métricas finas de molibdeno obtenido desde la planta de molibdeno	83
Figura 5.13: Matriz de gráficas de dispersión para Anamol-D, NaCN, TMF de Mo producido y % de Mo en el relave planta moly	84
Figura 5.14: Microfotografía del concentrado Cu- Mo usado en pruebas de flotación.....	89
Figura 5.15: Curva granulométrica de la alimentación fresca a la planta de Molibdeno	89
Figura 5.16: Recuperación de Mo para distintas dosis de Anamol-D.	90
Figura 5.17: Recuperación de Cu para distintas dosis de Anamol-D.	91
Figura 5.18: Recuperación de Fe para distintas dosis de Anamol-D.....	92
Figura 5.19: Recuperación de Mo a distintas dosis de NaHS.....	94
Figura 5.20: Recuperación de Cu a distintas dosis de NaHS.....	95
Figura 5.0.21: Recuperación de Fe a distintas dosis de NaHS.	95
Figura 5.22: Recuperación de Mo de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.	97
Figura 5.23: Recuperación de Cu de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.	98
Figura 5.24: Recuperación de Fe de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.....	99
Figura 5.25: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	101
Figura 5.26: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.....	102
Figura 5.27: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe	103
Figura 5.28: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	105

Figura 5.29: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.....	105
Figura 5.30: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe	106
Figura 5.31: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	108
Figura 5.32: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.....	109
Figura 5.33: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe	109
Figura 5.34: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	111
Figura 5.35: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu	113
Figura 5.36: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.....	113
Figura 5.37: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	115
Figura 5.38: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu	116
Figura 5.39: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.....	116
Figura 5.40: Efecto del pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo	117
Figura 5.41: Efecto del pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu	119
Figura 5.42: Efecto del pH y la dosificación de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.....	120
Figura 5.43: Efecto del Eh en la recuperación de Mo al agregar NaHS.....	122
Figura 5.44: Efecto del Eh en la recuperación de Cu al adicionar NaHS.....	123
Figura 5.45: Efecto del Eh en la recuperación de Fe al adicionar NaHS.	123

Figura 5.46: Efecto del Eh en la recuperación de Mo al agregar Tiofos 80:20.	126
Figura 5.47: Efecto del Eh en la recuperación de Cu al añadir Tiofos 80:20.	128
Figura 5.48: Efecto del Eh en la recuperación de Fe al adicionar Tiofos 80:20.	128
Figura 5.49: Efecto del Eh en la recuperación de Mo, Cu y Fe al adicionar una mezcla de reactivos.....	131
Figura 5.50: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Mo	132
Figura 5.51: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Cu	133
Figura 5.52: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Fe.....	133
Figura 5.53: Efecto de la cantidad de Anamol- D agregada sobre la recuperación de Mo..	135
Figura 5.54: Efecto de la dosificación de Anamol- D sobre la recuperación de Cu.....	136
Figura 5.55: Efecto de la dosificación de Anamol- D sobre la recuperación Fe	136
Figura 9.1: Efecto de la dosificación de Anamol-D en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.....	153
Figura 9.2: Efecto de la dosis de Anamol-D en recuperación y ley acumulada de Mo.	153
Figura 9.3: Efecto de la dosificación de NaHS en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.....	154
Figura 9.4: Efecto de la dosis de NaHS en recuperación y ley acumulada de Mo.	154
Figura 9.5: Efecto de la dosificación de Tiofos 80:20 en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) con modelo de García y Zuñiga para Mo.	155
Figura 9.6: Efecto de la dosis de Tiofos 80:20 en recuperación y ley acumulada de Mo. ...	155
Figura 9.7: Efecto de pH y la dosificación de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación Infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.....	156
Figura 9.8: Efecto de pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	156
Figura 9.9: Efecto de pH y 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) con modelo de García y Zuñiga para Mo.	157

Figura 9.10: Efecto de pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	157
Figura 9.11: Efecto de pH y 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) con modelo de García y Zuñiga para Mo.	158
Figura 9.12: Efecto de pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	158
Figura 9.13: Efecto de pH y 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.	159
Figura 9.14: Efecto de pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	159
Figura 9.15: Efecto de pH y 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.	160
Figura 9.16: Efecto de pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	160
Figura 9.17: Efecto de pH y 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.	161
Figura 9.18: Efecto de pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	161
Figura 9.19: Efecto de Eh mediante la adición de NaHS en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) con modelo de García y Zuñiga obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.	162
Figura 9.20: Efecto de Eh a través de la adición de NaHS Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.	162
Figura 9.21: Efecto de Eh mediante la adición de Tiofos 80:20 en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.	163

Figura 9.22: Efecto de Eh por medio de la adición de Tiofos 80:20 Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo. 163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Principales minerales de molibdeno	19
Tabla 3.2: Consumo mundial de molibdeno, tasas de crecimiento y proyección de la demanda para los años 2014 y 2015	22
Tabla 4.1: Parámetros de flotación selectiva de MoS ₂	58
Tabla 4.2: Resumen de pruebas de flotación de MoS ₂ adicionando distintas dosis de Anamol-D	63
Tabla 4.3: Resumen de pruebas de flotación de MoS ₂ al adicionar diferentes dosis de depresante	63
Tabla 4.4: Resumen de pruebas de flotación con respecto a la variación de pH.	65
Tabla 4.5: Resumen de pruebas de flotación usando NaHS y Tiofos 80:20 con respecto a la variación de Eh.	66
Tabla 4.6: Resumen de pruebas anexas de flotación utilizando Anamol-D como reactivo depresante.	67
Tabla 4.7: Especificaciones de pruebas anexas de flotación realizadas utilizando NaHS y Tiofos 80:20 como reactivo depresante para ajustar el Eh.	68
Tabla 5.1: Resultados experimentales de la evaluación del tiempo de acondicionamiento en pruebas de flotación de MoS ₂ en laboratorio	86
Tabla 5.2: Resultados de la evaluación de flujo de nitrógeno en las pruebas experimentales de flotación rougher de MoS ₂	86
Tabla 5.3: Análisis químico de Mo, Cu, Fe e insolubles de la muestra de alimentación a las pruebas de flotación	87
Tabla 5.4: Distribución de la composición mineralógica de pulpa de alimentación a pruebas de flotación de MoS ₂	88
Tabla 5.5: Dosificaciones de NaHS requeridas para ajustar el Eh en cada prueba de flotación de MoS ₂	125
Tabla 5.6: Dosificaciones de Tiofos 80:20 requeridas para ajustar el Eh en cada prueba de flotación de MoS ₂	129
Tabla 5.7: Resultados de la estimación de parámetros de modelos García y Zuñiga y Klimpel.	134

Tabla 5.8: Análisis químico de Mo, Cu, Fe e insolubles de la muestra de alimentación a las pruebas de flotación adicionando Anamol-D	135
Tabla 5.9: Cantidades de Anamol-D requerida para ajustar el Eh en flotación de MoS ₂ ...	138
Tabla 5.10: Recuperación de Mo, Cu y Fe obtenida en pruebas de flotación adicionando NaHS y Tiofos 80:20	139
Tabla 5.11: Distribución de la composición mineralógica de las pulpas de flotación realizada al adicionar NaHS	139
Tabla 5.12: Distribución de la composición mineralógica de las pulpas de flotación realizada al adicionar tiofos 80:20	140
Tabla A.1: Ejemplo de cálculo de recuperación acumulada de prueba de flotación de MoS ₂ con una dosis de 16 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo.....	150
Tabla A.2: Ejemplo de cálculo del ajuste de datos de recuperación acumulada según el modelo de García y Zuñiga y de Klimpel para prueba de flotación de MoS ₂ con una dosis de 16 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo.	151
Tabla A.3: Ejemplo de cálculo de granulometría de una muestra de alimentación a pruebas de flotación de MoS ₂	152
Tabla B.1: Peligros y medidas de control para preparación de reactivos.....	166
Tabla B.2: Peligros y medidas de control en pruebas de flotación de MoS ₂ a escala de laboratorio.....	171

NOMENCLATURA

TPD: Toneladas por día.

TM: Toneladas métricas.

TMF: Toneladas métricas finas.

TMS: Toneladas métricas secas.

Eh: Potencial óxido-reducción.

mV: Milivoltios.

g: Gramos.

kg: Kilogramos.

m³: Metros cúbicos.

min: Minutos.

seg: Segundos.

l: Litros.

R_∞: Recuperación infinita.

k: Constante de velocidad de flotación.

R²: Coeficiente de distribución.

FSR: Fase sintética rosada.

FSG: Fase sintética gris.

FSA: Fase sintética amarilla.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 CODELCO

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, CODELCO, es el principal productor de cobre a nivel mundial y posee, además, alrededor del nueve por ciento de las reservas del metal. Actualmente, la compañía está integrada por 8 divisiones, éstas son; Salvador, Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Ventanas, Andina y Teniente. Además, cuenta con la participación del 49% en El Abra y 20% de la propiedad de Anglo American Sur. Su Casa Matriz se encuentra ubicada en Santiago de Chile.

División Salvador de Codelco está formada por una dotación propia de aproximadamente 1500 personas y sus operaciones se desarrollan en la región de Atacama. Esta División cuenta con dos tipos de yacimientos; una mina de explotación subterránea, y 2 minas a rajo abierto; a partir de las cuales se obtiene como producto principal cátodos electro-refinados, electro-obtenidos y concentrado de cobre. También se obtiene como principales subproductos concentrado de molibdeno, barras anódicas y ácido sulfúrico.

La planta de Molibdeno perteneciente a la Gerencia Plantas de División Salvador se encuentra ubicada en la planta concentradora, distante a 5 Km de la ciudad de El Salvador. Esta planta procesa el concentrado colectivo Cu-Mo proveniente desde la planta de flotación primaria, con el fin de obtener y comercializar el concentrado de molibdenita (MoS_2) con una ley de 45 % de Mo y no más de 4 % de Cu. En la actualidad esta planta de flotación selectiva de molibdenita posee una capacidad de tratamiento de 700 TPD de concentrado con contenidos de 18 a 23% de Cu y 0.4-0.5% de Mo.

El proceso consiste en separar la molibdenita de los sulfuros de cobre, mediante flotación selectiva, en que la molibdenita flota por naturaleza y los sulfuros de cobre son deprimidos por la adición de reactivos. De esta planta se obtiene dos productos; un relave o cola que constituye el concentrado de cobre con 18 - 23 % de Cu y menos del 0.1 % de Mo el cual se envía a fundición, y un concentrado de molibdeno de cabeza que se comercializa a

MOLYMET, la cual procesa el concentrado de molibdenita y obtiene distintos productos tales como, ferro-molibdeno, óxido de molibdeno, sales amoniacales de molibdeno; entre otros.

1.2 Planteamiento del problema

La recuperación del mayor contenido de molibdeno en el concentrador (flotación primaria) y en la planta de molibdeno (flotación diferencial), es una preocupación y ocupación constante de la unidad de concentración. Desde hace algunos años la planta de flotación selectiva ha sufrido grandes variaciones de recuperación y ley de Mo en el concentrado de molibdenita. Lo más preocupante es que la recuperación global de Mo no sobrepasa el 60 %, y la ley de Mo no superó el 45% en el año 2013. La variación desde el año 2007 de la recuperación global de Mo de la planta concentradora, y la ley de Mo en el concentrado final de MoS₂ junto con sus programas, se muestran en la Fig. 1.1 y 1.2, respectivamente.

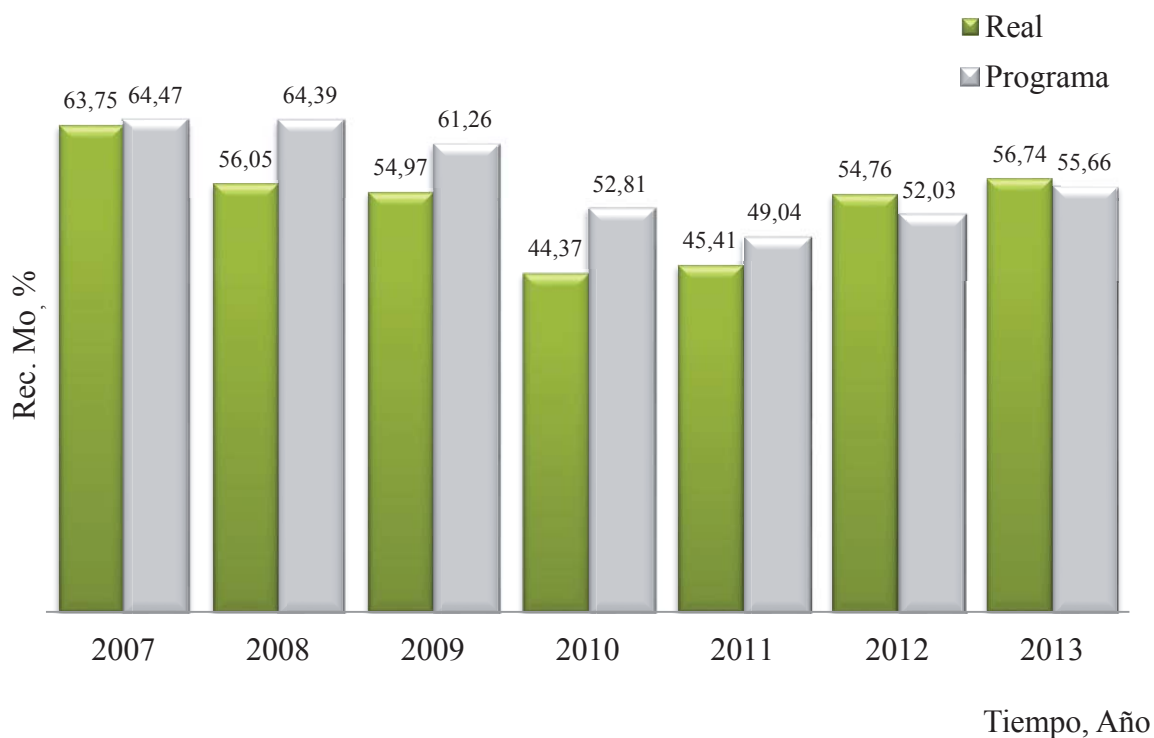


Figura 1.1: Recuperación global de Mo en planta concentradora.

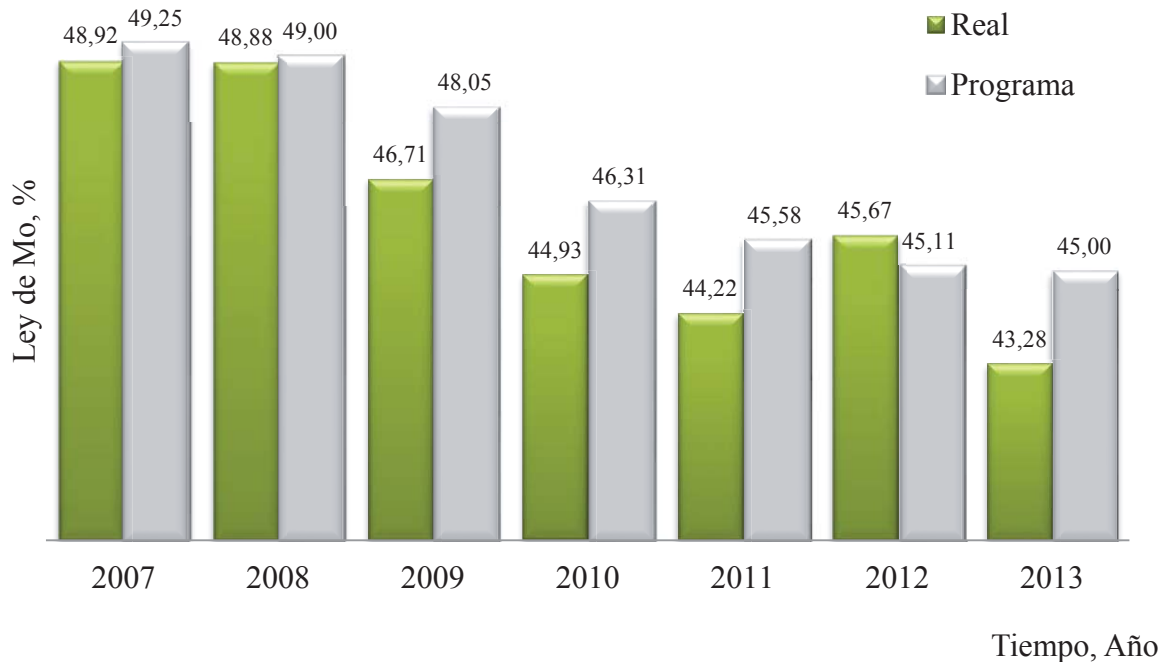


Figura 1.2: Ley de Mo en el concentrado de MoS₂ comercializado a Molymet.

El uso de reactivos depresantes de cobre y hierro incide directamente en las recuperaciones y pérdidas obtenidas en la planta de flotación selectiva de MoS₂. En este proceso se utilizan dos reactivos como depresores de cobre y hierro, el Anamol-D y el Cianuro de Sodio. Estos reactivos son de gran importancia para la planta, no sólo por su gran utilidad, sino que también por sus altos costos, difícil manipulación y altos consumos.

El Anamol-D resulta del producto de la reacción entre sulfuro de sodio (Na₂S) y trióxido de arsénico (As₂O₃) en una proporción 4:1, este compuesto inorgánico, altamente tóxico se adiciona principalmente en el acondicionamiento, anterior a la etapa rougher, su gasto es elevado comparado con otros reactivos usados como depresores de Cu y Fe, y con el transcurso de los años se ha dejado de utilizar en plantas similares. Este depresor da como resultado un concentrado de molibdeno de menor calidad comercial a la solicitada, por lo cual se requiere una etapa posterior de limpieza, cocción-purificación, con Cianuro de Sodio (NaCN), reactivo de alta peligrosidad y toxicidad, que mejora la ley de molibdeno, pero aumentando la complejidad del proceso y los costos de operación.

Por otro lado antecedentes históricos indican que el precio de los reactivos se ha incrementado a lo largo de los años. En la Fig. 1.3 se aprecia la evolución que ha sufrido el precio de los reactivos usados en la planta de molibdeno, desde enero de 2010 hasta diciembre de 2013. El trióxido de Arsénico es el reactivo que presenta menor variación de precio desde el año 2010, sin embargo, es una sustancia corrosiva y un agente cancerígeno. El precio del sulfuro de sodio se ha incrementado moderadamente, pero tiene un mayor impacto en los costos de operación, debido a que se gasta aproximadamente 6000 kg diarios en el tratamiento. Por otra parte, el cianuro de sodio es el reactivo que tiene el mayor costo, su precio en el año 2013 fue de aproximadamente 4 US\$/kg y se utiliza 2000 kg diarios.

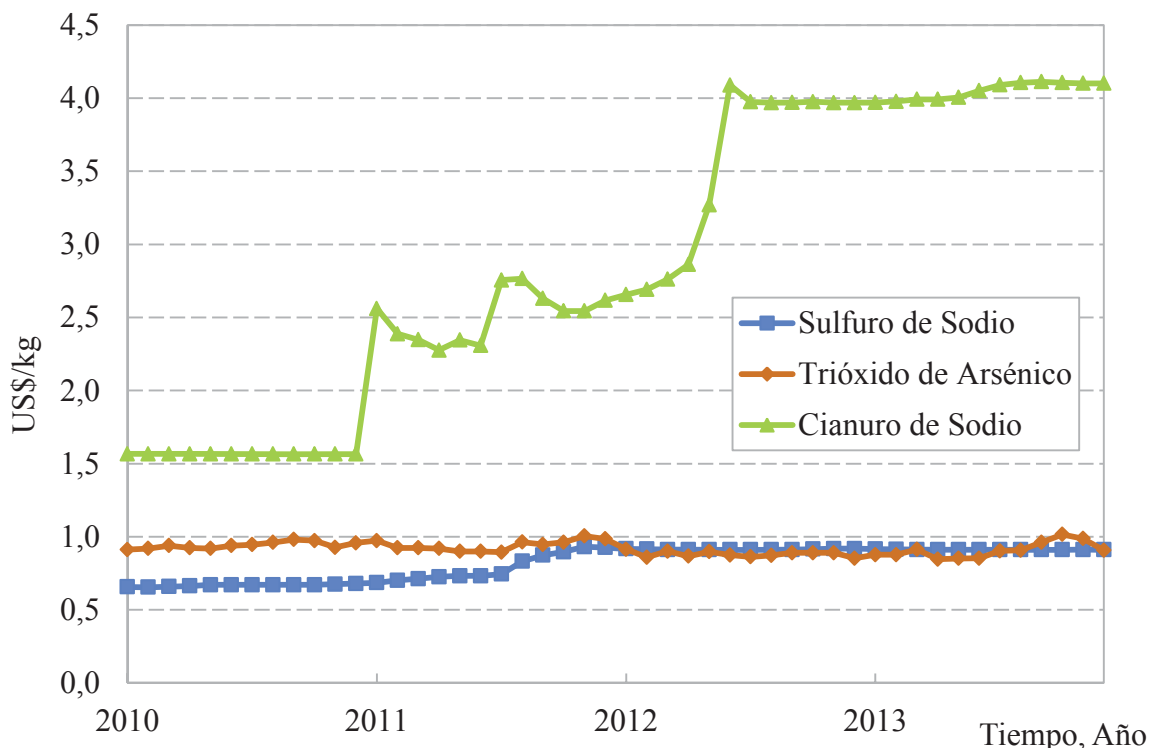


Figura 1.3: Evolución del precio de los reactivos usados en planta de molibdeno (Área costos concentradora).

Estos reactivos presentan riesgos para la salud y el ambiente, son de alto costo y antiguos por lo que se podrían reemplazar por otros reactivos más económicos, que dan buenos resultados en otras plantas y que tienen una mejor relación dosificación-rendimiento.

En este sentido la unidad de concentración selectiva ha solicitado realizar un estudio de diagnóstico actual de la dosificación y tipo de reactivos utilizados en la planta de molibdeno de División Salvador de Codelco Chile.

Con este estudio se pretende generar un impacto positivo en la eficiencia de la flotación selectiva de MoS_2 . Para esto, se realizó un análisis estadístico de los consumos históricos de reactivos, de modo de proponer una dosificación óptima, y evaluar la factibilidad de reactivos alternativos en la etapa rougher mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar estudio de factibilidad técnica de 3 reactivos (NaHS, Tiofos 80:20 y H₂SO₄) y control de potencial óxido-reducción en pruebas de flotación de MoS₂ a nivel de laboratorio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollo de pruebas de flotación rougher de MoS₂ a nivel de laboratorio con reactivo depresor NaHS y evaluación de su efecto en la recuperación de Mo, Cu y Fe.
- Análisis del efecto de la dosificación de Tiofos 80: 20 sobre la recuperación de Mo y depresión de Cu y Fe en pruebas de flotación rougher de laboratorio.
- Evaluación del efecto del ácido sulfúrico como modificador de pH sobre la recuperación de Mo, Cu y Fe en pruebas de flotación rougher a escala de laboratorio.
- Estudio de control de potencial en pulpa mediante la adición de reactivos depresantes (NaSH y Tiofos 80:20) en pruebas de flotación de MoS₂ a escala de laboratorio sobre la recuperación de Mo, Cu y Fe.

CAPÍTULO II: DIVISIÓN SALVADOR

2.1 Descripción general

División Salvador de CODELCO, se encuentra ubicada en la Ciudad de El Salvador, perteneciente a la Comuna de Diego de Almagro, en la III región de Atacama. Sus operaciones se desarrollan en la zona de la Cordillera de Los Andes, a 2.600 metros de altura y a una distancia de 1100 kilómetros al norte de Santiago.

Este complejo minero industrial se inaugura el 28 de noviembre de 1959, dirigido por la empresa estadounidense Andes Copper Mining Company. En 1971, pasó a manos del Estado y en 1976 comenzó a ser administrado por la Corporación Nacional del Cobre de Chile, CODELCO.

Los recursos de División Salvador provienen de la mina "Inca" de explotación subterránea, y de las minas "Campamento Antiguo" y "Damiana Norte" a rajo abierto. En la división, se explotan dos líneas de producción: Sulfuros y Óxidos.

En la línea de sulfuros, se procesa los minerales procedentes de la mina Inca de explotación subterránea y de la mina Campamento Antiguo a rajo abierto, con una tasa de extracción de 32000 TPD, con una ley de 0.5 % de Cu y 0.018 % de Mo. Esta línea de producción contempla un proceso de Concentración, Fundición y Electro-refinación.

En la línea de óxidos, se trata el mineral proveniente de la mina Damiana Norte a rajo abierto con una capacidad de extracción de 15000 TPD de mineral, y con ley de alrededor de 0.49 % de cobre total. Esta línea de producción considera Lixiviación en pilas, Extracción por Solventes y Electro-obtención.

2.2 Productos de División Salvador

En la planta concentradora se produce en promedio 650 toneladas diarias de concentrado primario de cobre y molibdeno, con una ley de 18% de Cu y con recuperaciones de Cu de 80 %, aproximadamente.

El concentrado de cobre y molibdeno después del proceso de concentración colectiva, es procesado en la planta molibdeno en la que se obtiene de 8 – 10 toneladas diarias de concentrado de molibdenita con una ley de 45% de Mo, y con recuperaciones selectivas de Mo de 80 %, aproximadamente.

Por otro lado, en Fundición y en Refinería se procesa el concentrado de cobre obtenido en la planta concentradora El Salvador (planta molibdeno), además concentrados provenientes de otras divisiones de Codelco y de otras compañías mineras. Los productos comerciales generados en esta sección son principalmente, cátodos de cobre electro-refinados, barro anódico con contenido de oro y plata y ácido sulfúrico, producto de la limpieza y tratamiento de gases de la fundición.

Producto del tratamiento de minerales oxidados se obtiene cátodos de cobre de alta pureza de 99.99 %.

Para el año 2013, División Salvador estimó su producción de cobre, en 54231 TMF; el barro anódico en 185 TMS; molibdeno en 898 TMF y el ácido sulfúrico en 406284 ton ^[1].

2.3 Descripción Planta Concentradora

En la planta concentradora de División Salvador, se procesa los minerales sulfurados provenientes desde la mina Subterránea y de la mina Campamento Antiguo. Para el tratamiento de la línea de Sulfuros, se tiene las siguientes instalaciones:

- Mina Inca de explotación subterránea.
- Mina Campamento Antiguo a rajo abierto con sulfuros primarios y secundarios.
- Transporte y chancado primario, secundario y terciario.
- Acopios de mineral grueso y fino.

- Concentración colectiva de Cu-Mo en planta concentradora.
- Flotación selectiva de MoS_2 en la planta concentradora (planta de molibdeno).
- Planta de recuperación de agua.
- Planta Los Amarillos, para recuperación de cobre desde los relaves (El Salvador).
- Planta de secado de concentrado de cobre (localidad de Llanta).
- Fundición (Potrerillos).
- Refinería (Potrerillos).
- Transporte vía ferrocarril.
- Embarque (Puerto de Barquito).
- Tranque de relaves Pampa Austral.

En la Fig. 2.1 se muestra el diagrama de flujos, en el cual se puede observar las distintas unidades de procesamiento.

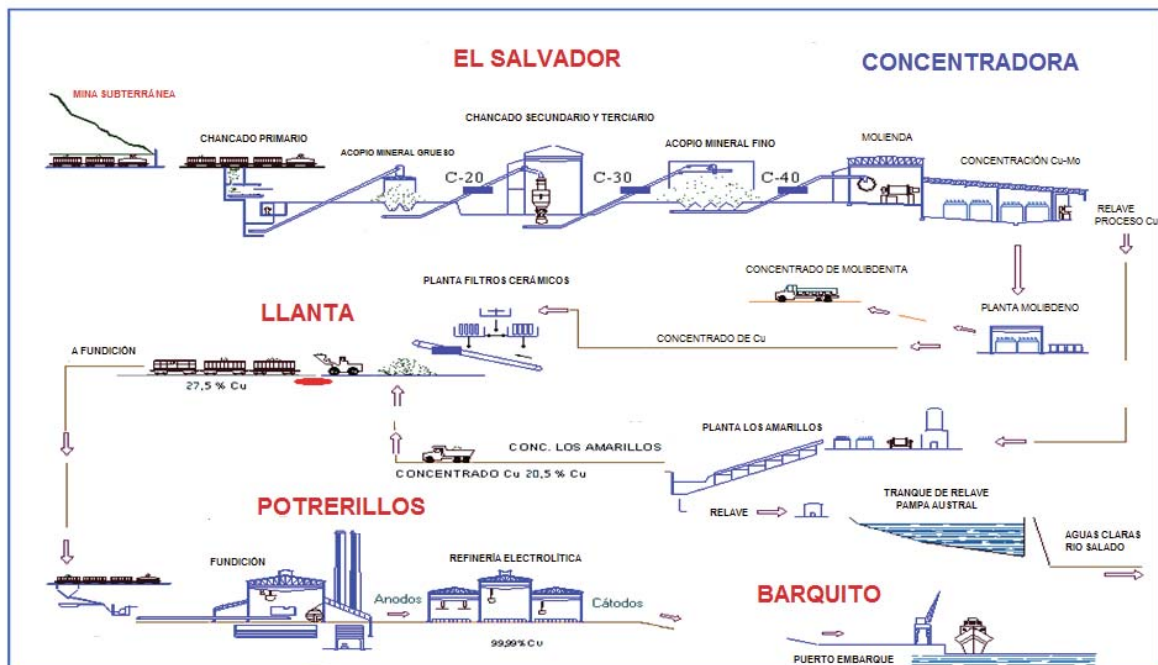


Figura 2.1: Diagrama de proceso para el tratamiento de minerales sulfurados.

2.3.1 Chancado primario, secundario y terciario

El mineral proveniente de la mina Inca de explotación subterránea y de la mina Campamento Antiguo a rajo abierto es conducido hacia la unidad de chancado primario, con el fin de reducir el tamaño del mineral. El producto de esta sección se almacena en un acopio de gruesos.

Posteriormente se extrae el mineral desde el acopio de gruesos a través de alimentadores electromagnéticos, y se transporta mediante correas a la sección de chancado secundario-terciario.

En la sección 2 y 3 el mineral es alimentado a un harnero vibratorio, el cual descarga el sobre-tamaño a un chancador Symons Standard, el producto de éste alimenta a dos harneros vibratorios. El bajo tamaño del primer harnero alimenta a otros 2 harneros vibratorios, y el sobre-tamaño de estos cuatro harneros alimenta a dos chancadores Symons cabeza corta. El producto obtenido de 4 - 5 % + 1/2 pulg se transporta a un acopio de finos.

2.3.2 Molienda

Los finos de mineral pasan a la etapa de molienda la cual está formada por 5 secciones, cuatro de ellas idénticas compuestas por 1 molino de barras Marcy y 2 molinos de bolas, trabajan en circuito cerrado y con una batería de 2 hidrociclones Krebs. La quinta sección se compone de 1 molino de barra Marcy y 1 molino de bolas, opera en circuito cerrado con una batería de 4 hidrociclones. En esta etapa se obtiene un producto con un tamaño promedio de 20 % +65 Tyler (212 micras).

En el circuito de molienda se adicionan los reactivos químicos requeridos por el proceso de flotación, tales como: Colectores, Espumantes y Modificadores de pH. Se dosifica en la alimentación a la molienda, un colector principal de Cu, formado por la mezcla de los reactivos Aero Promoter 3758 y Aero Promoter 3730. También se adiciona una mezcla de espumantes preparados con Aerofroth 65 y Oreprep X-133, y para modificar pH, se agrega Cal. Por otro parte se adiciona a la pulpa que alimenta la flotación rougher, en el overflow de las baterías de hidrociclones, un colector secundario de Cu, Aero 343.

Las etapas de chancado y molienda se realizan para lograr las condiciones de tamaño, liberación y calidad necesarias para la flotación.

2.3.3 Flotación

La flotación se realiza en dos etapas, una flotación colectiva donde se recupera cobre y molibdeno y una flotación selectiva para separar el cobre del molibdeno.

2.3.3.1 Flotación Colectiva

El circuito de flotación colectiva se compone de una etapa de flotación rougher, una de limpieza y una de agotamiento (Cleaner - Scavenger).

La flotación rougher se divide en 5 líneas, cada una formada de 9 celdas Wenco. El concentrado de Cu-Mo obtenido en esta etapa junto con el concentrado scavenger se envía a una etapa de remolienda-clasificación y el relave generado, se conduce hacia la planta de tratamiento de agua.

La pulpa obtenida en la etapa de remolienda-clasificación, alimenta la flotación de limpieza, esta sección está compuesta por dos columnas de flotación, de las que se obtiene un concentrado mixto de 18% de Cu y 0.5% de Mo. El relave producido en la etapa de limpieza alimenta la super celda, de ésta se obtiene un relave que se envía a la flotación scavenger, y un concentrado que se mezcla con el concentrado de las columnas el cual es conducido al espesador de cabeza de la planta de molibdeno.

El relave obtenido en la etapa de flotación scavenger junto con el relave resultante de la etapa rougher, forman parte del relave final y son direccionados a la planta de recuperación de agua. Se recupera el 40% del agua fresca proveniente desde la cordillera y el relave fluye hasta el sector Los Amarillos en donde se localiza la planta de retratamiento de relaves.

El concentrado de cobre recuperado en Los Amarillos se transporta en camiones directamente a Fundición, y sólo en ocasiones a la planta de filtros cerámicos y el relave obtenido sigue su curso gravitacional hasta el tranque Pampa Austral.

A continuación en la Fig. 2.2 se muestra un diagrama simplificado del proceso de flotación colectiva.

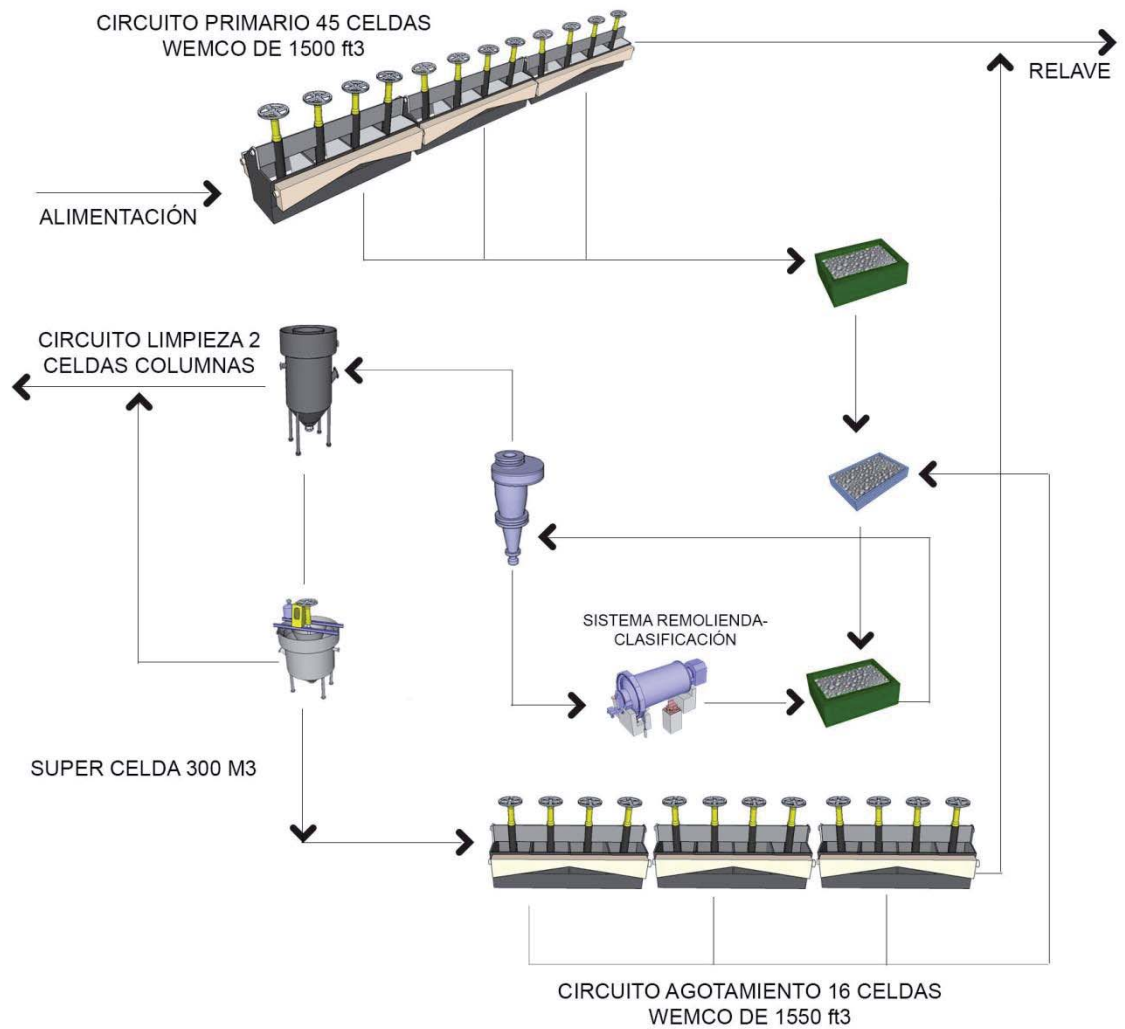


Figura 2.2: Diagrama de flotación colectiva, División Salvador.

2.3.3.2 Flotación Selectiva

La planta de molibdeno está diseñada para el tratamiento de 700 TPD nominal de concentrado de Cu-Mo proveniente del proceso cobre de concentración colectiva. Este concentrado alimenta a la planta de Moly con una ley de Cu de 18 - 23% y 0.4 - 0.5 % de Mo.

El proceso de flotación selectiva comprende una serie de etapas tales como espesamiento, flotación rougher, limpieza, cocción, purificación, filtrado y secado. Además, la unidad de molibdeno posee una planta de preparación de reactivo y una planta de nitrógeno.

La planta de molibdeno en su primera etapa de tratamiento de concentrado colectivo, Cu-Mo, consta de los espesadores N°2 y N°3, y en su etapa final, el espesador N°1.

En primera instancia el concentrado colectivo que contiene Cu y Mo alimenta al espesador para aumentar el contenido de sólido hasta un 50%. La descarga del espesador es impulsada hacia el estanque acondicionador, en esta etapa se agrega el reactivo depresor de Cu y Fe, Anamol-D, y en ocasiones se adiciona Diesel para mejorar la flotabilidad de la molibdenita. El 80% del Anamol-D es agregado en este punto, los demás puntos de adición se encuentran en cada una de las celdas rougher y en la etapa de cocción.

Una vez acondicionada la pulpa, es impulsada hacia la flotación rougher. Esta etapa se realiza en 3 bancos de 4 celdas Agitair de 120 pie³ cada una. La pulpa ingresa al primer banco de celdas rougher, donde el relave obtenido alimenta el segundo banco de celdas y posteriormente el relave de este banco alimenta al tercer banco de celdas, generando esta última el relave final de la planta de molibdeno que corresponde al concentrado de cobre, y se conduce al espesador N°1 de cobre, y mediante un minero-ducto se envía a la planta de filtros cerámicos. El concentrado de cobre con una humedad de aproximadamente 8% se despacha a la fundición Potrerillos.

Los concentrados generados en la flotación rougher son enviados a un estanque y en conjunto con el concentrado obtenido en la columna N°2 de la etapa de limpieza son impulsados a la columna N°1 de la etapa de limpieza. Las celdas Agitair funcionan con nitrógeno con el fin de evitar la oxidación del reactivo depresor.

La etapa de limpieza está formada por 3 columnas, todas ellas utilizan aire a presión. El concentrado proveniente de la etapa de flotación rougher alimenta la columna N°1, de ésta se obtiene un relave que alimenta las columnas N°4 y N°2 y un concentrado que se une con el concentrado de la columna N°4 y constituyen la alimentación a las celdas de cocción. Los

relaves de las columnas N°4 y N°2 junto con los relaves de la etapa de purificación son recirculados hacia el espesador de concentrado colectivo.

La etapa de cocción posee 4 autoclaves de 48 pie³ cada una, donde se adiciona Cianuro de Sodio (NaCN), Anamol-D y vapor para elevar la temperatura a 65°C con el propósito de lixiviar el cobre, y remover impurezas presentes en el concentrado de molibdenita.

Posteriormente la pulpa se envía a la etapa de purificación que consta de dos bancos de 10 celdas Denver de 24 pie³ cada una, con la finalidad de separar las impurezas disueltas en la etapa de cocción, y así minimizar el contenido de cobre y otros contaminantes. El concentrado obtenido en el primer banco de la etapa de purificación alimenta al segundo banco de 10 celdas.

El concentrado que se genera en el segundo banco de la etapa de purificación constituye el concentrado final de molibdenita y es direccionado a los estanques de almacenamiento de la producción. Luego se envía a la etapa de filtrado, para continuar con el secado en un horno rotatorio, y finalmente el concentrado de molibdenita seco se envasa en maxi-sacos de 1500 kg para su despacho a MOLYMET.

A continuación en la Fig. 2.3 se presenta el diagrama del proceso de la flotación selectiva de MoS₂ de Codelco División Salvador.

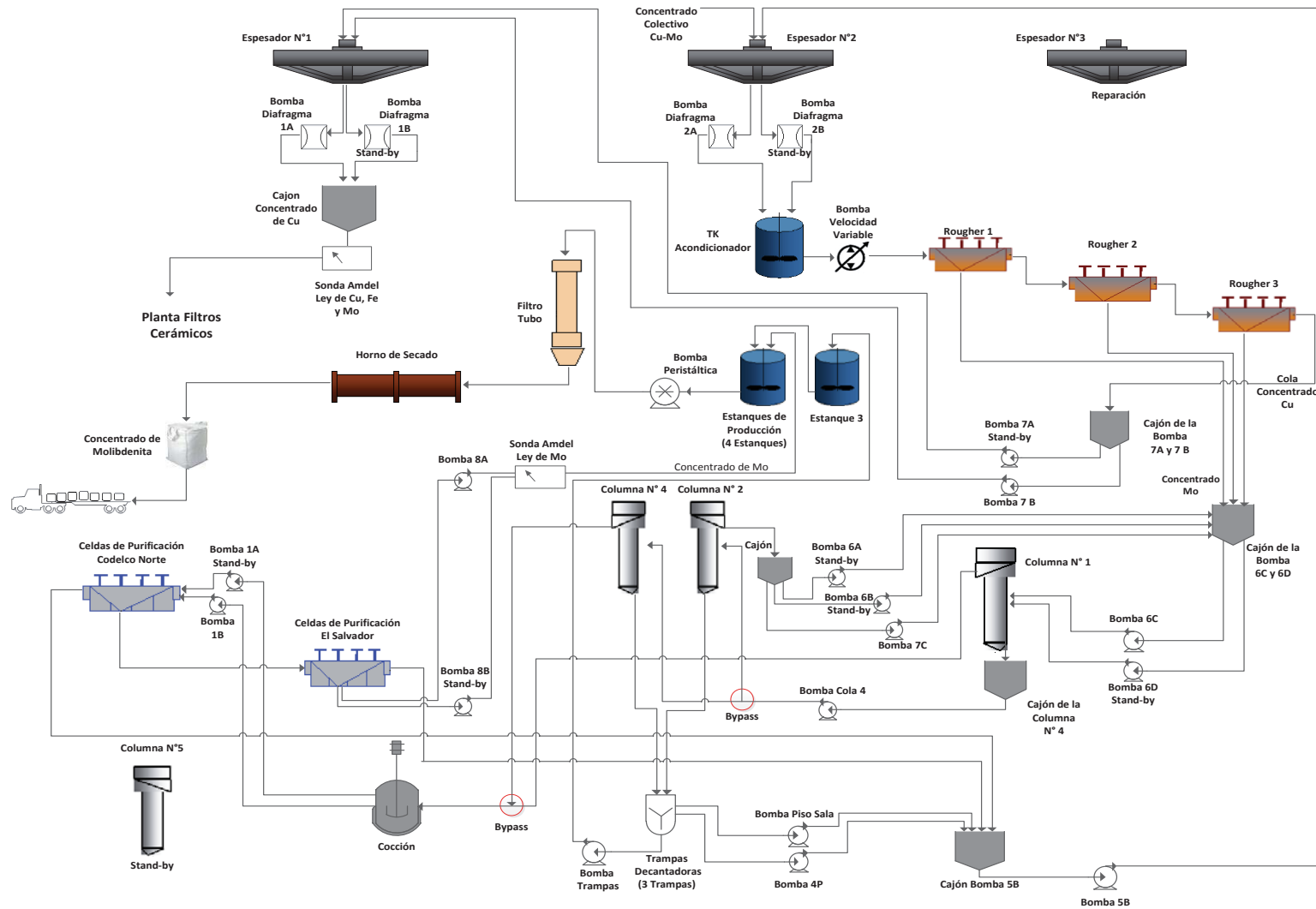


Figura 2.3: Diagrama de flujos Planta Molibdeno.

- Reactivos utilizados en la planta de molibdeno

1. Diesel: Actúa como colector de molibdenita y es almacenado en un estanque de 20 m³, se utiliza ocasionalmente.

2. Anamol-D: Una mezcla de este reactivo contiene Sulfuro de Sodio hidratado y Trióxido de Arsénico en una razón de 4:1 en masa. Se emplea como depresante de cobre y se prepara en un estanque de 495.5 pie³, mezclando y disolviendo los reactivos en agua industrial durante dos horas. Se gasta 2 o 3 mezclas por día.

El Sulfuro de Sodio hidratado, viene almacenado en maxi-sacos de 650 kg y se usa 3 maxi-sacos para preparar una mezcla de Anamol-D.

El trióxido de Arsénico viene almacenado en tambores de 160 kg o en bolsas de 50 kg y se utiliza 3 tambores para una mezcla con tambores de 160 kg, y con bolsas de 50 kg se utiliza 10 bolsas.

3. Cianuro de Sodio: Se usa para complementar la depresión de los sulfuros de cobre y hierro, viene preparado en briquetas y se encuentra envasado en maxi-sacos de 1000 kg. Se prepara disolviendo 1 maxi-saco con agua industrial en un estanque agitador de acero inoxidable de 128 pie³, durante 2 h. Se consume 1 o 2 maxi-sacos por día.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Molibdeno

3.1.1 Propiedades del molibdeno

El molibdeno es un elemento químico con número atómico 42, peso atómico 95.96, pertenece al sexto grupo del sistema periódico de elementos, su S.G es 10.2 g/cm^3 y su punto de fusión es 2620°C [2].

En estado puro el molibdeno metálico es de color blanco platinado, es tenaz y dúctil. Tiene buenas propiedades de conductividad térmica, aproximadamente la mitad de la del cobre y no se oxida fácilmente con aire o agua. Entre las propiedades del molibdeno, se destaca su alto punto de fusión, sus extraordinarias propiedades como elemento de aleación y su capacidad para cambiar fácilmente su valencia de 2 a 6.

Sus cualidades como elemento de aleación provienen de las altas propiedades mecánicas y anticorrosivas que confiere a las aleaciones, a temperaturas elevadas. Las pequeñas cantidades de molibdeno, eliminan las fisuras que aparecen en los aceros a temperaturas elevadas, entre los 450 y 600°C , esto diferencia favorablemente los aceros con molibdeno, de otros aceros.

3.1.2 Usos del molibdeno

El molibdeno es usado principalmente como materia prima para fabricar aceros especiales y aleaciones, a las cuales confiere sus propiedades de gran resistencia a la temperatura, a la corrosión, durabilidad y gran fortaleza [3]. En general, los usos de este metal están en constante desarrollo. Es utilizado en una gran diversidad de industrias, tales como electrónica, construcción, aeronáutica, automotriz, química, petroquímica, transporte, entre otras [4].

El molibdeno, proveniente del concentrado de molibdenita, casi en su totalidad debe ser convertido en óxidos de molibdeno, y luego transformado en otros productos o usado directamente en forma de óxidos. Sólo una pequeña parte del molibdeno, en forma de sulfuro, es destinada para lubricantes y aditivos directos en aceros [5].

El principal uso del molibdeno se encuentra en la industria siderúrgica. Según estadísticas ^[4], en el año 2011, alrededor del 63% del molibdeno se usó como un aditivo en aceros inoxidables y de construcción y el 5.3 % en aceros de alta aleación. Mientras que el 10%, se utilizó en la industria química para la fabricación de catalizadores, pigmentos, lubricantes, reactivos químicos, productos farmacéuticos y como estimulantes en agricultura. Cabe destacar, que la distribución de uso primario de molibdeno en la industria química considera tanto el molibdeno utilizado proveniente de chatarra reciclada como el de minas (fuentes primarias y secundarias).

Otro uso importante del molibdeno en el año 2011, se encuentra en la producción de partes fabricadas con hierro fundido. Pequeñas cantidades de molibdeno, contribuyen favorablemente a las propiedades físicas del hierro, a su dureza, resistencia mecánica y uniformidad estructural de la pieza fundida. En el año 2011, el consumo de molibdeno en hierro fundido representó un 6.6% ^[4].

El 5.6 % del consumo de molibdeno en el 2011, fue destinado a la producción de aleaciones con metales no ferrosos o súper-aleaciones. Las principales son con níquel, cromo, cobalto, tungsteno, columbio, titanio y aluminio. Las mayores aplicaciones de estas aleaciones, se encuentran en campos donde se necesita resistencia a la temperatura y a la corrosión, en industrias electrónicas y en las industrias de maquinarias ^[4].

El consumo de molibdeno metálico en el 2011, sólo representó un 3.3 %. Sus aplicaciones se concentraron en la construcción de cohetes, vehículos de alta velocidad, capas protectoras contra radiaciones, resistencias para hornos eléctricos; entre otros ^[4].

Como uso final, la mayor parte del molibdeno se utilizó en las industrias químicas, petroquímicas, en las industrias mineras, automotriz, en la fabricación de estructuras mecánicas y construcción.

La Fig. 3.1 a continuación, muestra el uso primario y final del molibdeno.

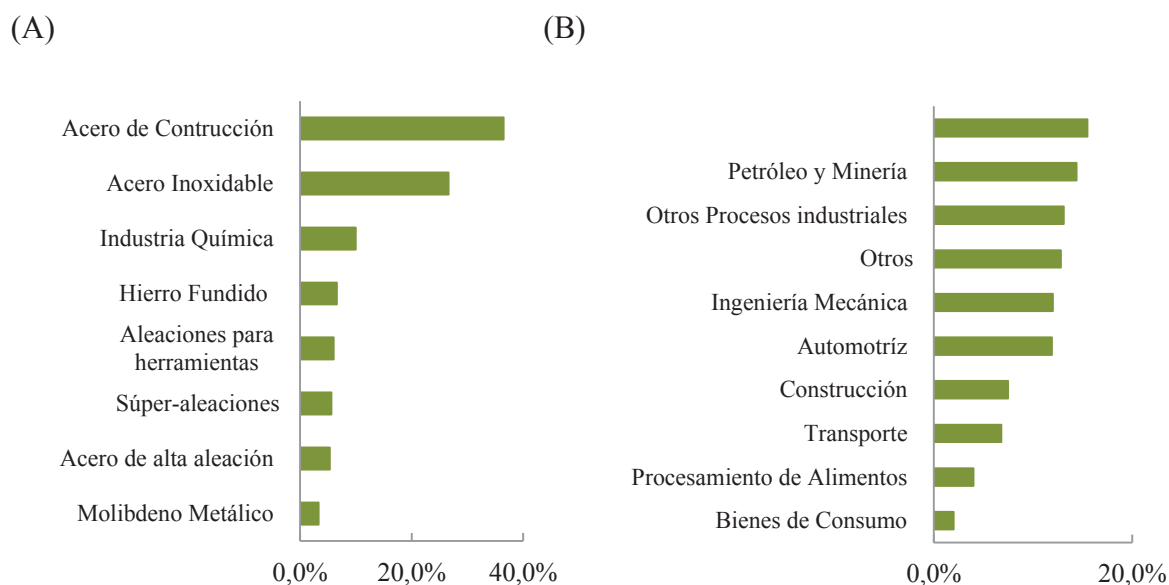


Figura 3.1: Principales usos industriales del molibdeno en el año 2011; (A) uso primario, (B) uso final [4].

3.1.3 Minerales de molibdeno

El molibdeno no existe en estado puro y se encuentra en la naturaleza en muy pequeñas cantidades. Su concentración en rocas cristalinas varía entre 1.0 a 1.5 ppm. Aunque el molibdeno es un elemento químico activo con capacidad para cambiar su valencia de 2 a 6, el número de especies mineralógicas que él forma en la naturaleza, es pequeña [6]. De hecho, hoy en día, la explotación comercial está garantizada por la molibdenita, con más del 90% del total del molibdeno producido. Los principales minerales de molibdeno se indican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Principales minerales de molibdeno.

Mineral	Composición	% Mo
Molibdenita	MoS_2	59.5
Wulfenita	PbMoO_3	27.3
Molibdita	$\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	57.1
Powelita	CaMoO_4	25.0
Bilonesita	MgMoO_4	52.1
Patenita	CoMoO_4	43.8

3.1.4 Reservas y producción mundial de molibdeno

Tanto las reservas como las fuentes principales de producción de molibdeno se encuentran en tres países. En la Fig. 3.2 se puede apreciar que el principal beneficiario de ellas, es China con 4.3 millones de toneladas, luego sigue EEUU con 2.7 millones de toneladas y Chile con 2.3 millones de toneladas. Estos países tienen el 83.7% con un total de 11.1 millones de toneladas métricas de reservas mundiales de molibdeno ^[7].

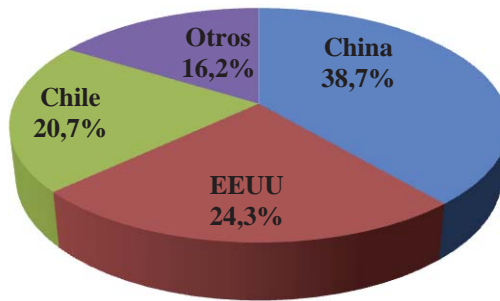


Figura 3.2: Reservas mundiales de molibdeno en el año 2013 ^[7].

La producción de molibdeno proviene de dos fuentes: primaria, en la que la producción resulta de yacimientos en que el molibdeno es el producto principal, y secundaria, como un subproducto de la minería del cobre. En el año 2013 la producción mundial de molibdeno fue de 267 mil toneladas, registrando un aumento con respecto a la producción del año 2012 (265 mil toneladas). Para los años 2014 y 2015 se proyecta una producción mundial de molibdeno de 265 y 297 mil TM, lo que implica una disminución de 0.7 % el primer año con respecto al 2013 y un aumento de 12 % con respecto al 2015.

3.1.5 Demanda Mundial de molibdeno

En el 2013 el consumo mundial de molibdeno fue de 249 mil toneladas métricas, con un aumento de un 4.6 % respecto del año anterior (238 mil TM). Los mayores consumidores de molibdeno son Europa, EEUU, China y Japón. Siendo China el principal consumidor mundial con 93 mil toneladas métricas. En la Fig. 3.3 se observa la participación de los principales países consumidores de molibdeno ^[7].

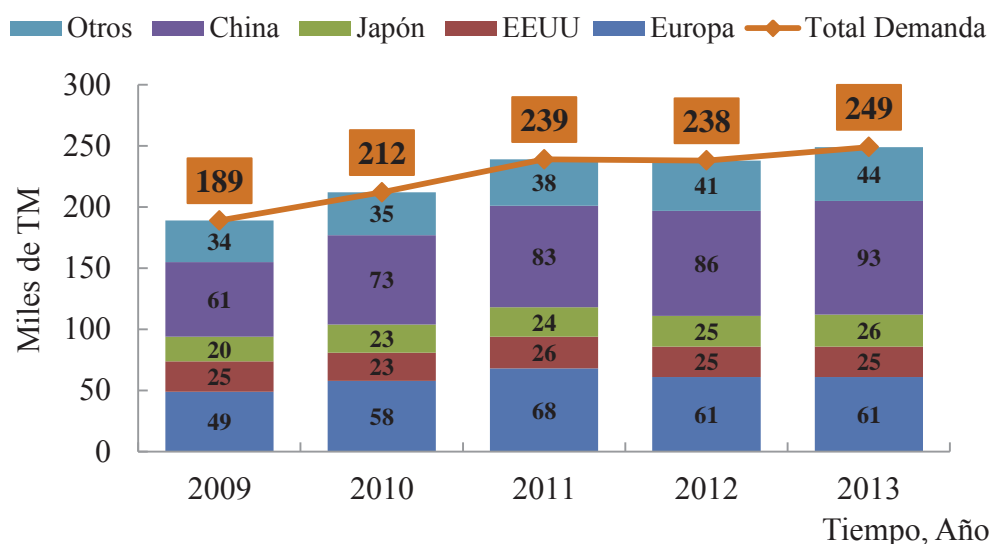


Figura 3.3: Participación de cada país en la demanda mundial de molibdeno ^[7].

La demanda mundial de molibdeno registró una baja el año 2012 al pasar de una expansión de 13.1% en 2011 a -0.8% en 2012. Esto principalmente se debe por una caída en el consumo de molibdeno en Europa (-9.4%), en EEUU (-3.4%) y el menor crecimiento del consumo chino (13% en 2011 a 4.4 % en 2012).

Las perspectivas de la demanda de molibdeno para los años 2014 y 2015 continúan siendo positivas, particularmente en China, el principal consumidor mundial. Se proyecta para este país una leve disminución en la demanda desde un 7.9% en el 2013 a un 6.8% en el 2014, para repuntar fuertemente en el 2015 con un 9.1 %. Estados Unidos presentó un aumento en la tasa de consumo desde un 0% en el 2013 a un 3.6% en el 2014 y un 3.4% en el 2015. Para Europa, que registró un crecimiento nulo en el año 2013, se espera un aumento de 3.7 % en el 2014 y un 2.9 % en el 2015. En cuanto al consumo de molibdeno en Japón, se mantendrá un crecimiento menor al del año 2013, creciendo la demanda sólo un 5.2 % en el año 2014 y para el año 2015 se proyecta una tasa de crecimiento de 1.6 %. La demanda y su proyección junto con las tasas de crecimiento de los principales consumidores de molibdeno se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Consumo mundial de molibdeno, tasas de crecimiento y proyección de la demanda para los años 2014 y 2015 ^[7].

	Demanda Mundial				Variación Demanda		
	2012	2013	2014	2015	2013	2014	2015
	Miles de toneladas métricas				%		
Europa	61	61	64	65	0.0	3.7	2.9
EEUU	25	25	26	27	0.0	3.6	3.4
Japón	25	26	28	28	5.5	5.2	1.6
China	86	93	99	108	7.9	6.8	9.1
Otros	40	43	45	49	6.8	6.4	7.0
Total	238	249	262	278	4.6	5.5	5.9

3.1.6 Productos de molibdeno y sus precios

El Molibdeno en el comercio internacional se vende en forma de los siguientes productos:

- a) Concentrado de molibdenita
- b) Óxido de molibdeno
- c) Ferromolibdeno
- d) Sales de molibdeno
- e) Molibdeno metálico, en polvo o compacto.

El precio del molibdeno ha subido considerablemente desde el 2004. En el 2003, el precio del molibdeno estuvo en torno a los 5 US\$/lb, y diez años después su precio es alrededor de 11 USD, esta evolución se puede observar en la Fig. 3.4. En los últimos 10 años, el molibdeno ha experimentado altas y bajas en sus precios, pero nunca ha descendido de los 7 US\$/lb, llegando a estar en los 36.65 US\$/lb en Mayo del 2005 ^[8].

El aumento de la oferta de molibdeno en los años 2010 y 2011, unido a la caída de la demanda Europea y Estadounidense en el 2012 y la disminución en el crecimiento del resto de los países consumidores en el 2012, generaron un mercado en condición de superávit, pero la contracción de la oferta en el 2012 y su leve crecimiento en el 2013 han contribuido a

disminuir el superávit. La transición hacia una condición de mayor equilibrio de mercado permitió dar sustento al precio y evitar una baja mayor.

Para el año 2014 Cochilco ^[7] proyecta un precio del molibdeno que fluctuaría en el rango entre 11 y 13 US\$/lb, con un valor medio de 12 US\$/lb, lo que implicaría un aumento de un 16.3% respecto del promedio alcanzado en el año 2013 (10.32 US\$/lb).

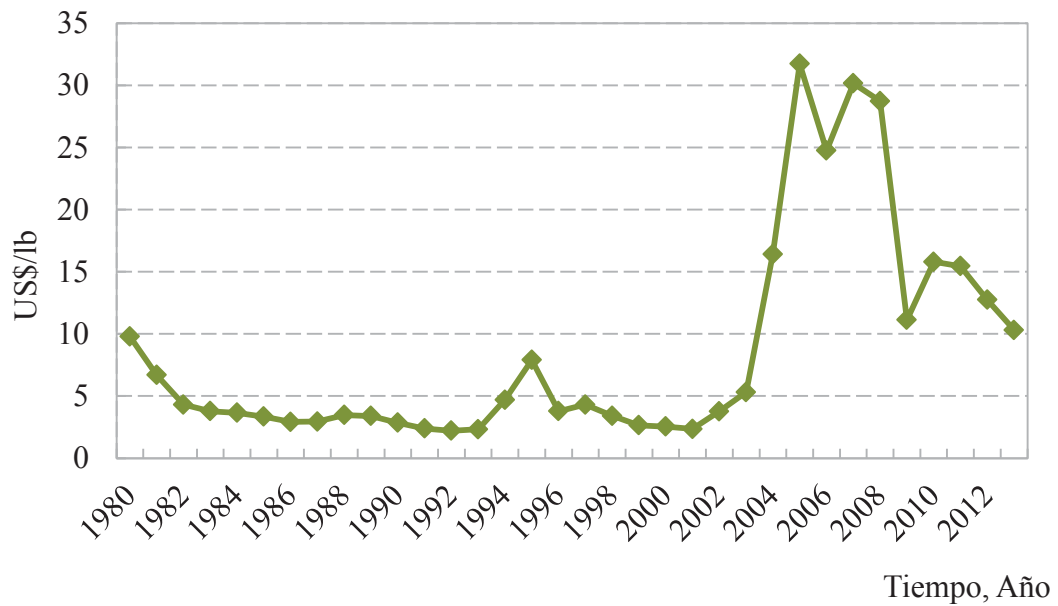


Figura 3.4: Comportamiento del precio del molibdeno desde 1980 ^[7].

3.1.7 Molibdeno en Chile

En Chile el molibdeno se obtiene como un subproducto de la minería del cobre, constituyéndose en el año 2013 en el cuarto más importante producto minero de exportación. Este metal, se obtiene luego del proceso de flotación colectiva y selectiva que se realiza en las plantas concentradoras.

La importancia del molibdeno no radica sólo en ingresos monetarios directos para la empresa. Sino que también, posee un valor adicional para la minería del cobre: su venta como subproducto permite recuperar recursos y reducir los costos totales de producción. Esto se

debe a que, principalmente, los costos de extracción y molienda de la molibdenita están asociados a los del metal principal, es decir, al cobre.

En el 2013 la producción chilena de molibdeno de mina, concentrados y óxidos, totalizó 38.7 mil TM, lo que implica un aumento de 10.3% respecto del año 2012, equivalente a 3.6 mil TM. La mayor producción se explica por un aumento de 7 mil TM por parte de Codelco, Anglo American y la minera Doña Inés de Collahuasi, quienes representaron el 51%, 34% y 15% de dicho aumento, respectivamente [7]. En la Fig. 3.5 se muestra el comportamiento de la producción chilena de molibdeno en un período de 12 años.



Figura 3.5: Producción Chilena de molibdeno mina, en miles de toneladas métricas [7].

A nivel nacional, Codelco es el principal productor de Mo. En el año 2012 representó el 55% de la producción nacional, aumentando en el año 2013 a un 59%. Por consiguiente, la minera Los Pelambres mantiene el segundo lugar con un 23% de participación. El tercer lugar en el año 2013 lo ocupa Anglo American, quienes lograron desplazar a la minera Doña Inés de Collahuasi.

Se proyecta que en el año 2014 la producción chilena de molibdeno llegaría a 44.9 miles de TM, con un aumento de 16% respecto del año anterior. En el 2015 la producción de

molibdeno llegaría a 52.8 mil TM, lo que significa un aumento de 17 % respecto del 2014. Esto se debe a la mayor producción de Sierra Gorda, Caserones, Codelco, Doña Inés de Collahuasi y Valle Central.

3.2 Fundamentos del proceso de flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico, que se utiliza para separar o concentrar especies minerales a través de la adhesión selectiva de burbujas de aire a partículas minerales. Se basa en los procesos fisicoquímicos que ocurren en las interfaces sólido-líquido, líquido-gas y sólido-gas.

La propiedad que permite la separación en un proceso de flotación, es la naturaleza hidrofóbica de las especies mineralógicas, de esta forma las partículas que flotarán son las que presentan mayor afinidad por el aire. Existen especies con hidrofobicidad natural, tales como el talco, el azufre, el grafito y la molibdenita, el resto de las especies son hidrofílicas, por lo que no son seleccionadas mediante una corriente de burbujas. Sin embargo, es posible flotar minerales muy variados mediante la acción de reactivos químicos adecuados. Estos reactivos, llamados colectores, modifican la superficie de las partículas minerales, aumentando sus propiedades hidrofóbicas y facilitando su flotabilidad.

Los colectores no son los únicos reactivos químicos utilizados en flotación, existen otros reactivos que se adicionan a los circuitos con el objetivo de modificar las condiciones de operación de modo de optimizar el proceso de flotación. Los reactivos químicos utilizados incluyen espumantes, activadores, depresores y modificadores de pH; entre otros.

Hoy en día la flotación es la técnica más económica y más utilizada para separar especies minerales de características químicas similares. El método permite concentrar minerales de alta o baja ley, simples o complejos. Es el medio de concentración más importante que permite concentrar: cobre, molibdeno, plomo, zinc, plata, manganeso, cromo, cobalto y tungsteno, etc.

3.2.1 Variables de operación en el proceso de flotación

La eficiencia del proceso de flotación y los resultados obtenidos son influenciados por un gran número de factores, los que deben ser mantenidos en sus valores óptimos para conseguir los mejores resultados.

Southerland y Wark ^[9] clasificaron las variables del proceso de flotación, según las etapas que las originan:

- a) Naturaleza de la mena mineral.
 - Mineralogía del mineral.
 - Asociación con otros componentes.
 - Presencia de impurezas.
 - Diseminación.
 - pH natural.
 - Procesos secundarios como la oxidación.

- b) Problemas específicos que se presentan en los circuitos de reducción de tamaño y de clasificación por los cuales tiene que pasar el mineral antes de su flotación.
 - En operaciones de trituración en seco y de molienda húmeda, el mineral se expone a la oxidación.
 - A través del contacto con el agua se produce la disolución de componentes de la mena.
 - Calidad del agua, ya que se usa en grandes cantidades y lleva materias disueltas.
 - Contaminación directa con fierro proveniente de los equipos de flotación.

- c) Variables operacionales del proceso de flotación.
 - Acondicionamiento de los reactivos.
 - Tamaño granulométrico del mineral.
 - Densidad de la pulpa.
 - pH del circuito.
 - Método de aireación de la pulpa.

- Tiempo de flotación.
- Tipo y dosificación de reactivos.

3.2.2 Reactivos utilizados en flotación

Los reactivos constituyen la parte más importante del proceso de concentración. En la etapa temprana del desarrollo del proceso de flotación, los mayores avances fueron debidos a mejores reactivos de flotación. Se ha comprobado que los efectos positivos o negativos causados por otras variables (molienda, aireación, densidad de sólidos, etc) nunca pueden sobrepasar en importancia los efectos de una fórmula de reactivos ^[10].

Estos compuestos químicos promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico químico del proceso. La adsorción de los reactivos se basa en un equilibrio de iones de la pulpa que determina el potencial cinético, electroquímico y la hidratación de las partículas minerales.

Según la función que desempeñan, los reactivos se clasifican en ^[11]:

- Colectores

Sustancias que conforman un grupo muy extenso de compuestos químicos orgánicos de carácter heteropolar, difieren en su composición química y función. El propósito básico del colector es conferir propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales. Estos reactivos se adsorben en la interfase sólido-líquido, y por lo tanto, proporcionan las condiciones de unión de las partículas hidrófobas a las burbujas de aire y la recuperación de dichas partículas en la espuma. De acuerdo a la capacidad de los colectores para disociarse en agua, se pueden dividir en colectores iónicos y no iónicos.

- Espumantes

Son compuestos de superficie activa heteropolar (tensoactivos) que reducen la tensión superficial del agua, y tienen la capacidad para adsorberse en la interface gas-líquido. Permiten la formación de una espuma estable, de tamaño de burbujas apropiado para llevar los minerales al concentrado. Su presencia en la fase líquida aumenta la resistencia de la

película de las burbujas de aire, proporcionando así una mejor fijación de partículas hidrófobas a las burbujas. Además, evitan el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia).

- Modificadores

Son compuestos químicos que incluyen activadores, reguladores de pH y depresores. Su función es crear condiciones favorables en la superficie de los minerales, modificando la acción del colector y como consecuencia regulando la selectividad del proceso de flotación.

Los activadores reaccionan directamente con la superficie del mineral, y proporcionan condiciones para la interacción de este mineral con el colector, favoreciendo de esta manera la formación de superficies hidrofóbicas.

Otros modificadores llamados depresores reducen la acción del colector sobre la superficie del mineral, facilitando su hidratación. Ambos, activadores y depresores, pueden ser compuestos orgánicos e inorgánicos.

El tercer grupo de modificadores son los reguladores de pH, éstos sirven para regular la composición iónica de la pulpa mediante el cambio de la concentración del ion hidrógeno, influyendo en el potencial electrocinético y en la película hidratada de los minerales. Por consiguiente, esto da como resultado una mejor interacción entre colector y mineral seleccionado y reduce la interacción colector con minerales indeseables. Los modificadores de pH también pueden ser depresores al mismo tiempo, por ejemplo, la cal y algunos ácidos orgánicos.

Otros grupos importantes de reactivos que no se pueden incluir en cualquier grupo de modificadores, son los dispersantes y floculantes, debido a la multiplicidad de funciones que pueden desempeñar.

Los dispersantes añadidos a una pulpa que contiene lamas o arcillas actúan como un medio de limpieza, y pueden mejorar la tasa de flotación de minerales particulares y reducir el consumo excesivo del colector.

Los floculantes son reactivos químicos con diferentes grupos polares, que también, se utilizan en el proceso de flotación. Estos polímeros naturales o sintéticos, normalmente tienen pesos moleculares que oscilan desde 20000 a varios millones, y pueden ser electrolitos y no electrolitos.

3.2.3 Cinética de flotación

La cinética de flotación se define como la variación del producto removido en la espuma con relación al tiempo, y la identificación cuantitativa de todas las variables que controlan la flotación. El objetivo de la cinética de flotación es determinar la ecuación de velocidad, la cual relaciona la porción de material que es flotado con el tiempo de flotación y depende de la cantidad de partículas flotables que aún permanecen en la celda en ese instante ^[12].

Para realizar una prueba cinética donde una celda Batch es alimentada con una cierta cantidad de mineral se determina la masa de concentrado en función del tiempo, para ello se colecta concentrados parciales a distintos tiempos de flotación, los que son pesados y caracterizados por ley del elemento de interés. Con los resultados obtenidos se determina la cantidad de metal fino para cada bandeja y conociendo el fino alimentado junto con el material fino de cada bandeja, se calcula la recuperación del metal. También se calcula la recuperación acumulada y se gráfica para obtener las curvas de recuperación acumulada en función del tiempo ^[13].

La recuperación acumulada aumenta con el transcurso del tiempo de flotación y la curva se hace asintótica a un cierto valor máximo de recuperación. Esta relación entre % de recuperación y tiempo permite definir el concepto de velocidad. Las variaciones de velocidad dependen de condiciones operativas tales como tipo de celda de flotación, flujo de aire, granulometría, % de sólidos, ley de alimentación, pH y reactivos químicos ^[14].

Uno de los primeros trabajos de investigación sobre la cinética de flotación fue publicado en el año 1935 por García y Zuñiga, en el que se determina una descripción matemática y se reconoce que la cinética de flotación puede ser representada de modo análogo a las ecuaciones de cinética química de primer orden, por la ecuación diferencial ordinaria ^[12]:

$$\frac{dC}{dt} = -k * C^n \quad (i)$$

Donde:

k, es la constante cinética específica de flotación.

C, es la concentración del material flotable.

n, es el orden de la reacción.

Para esta analogía se considera que todas las partículas tienen idéntica flotabilidad, y no se contempla la distribución de tamaños de partículas y burbujas existentes generalmente en una celda de flotación. Además se asume la concentración de aire, reactivos químicos y otros parámetros de flotación se mantienen constantes y se incorporan en el valor de k. Por ende el valor de k es una medida cuantitativa de la probabilidad de que las partículas de una especie sean recuperadas en el concentrado.

Existe una amplia gama de modelos cinéticos, de los cuales los más utilizados son ^[12]:

1. Modelo de primer orden clásico desarrollado por García y Zuñiga

$$R = R_{\infty} * (1 - e^{-kt}) \quad (ii)$$

2. Modelo de primer orden con distribución rectangular de velocidades formulado por Klimpel

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

Los parámetros k y R_{∞} se pueden determinar simultáneamente utilizando ajuste matemático por minimización de error cuadrático.

3.3 Flotación de Molibdenita

La recuperación por flotación de molibdenita es fundamental en la producción de molibdeno, porque ella es el único método de concentración usado hoy en día para el beneficio de minerales de molibdeno y la única fuente importante de molibdeno. La mayor parte de este disulfuro (MoS_2) se obtiene como subproducto en la flotación de minerales de cobre [6].

3.3.1 Estructura y flotabilidad natural de la molibdenita

La estructura cristalina de la molibdenita fue determinada por Dickson y Pauling en 1923. Esta especie tiene un peso molecular de 160.06 g y contiene 59.9% en peso de molibdeno y un 40.1 % en peso de azufre [15].

La molibdenita es un sulfuro que presenta flotabilidad natural a causa de su estructura cristalina. Este mineral tiene una unidad estructural hexagonal tipo laminar, en la cual muestra la presencia de capas poliédricas en coordinación con prismas trigonales, donde cada átomo de molibdeno está rodeado de 6 átomos de azufre en los vértices de prismas triangulares, a una distancia aproximada de 0.242 nm entre Mo-S. Estos prismas comparten sus extremos verticales para formar una capa de S-Mo-S. Como se observa en la Fig. 3.6 el cristal de molibdenita está constituido por capas horizontales de S-Mo-S, una sobre la otra [15].

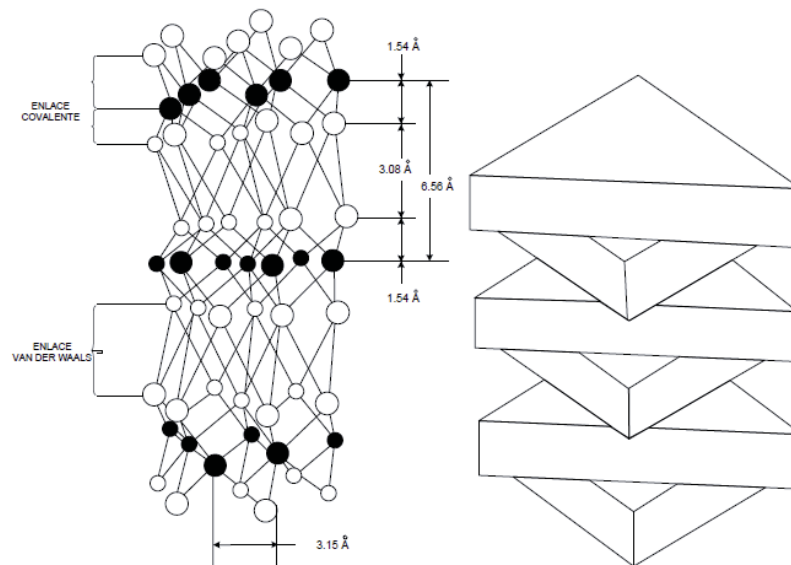


Figura 3.6: Estructura cristalina de la molibdenita [18].

En la estructura cristalina del disulfuro de molibdeno se tienen dos tipos de enlaces: un enlace covalente entre átomos de Mo-S y débiles fuerzas de Van der Waals entre capas de S-Mo-S. Debido a la característica estructural, las partículas de molibdenita presentan dos tipos distintos de superficie; una superficie que se crea por la ruptura de enlaces Van der Waals, que se conoce como cara y una superficie que se genera por la ruptura de enlaces covalentes, que se conoce como borde ^[16].

La ruptura de cristales de molibdenita a lo largo de las caras, crea superficies no polares (hidrofóbicas) que se caracterizan por su baja energía, la cual les permite tener mayor afinidad con los líquidos de baja energía o tensión superficial como los hidrocarburos saturados, que con líquidos de alta energía superficial como el agua. En los bordes, la ruptura de enlaces covalentes crea superficies polares (hidrofilicas), que son químicamente activas con el agua ^[16].

Este carácter heterogéneo de la superficie de las partículas de molibdenita es de particular importancia en flotación. La relación cara/borde, que depende del tamaño de partícula, determina la flotabilidad natural de la molibdenita. 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 ^[17].

3.3.2 Molibdenita en solución acuosa

La molibdenita es un sólido de baja energía superficial, con baja afinidad por las moléculas de agua y difícil mojabilidad. En los diagramas de Pourbaix se puede observar las especies que se forman en un sistema acuoso y el rango de estabilidad de los elementos y compuestos. M. Solar ^[19], clasificó los reactantes y los productos de existencia más probables para la molibdenita en un medio acuoso en 3 subsistemas, éstos son:

- Subsistema del molibdeno: Mo, MoS₂, MoO₃, MoO₂, Mo⁺³, H₂MoO₄, HMoO₄⁻, MoO₄²⁻.
- Subsistema del azufre: S, SO₄⁻², H₂SO₄, HS⁻, H₂S.
- Subsistema del agua: H₂O, H⁺, O₂, H₂.

A continuación, la Fig. 3.7 representa el diagrama de estabilidad para el sistema Mo-S-H₂O a 25°C.

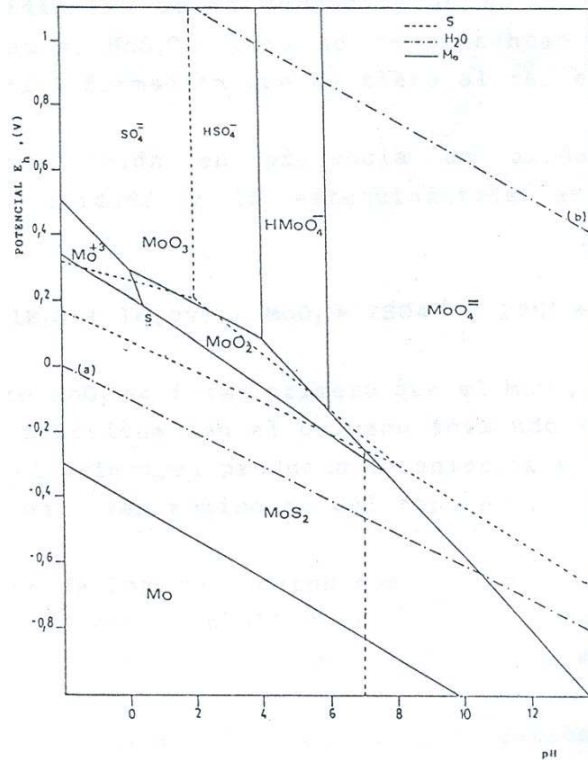


Figura 3.7: Diagrama Eh-pH para el sistema Mo-S-H₂O [20].

La inestabilidad de la molibdenita en medio acuoso se debe al estado de oxidación tetravalente que tiene el molibdeno en el sulfuro, por lo que tiende a oxidarse y pasar al estado hexavalente del molibdeno, que es el de mayor estabilidad. En el rango ácido la molibdenita pierde estabilidad a potenciales mayores que 0.45 V y en el rango alcalino a potenciales del orden de -1 V [21].

Al exponer la molibdenita al oxígeno o al agua, la oxidación predomina en los bordes y se forman compuestos superficiales conocidos como tiomolibdatos (MoS_xO_y) [22].

Cuando la molibdenita se disuelve parcialmente, las especies que pasan a la solución en un rango de pH entre 4 y 14, son dos iones correspondientes a los compuestos que presentan el molibdeno en estado de oxidación +6, estos son: el anión ácido HMoO_4^- y el anión molibdato MoO_4^{2-} . La formación de estas especies depende del pH, según el diagrama de Pourbaix a

25°C para valores de pH entre 4 y 6 predomina el anión HMoO_4^- , y para valores de pH entre 6 y 14 predomina el MoO_4^{2-} [21].

3.3.3 Fenómenos eléctricos sobre la superficie de la molibdenita

El potencial electrocinético también conocido como potencial zeta, depende de la relación cara/borde de las partículas de MoS_2 , a mayor relación cara/borde el potencial es más negativo. La repulsión eléctrica entre la partícula de molibdenita y la burbuja de aire aumenta con el incremento del potencial zeta, provocando una disminución de la adherencia entre partícula y burbuja. Esta probabilidad de adherencia disminuye mientras menor es el tamaño de la partícula, es decir, la relación cara/borde decrece [23].

Chander y Fuerstenau [24] postularon que las caras y los bordes de la molibdenita tienen distintas contribuciones al potencial zeta medido; el potencial de las caras es pequeño y el de los bordes es más grande. Por lo tanto, el mayor aporte a la carga negativa del potencial zeta en la superficie de la molibdenita es entregado por los bordes, por lo que estos sitios son los que controlan el potencial. Estas regiones conocidas como bordes se forman por la ruptura de enlaces covalentes y son sitios muy activos que puedan reaccionar con el oxígeno o el agua para formar sitios oxigenados en la superficie de la MoS_2 . Estos sitios oxigenados, proponen Chander y Fuerstenau [23], son iones de HMoO_4^- o MoO_4^{2-} los cuales determinan la carga eléctrica en los bordes.

Además, Chander y Fuerstenau [24] encontraron una relación entre el potencial zeta y el pH para la molibdenita, mostraron que el potencial zeta de la MoS_2 en estado natural es negativo sobre todo el rango de pH. El potencial varía entre -40 y -55 mV, y su valor es menos negativo entre pH 5.5 y 6.5. En soluciones ácidas los valores negativos del potencial son atribuidos a la formación MoO_3 , y en soluciones alcalinas el potencial zeta es controlado por la formación de MoO_4^{2-} sobre la superficie del mineral. Cerca de un potencial de -40 mV, la flotación alcanza una máxima recuperación.

3.3.4 Planteamiento metalúrgico de la flotación de molibdenita

El concentrado de molibdeno se recupera a partir de minerales, donde la concentración varía desde 0.2 a 0.5 % de molibdenita, y se encuentra acompañada de otros metales útiles como cobre, pirita, plomo, estaño, tungsteno y otros; o desde pórfidos de cobre, los que junto con contenidos de cobre 0.3 a 2 %, contienen pequeñas cantidades de molibdenita que varía desde 0.01 % a no más de 0.1 %. Tales cantidades mínimas de molibdenita requieren una tecnología que sea suficientemente eficiente y simple para ser económicamente atractiva, y la flotación es el único proceso que cumple ambas condiciones ^[6].

En la Concentradora de División Salvador de Codelco, la molibdenita se recupera desde pórfidos de Cobre. La tecnología de flotación, con estos yacimientos de baja ley, consiste en las siguientes etapas.

1. Chancado y molienda, para una liberación óptima de los metales útiles.
2. Flotación colectiva, para la separación de Cu y Mo desde los minerales de la ganga.
3. Flotación selectiva de molibdenita.
4. Enriquecimiento final del concentrado de molibdenita, incluyendo la eliminación de impurezas.

La recuperación por flotación de molibdenita desde pórfidos de cobre tiene que resolver la separación de tres tipos de componentes: (a) molibdenita, (b) sulfuros no ferrosos, y (c) minerales de la ganga incluyendo pirita. Las características básicas que hace posible esta separación es la distinta mojabilidad de estos tipos de minerales, que hacen el desplazamiento de la interfase sólido-líquido por la interfase sólido-gas relativamente fácil, bajo condiciones específicas controladas.

La molibdenita debido a su estructura laminar es repelente al agua en la mayor parte de su superficie y, por lo tanto, el mineral más hidrófobo del grupo. Es seguida de la pirita y los sulfuros de cobre, que son semiconductores con enlaces covalentes. Estos minerales pueden llegar a ser fuertemente hidrófobos por la acción de colectores tipo sulfhidrato, que los discrimina de otros compuestos iónicos que contienen oxígeno, que es el caso de los minerales de la ganga. Los minerales de la ganga tienen superficies que fijan fácilmente

dipolos de agua y son bajo condiciones normales, muy hidrófilos. Por ende, en la primera etapa se debe separar los componentes útiles de la ganga, y así, se reducirá considerablemente el volumen a tratar, eliminando inmediatamente casi todos los componentes no deseados.

La segunda etapa en la recuperación por flotación de molibdenita es su separación de los sulfuros de cobre. Esto se consigue ya sea por depresión de los sulfuros de cobre o por depresión de molibdenita.

La depresión de molibdenita puede justificarse sólo cuando su contenido en el concentrado de cobre es relativamente alto, sobre 1 %. Sin embargo, la posterior reactivación de molibdenita para su recuperación y enriquecimiento, después que ella ha sido deprimida, es dificultosa e involucra problemas con el resto de minerales de cobre y de la ganga. Entonces, la flotación de molibdenita y depresión de los sulfuros de cobre es adoptada como práctica general, aun cuando esto implique un consumo considerable de depresor, debido al gran volumen de sulfuros a depresar.

3.3.5 Esquema de reactivos en la separación de molibdenita desde el concentrado Cu-Mo

La separación de Cu-Mo puede ser considerado como un proceso relativamente complejo, y por lo general depende de la naturaleza y la composición del concentrado primario de Cu-Mo, y también de los reactivos utilizados en flotación primaria o colectiva. Algunos de los principales parámetros que afectan a la selección de técnicas de separación del concentrado colectivo Cu-Mo incluyen los siguientes ^[11]:

- El tipo de colector utilizado en la flotación colectiva Cu-Mo. Si se utiliza xantato como colector de sulfuros de Cu y MoS₂ en la flotación colectiva, por consiguiente, la desorción del colector de la superficie del mineral se consigue, ya sea con Na₂S o sulfhidrato de sodio.
- El tipo de minerales de cobre presente en el concentrado colectivo.
- El contenido de impurezas en el concentrado colectivo también se considera como un parámetro importante en la selección del método de separación Cu-Mo.

Hoy en día, se encuentra disponible una gran cantidad de métodos de separación de Cu- Mo y se han implementado en varias plantas de flotación selectiva. Algunos de los depresores más importantes que se utilizan industrialmente, se presentan a continuación:

- El sulfhidrato de sodio (NaHS) se usa para deprimir los sulfuros de cobre y la pirita. La tendencia actual en la separación cobre y molibdeno ha sido utilizar como reactivo depresante el sulfhidrato de sodio. En algunos casos, el concentrado final de molibdenita puede estar sujeto a un tratamiento de lixiviación en las etapas finales de limpieza cloruro férrico o con cianuro para remover el cobre residual ^[25].

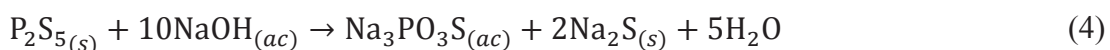
Este reactivo resulta de la reacción entre H₂S gaseoso y NaOH. Las ecuaciones siguientes muestran la formación de NaHS y su disociación.

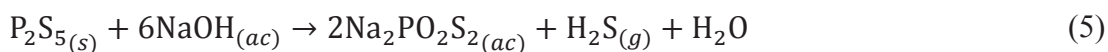


- El reactivo de Nokes, en base a compuestos tiofosfóricos y tioarseniacaes, se usa ampliamente en la separación del molibdeno desde el cobre, causando la depresión de minerales de cobre y la pirita. Luego en las etapas finales de limpieza a menudo requieren la adición de cianuro de sodio.

Existen dos tipos de reactivos de Nokes, el Fosfato ORLR 744 y el Anamol-D ^[25].

- a) Fosfato ORLR 744, este reactivo es un producto de la reacción de P₂S₅ con un exceso NaOH. Se utiliza en complemento el cianuro de sodio en las etapas de limpieza final y en algunos casos, se utiliza junto con NaHS ^[25]. El reactivo ORLR 744 se prepara mezclando P₂S₅ con exceso de NaOH. Castro ^[26] postuló las siguientes reacciones:

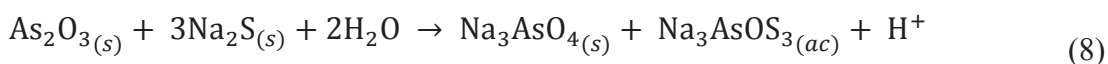
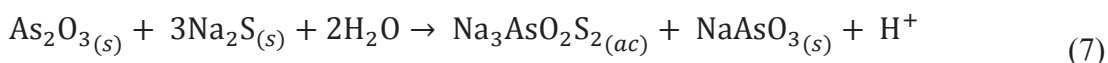




Este reactivo inorgánico se prepara fácilmente, pero implica una manipulación muy peligrosa pues se desprende gas de H₂S y puede aumentar drásticamente si la reacción escapa de control.

b) Nokes arsenioso o Anamol-D, este reactivo es un producto de reacción de As₂O₃ y Na₂S, se usa solo o en combinación con NaCN o K₄Fe(CN)₆ [25].

El reactivo Nokes arsenioso o Anamol D se prepara por reacción de 20% trióxido de arsénico y 80% de sulfuro de sodio, esta reacción implica la formación de tioarseniatos y arseniatos. El Anamol-D resulta de la siguiente reacción [6]:



c) Otro mecanismo de depresión complementario es con cianuro. Este se añade generalmente en la etapa de limpieza del concentrado [25].

El control de la adición de reactivo depresante se realiza generalmente por métodos electroquímicos, es decir utilizando la técnica potenciométrica. Lo anterior es posible dado que los reactivos empleados en la depresión de Cu y Fe son reductores fuertes y bajan el potencial óxido-reducción de la pulpa. Por lo tanto el control de Eh se realiza en distintos puntos de la planta. Cuando se utiliza NaHS o Na₂S el Eh requerido es de -400 a -600 mV, en el caso de utilizar Anamol-D el Eh debe ser ajustado entre los -450 a -500 mV y con el Fosfato ORLR 744 se requiere un Eh entre -200 a -500 mV, estas mediciones corresponden a un electrodo de Ag/AgCl [27].

3.3.6 Mecanismo de acción de los depresantes sulfurosos

El grupo de depresores que incluyen NaHS y reactivo de Nokes implican el mecanismo de depresión con sulfuro de sodio. Wark y Cox ^[28], observaron hace unos 40 años que la adsorción de un colector en la superficie de los sulfuros depende de manera crítica de la concentración del sulfuro de sodio por hidrólisis de los iones HS⁻ en solución. De esta forma, hay una concentración mínima de iones HS⁻ que permite la adsorción de colectores en superficies minerales, sobre esta concentración los aniones de los colectores se mantienen alejados de la superficie mineral en la solución. Por lo tanto, estos mecanismos son responsables de la desorción del colector desde la superficie mineral.

El gran problema de este sistema radica en que el ión HS⁻ es inestable y se degrada rápidamente en presencia de oxígeno disuelto. Esta degradación es catalizada por la superficie de las propias partículas minerales ^[27].

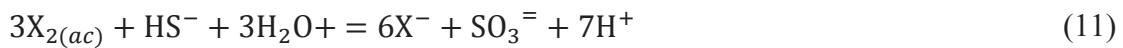
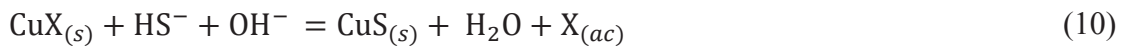
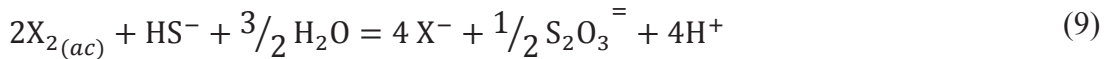
Vartanian y Gomelaury ^[29] pudieron observar que mientras que concentraciones excesivas de sulfuro de sodio deprimen otros sulfuros, la flotabilidad de la molibdenita permanece inalterable. Para controlar la depresión de los sulfuros de cobre y hierro, la concentración de sulfuro de sodio no debería ser menor que 0.2 g/l, el medio deberá ser alcalino y todo el sistema debe ser automáticamente controlado por instrumentos potenciométricos.

En flotación colectiva de Cu-Mo los xanthatos son fijados en la superficie del mineral por adsorción química del xanthato cuproso o adsorción física de los dixantógenos ^[6]. Por consiguiente en flotación selectiva de MoS₂, la presencia del Na₂S provoca que el xanthato cuproso se descomponga formando sulfuros de cobre y aniones xanthicos. Además, los iones HS⁻, vitales tanto para la remoción de xanthato cuproso como para la reducción de fosfatos y arseniatos (generalmente tío-arseniatos y tío-fosfatos) tienden a adsorberse en las partículas minerales confiriéndoles propiedades hidrófilas. En el caso de tío-arseniatos, se ha probado que ellos refuerzan la acción depresora evitando nuevamente la re-adsorción de colectores, y neutralizando las propiedades colectoras de xanthato, cuando ocurre re-adsorción.

El uso de sulfhidrato de sodio ha aumentado en el último tiempo, puesto que es la forma más directa para desadsorber xanthatos, pero tiene el inconveniente de un efecto rápidamente

decreciente, lo que requiere un control muy estricto para su concentración crítica. Junto con esto, el uso de NaHS, sin agregar sales de fósforo o arsénico, ayuda a facilitar la readsorción de xanthatos.

La química básica de la desadsorción del xanthato y dixantógeno por los iones HS^- puede ser presentada como sigue ^[6]:



Estas reacciones explican que la depresión de los sulfuros de cobre depende directamente de la velocidad de desaparición de los iones HS^- y que es causada tanto por la adsorción química como la oxidación del reactivo, mientras que los otros componentes del reactivo (compuestos de arsénico y fósforo) sirven sólo para reforzar su acción o hacerla irreversible.

El NaHS al estar en solución se hidroliza y el H_2S se disocia. Para pH ácidos la especie predominante en solución es el H_2S , para pH alcalinos desde 8 a 13 la especie predominante será el ión HS^- y para pH superiores a 13 la concentración del ión $\text{S}^{=}$ se hará significativa.

Con Anamol-D, los iones HS^- son más importantes como depresante que los compuestos de arsénico, los que funcionan sólo como un inhibidor de oxidación. En el depresor ORLR 744, existe poca concentración de iones HS^- , lo que sugiere que los compuestos de fosforosos son los responsables de la depresión de sulfuros ^[6].

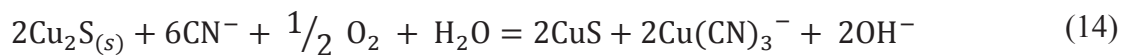
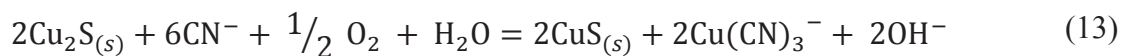
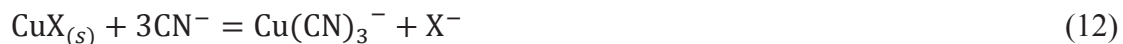
Si comparamos el depresor ORLR 744 y Anamol-D, se tiene que el ORLR 744 deprime casi todos los sulfuros, pero se comporta mejor con concentrado que contiene cobre y hierro, mientras que el Anamol-D es más efectivo con minerales de enriquecimiento secundario, que contienen covelita y calcosita ^[30].

Por otra parte el NaHS es el depresante de mayor uso en la actualidad, este reactivo es altamente crítico tanto en su manipulación y preparación. La solución de NaHS es de alta

toxicidad, y libera ácido sulfhídrico (H₂S) gaseoso a temperaturas normales aumentando su velocidad de generación con la temperatura. Este modificador presenta ventajas frente al reactivo de Nokes, debido a su facilidad de manipulación y preparación, disponibilidad, baja toxicidad, y además, su uso es conveniente cuando la calcopirita está presente en el concentrado colectivo Cu-Mo como un mineral principal ^[11].

Las principales desventajas del reactivo de Nokes comparado con el NaHS corresponden a problemas con la espumación, contaminación del concentrado de molibdeno con fósforo o arsénico y un mayor consumo ^[6].

En el caso de depresión con NaCN el mecanismo de acción es también la desadsorción del colector, pero además de esto, ocurre una lixiviación química del cobre desde las superficies minerales. Las reacciones básicas de estos procesos son ^[6]:



En el caso de dixantógenos, el cianuro los reduce primero a los xanthatos y luego tienen lugar las reacciones anteriores. En general los cianuros son consumidos rápidamente, siendo el producto final complejos, Cu(CN)₃. Cuando los iones CN⁻ desaparecen de la pulpa, la readsorción de los xanthatos tiene lugar.

3.3.7 Causas que afectan la flotabilidad de la molibdenita

Mundialmente las recuperaciones globales de molibdeno son de aproximadamente 50.8%, una recuperación menor comparada con la de cobre de 84.8%. Las causas de las estas bajas recuperaciones de molibdeno se debe a: (a) Imposibilidad de flotar molibdenita contenida en el mineral por falta de liberación, por molibdenita alterada, oxidada o asociada a ganga silicosa y por tipos anormales de mineralización, como puede ser la Wulfenita; (b) Pérdida de una fracción de molibdenita en el proceso de concentración primaria o en la separación de

molibdenita y cobre; c) Depresión de molibdenita por efecto de la cal, esto constituye el principal problema de la recuperación de la molibdenita.

La eficiencia de flotación es fuertemente afectada por la distribución de tamaño del mineral que se produce en molienda y por reactivos empleados en la flotación colectiva. En los minerales de cobre tipo pórfidos, el nivel de molienda y esquema de flotación se establecen para la recuperación de cobre y no para el molibdeno; estas condiciones de molienda y flotación no son necesariamente las adecuadas para la óptima flotación de molibdenita [23].

El exceso de finos se genera normalmente en la remolienda de concentrado primario. Los finos de molibdeno no flotan en los circuitos de limpieza de cobre y se pierden en los relaves primarios, disminuyendo la recuperación de molibdeno en el proceso de flotación selectiva [30]. En la Fig. 3.8 se muestra el efecto del tamaño de partícula en la recuperación de Cu y de Mo.

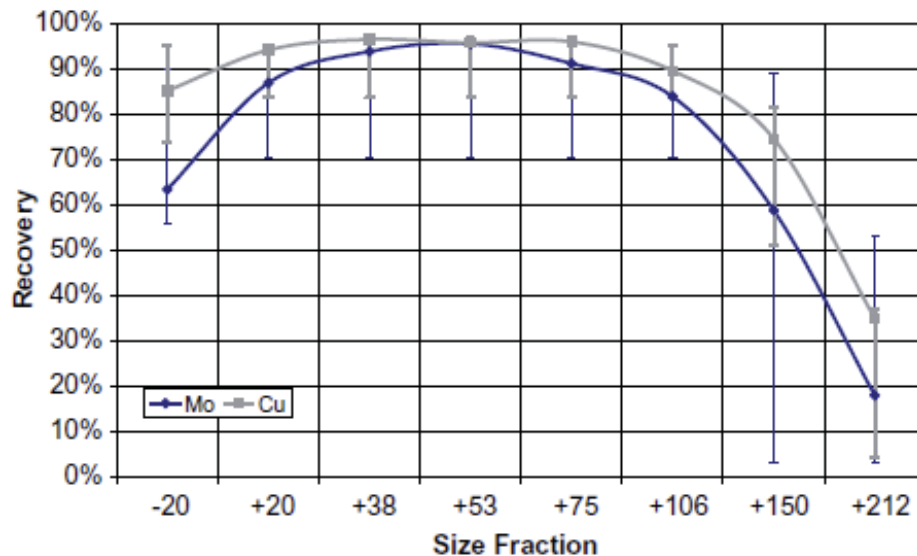


Figura 3.8: Curva de recuperación de Mo y Cu v/s tamaño de partícula [31].

Por otro lado la presencia de covelita en el concentrado mixto genera problemas de disminución en la ley, debido a su alta resistencia a la depresión. La forma usual de limpiar estos concentrados es por una lixiviación con NaCN [32].

La calidad del agua también presenta gran importancia en la flotación selectiva de molibdenita. El uso de agua recuperada conduce a incrementar los iones Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , coloides y aniones inorgánicos que afectan negativamente el proceso de concentración diferencial ^[32].

3.3.7.1 Efecto depresor del ión calcio en la flotación de la molibdenita

El principal problema que se origina en la recuperación de molibdenita se debe a que este mineral es obtenido como un subproducto en las plantas concentradoras de sulfuros de cobre. En estos circuitos de flotación colectiva de Cu-Mo se agrega cal para ajustar el valor de pH entre 9 y 12, con el fin de deprimir pirita (FeS_2). Con esta adición de cal se incorpora a la pulpa iones Ca^{2+} , los cuales disminuyen notoriamente la flotabilidad natural de la molibdenita, provocando bajas recuperaciones de este mineral. Malhotra ^[33] al estudiar el efecto de varios reactivos sobre la flotación de molibdenita, encontró que para concentraciones de Ca^{2+} a pH superiores a 8.5 regulado por la adición de cal, la molibdenita se hace hidrofílica y por esto se obtienen recuperaciones deficientes.

La presencia de iones calcio hace menos negativo el potencial zeta de la molibdenita ^[23], tal como se muestra en la Fig. 3.9. Estos iones presentan baja afinidad por las caras de la molibdenita y disminuyen levemente el ángulo de contacto, pero en forma de CaOH^+ tienen una alta afinidad por los bordes, adsorbiéndose con los sitios aniónicos de molibdato, formándose molibdatos de calcio en los bordes de molibdenita.

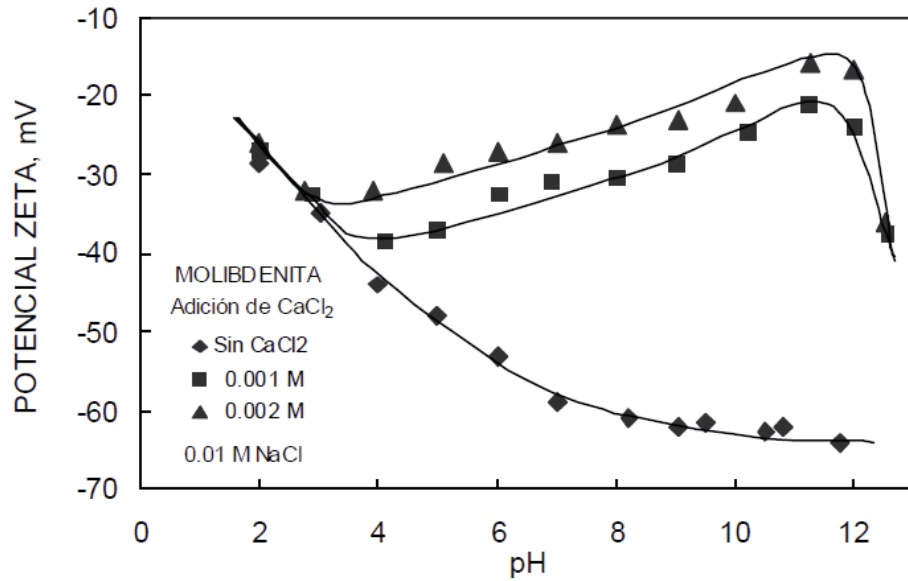


Figura 3.9: Potencial Zeta de MoS₂ en función del pH en presencia y ausencia de iones calcio ^[23].

Como consecuencia de la adsorción de las especies de calcio sobre la superficie de la MoS₂, los bordes aumentan su hidratación ^[23], por lo que disminuye la probabilidad de adherencia y la flotabilidad de MoS₂. En la Fig. 3.10 se puede apreciar el efecto de los iones calcio en la flotabilidad de partículas de MoS₂.

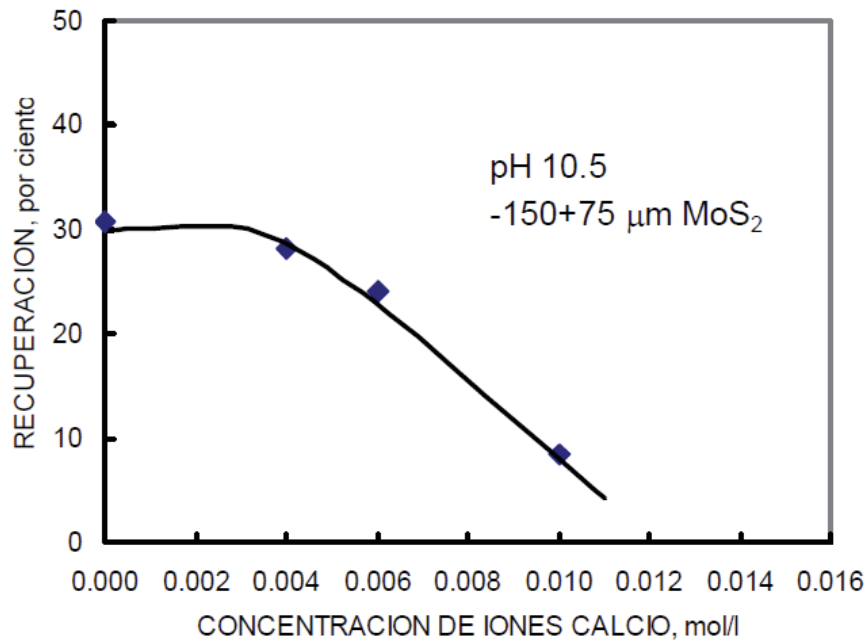


Figura 3.10: Efecto de iones calcio en la recuperación de partículas de MoS₂ [23].

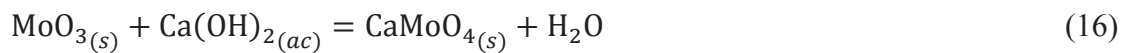
Paredes [34] comprobó que a valores de pH superiores a 9, la acción depresora de la cal sobre la MoS₂ está asociada a la fijación de las especies de calcio sobre la superficie de ésta, la que es considerablemente mayor a pH alcalino (pH>9), que es el rango donde se manifiesta mejor el efecto depresor de la pirita. A pesar de esta situación, Beas [35] afirma que si se toma la decisión de reducir el pH en la flotación colectiva, desde valores que están sobre 12 a un valor de pH igual a 10, el contenido de molibdeno en los relaves se reduce a la mitad, pero por el contrario los contenidos de hierro aumentan de 20 a 25%, y el cobre baja de 32 a 28% en los concentrados finales Cu-Mo, lo que en ningún caso es óptimo.

Melani [36] explica que al adsorberse los iones calcio pueden precipitar dos productos sobre la superficie de la MoS₂; Ca(OH)₂ y CaMoO₄. El primero depende tanto del pH y de la concentración de calcio y el CaMoO₄ depende de la concentración de calcio y del ión MoO₄²⁻. Por tanto, la MoS₂ puede recubrirse de una capa de especies de calcio, provocando la pérdida de la flotabilidad natural de este sulfuro.

Los iones Ca^{2+} neutralizan una cantidad igual del ión MoO_4^{2-} adsorbidos en la superficie de la MoS_2 según la siguiente reacción ^[22]:



La cal y un ambiente altamente alcalino hacen que las partículas de MoS_2 no floten y se pierdan en los relaves, ya que al estar oxidada y en presencia de iones calcio genera una superficie hidrofílica, formando Powellita. Esta reacción se muestra a continuación ^[22]:



Además, la acción depresora de la cal ocurre en la zona donde predominan las especies de calcio; Ca^{2+} , CaOH^+ , $\text{Ca}(\text{OH})_2{}_{(aq)}$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2{}_{(s)}$. A continuación se muestran las reacciones de formación del precipitado coloidal $\text{Ca}(\text{OH})_2{}_{(s)}$ ^[22].



3.3.7.2 Efecto activador del ácido sulfúrico en la flotación de la molibdenita

Como se mostró en el punto 3.3.7.1, la flotabilidad natural de la molibdenita se ve deteriorada por la adición de cal. Para mejorar este inconveniente algunas plantas de flotación selectiva de molibdenita adicionan ácido sulfúrico (H_2SO_4) como agente modificador de pH, acondicionando la pulpa en una etapa previa a la flotación, pues se ha demostrado que disminuir el pH alrededor de 7-8, mejora significativamente la recuperación de la molibdenita.

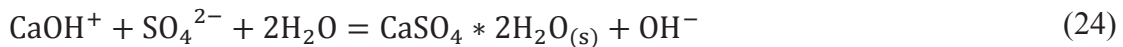
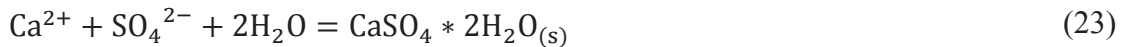
La flotabilidad de molibdenita se incrementa a medida que se va acidificando la solución con la adición de H₂SO₄. Esto se debe a que el ácido limpia la superficie de la molibdenita dejándola libre de las especies de calcio.

El acondicionamiento del concentrado Cu-Mo con H₂SO₄, produce la disolución de Ca(OH)_{2(s)} que se encuentra en la superficie de la molibdenita, y además precipita las especies solubles como Ca(OH)⁺ y Ca²⁺. Simultáneamente estos iones reaccionan y forman yeso coloidal (CaSO₄*H₂O) provocando un aumento en la recuperación de Mo. Lo anterior se explica según las siguientes reacciones [22].

Reacciones de disolución:



Reacciones de precipitación:



3.3.7.3 Aplicación del nitrógeno en flotación de molibdenita

En la mayoría de las plantas de flotación selectiva de MoS₂, en las celdas de flotación se ha incorporado el uso de nitrógeno gaseoso en vez de aire como método de aireación. De todos los gases el nitrógeno es el que tiene mayor aplicación en la concentración selectiva de molibdenita, debido a que es un gas de fácil disponibilidad y es químicamente inerte, por lo que no interactúa con los constituyentes presentes en el concentrado Cu-Mo. El uso de este

gas inerte en lugar del aire reduce la oxidación indeseable del depresante de Cu y Fe, y a su vez disminuye el consumo de reactivo, haciendo el proceso de flotación más eficiente.

Desde el punto de vista de procesamiento el nitrógeno tiene dos efectos de interés ^[37]. En primer lugar, reduce la actividad del oxígeno en la pulpa y, como consecuencia, disminuye el potencial de la pulpa. Ambos efectos influyen directamente en la flotación selectiva de MoS₂.

El consumo de depresantes compuestos por sulfuro de sodio en el proceso de flotación selectiva de MoS₂ es de aproximadamente 300 veces superior que la cantidad calculada a partir de la estequiometría de la reacción. Esta gran diferencia se debe a la inestabilidad del depresante en presencia del contenido de oxígeno del aire y el oxígeno disuelto en el agua y también, por la adsorción del depresante en los finos contenidos en el concentrado Cu-Mo ^[37].

Cuando se añaden depresantes en base a sulfuro de sodio, este se hidroliza y luego se disocia para formar iones HS⁻, los que son responsables de la depresión de los sulfuros de Cu y Fe. En el punto 3.3.6 se explica el mecanismo de acción de este tipo de depresantes. Los iones HS⁻ son consumidos por el oxígeno disuelto en el agua o el aire, originando una mayor demanda de iones HS⁻ y por ende un mayor consumo de depresante y una menor recuperación de MoS₂. Luego de la oxidación del ión HS⁻, se forman especies tales como iones tiosulfato (S₂O₃²⁻), iones sulfito (SO₃²⁻) y los iones sulfato (SO₄²⁻). Por lo tanto, se tiende a emplear el nitrógeno como gas de flotación, ya que la adición de aire provoca la oxidación del ion HS⁻.

Chander y Fuerstenau ^[38], concluyeron que el consumo de sulfuro de sodio se puede reducir en un 48% cuando se usa nitrógeno en lugar de aire, en flotación selectiva de MoS₂. Estudios realizados Poorkani y Banisi ^[37], también demostraron que emplear nitrógeno en la flotación selectiva de MoS₂ reduce significativamente el consumo de reactivo depresante, en promedio, por cada tonelada de la alimentación el consumo de sulfuro de sodio se reduce en un 19.7 % cuando se sustituye el aire por nitrógeno en celdas de flotación. Tal como se muestra en la Fig. 3.11 el consumo de sulfuro de sodio disminuye cuando se utiliza nitrógeno como medio de aireación en la planta de flotación selectiva de Sarcheshmeh.

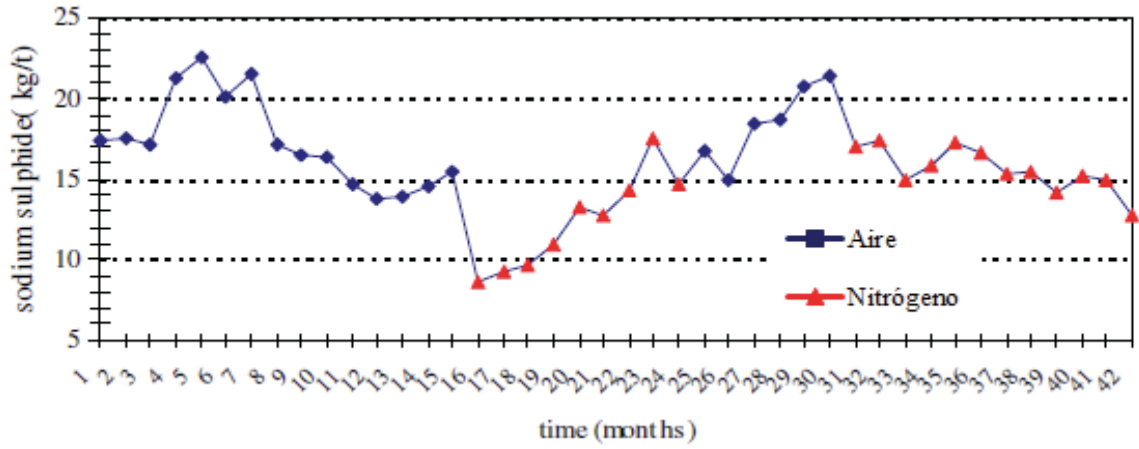


Figura 3.11: Comparación del consumo de sulfuro de sodio utilizando aire o nitrógeno durante un periodo de 42 meses en la flotación selectiva de MoS₂ en Sarcheshmeh ^[37].

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE TRABAJO ESTADÍSTICO Y EXPERIMENTAL

El desarrollo de este estudio se divide en dos etapas principales, la primera de ellas consiste en la recopilación y construcción de una base de datos del consumo histórico de reactivos depresantes y otras variables, y en la segunda etapa se realizan pruebas de flotación de molibdenita utilizando reactivos depresores de planta y alternativos. Las pruebas experimentales se realizaron a nivel de laboratorio.

4.1 Trabajo estadístico

Se construyó una base de datos para analizar el comportamiento histórico de la dosificación de reactivos en la planta de molibdeno, y además para determinar el efecto sobre la recuperación y la ley de molibdeno de cada reactivo usado en la planta de concentración selectiva. Los reactivos depresantes utilizados en la planta de molibdeno de División Salvador representan el 30% de los costos en el proceso de flotación selectiva, por lo que con este trabajo estadístico se pretende conocer y proponer una dosificación óptima de depresante, para así evitar consumos insuficientes o excesivos de Anamol-D y NaCN y de este modo conseguir el nivel más alto en la recuperación de Mo, al menor costo posible. Por otro lado, se determinó la influencia de otras variables en el consumo de los reactivos. Los datos recopilados corresponden a promedios ponderados día o mes, los que se obtuvieron desde informes oficiales de la planta concentradora, Saom y PI System.

El software Plant Information System (PI System) consiste en un servidor diseñado para automatizar, capturar, almacenar y presentar los datos de una planta de procesos, proporcionando una base de datos en tiempo real y un archivo de datos históricos.

SAOM corresponde a una base de datos creada para División Salvador, en la que se ingresan los datos en forma manual y automáticamente desde PI System de lo que ocurre en las distintas áreas de la División. Este programa permite acceder a los datos históricos de cada una de las unidades de procesamiento.

Los antecedentes recopilados fueron los siguientes:

- Dosis de Anamol-D.
- Dosis de Cianuro de Sodio.
- Recuperación global de molibdeno.
- Recuperación selectiva de molibdeno.
- Ley de molibdeno en el concentrado final de molibdenita.
- Ley de molibdeno en la alimentación a la planta concentradora.
- TMF de molibdeno alimentado a la planta concentradora.
- Ley de alimentación a la planta de molibdeno.
- TMF de molibdeno producido en la planta de flotación selectiva.
- % de Mo presente en el relave de la planta de flotación selectiva.

De un conjunto de datos de consumo de reactivos se descartaron los que se desviaban de los valores comúnmente usados en planta, para ello se utilizó el programa estadístico Minitab.

Por otro parte, mediante la utilización del software Minitab se analizó la tendencia de algunas variables seleccionadas, desde el año 2009 al año 2013. También se analizó la correlación entre los datos y con ello se determinó el efecto de una variable en la otra.

Minitab es un software especialmente diseñado para cálculos estadísticos, incluye funciones de la estadística descriptiva, diseño de experimentos, series de tiempo, estadística multivariada, confiabilidad y otras funciones especiales para facilitar los análisis estadísticos.

4.2 Trabajo experimental

El desarrollo experimental tuvo por objetivo analizar la factibilidad técnica de reactivos alternativos en flotación de MoS_2 , por lo cual se realizaron pruebas de flotación rougher de MoS_2 a escala de laboratorio, y se determinó el efecto de cada reactivo en la recuperación de Mo, Cu y Fe.

A continuación, se presenta las variables evaluadas en las pruebas de flotación rougher realizadas en el laboratorio.

- Evaluación del tiempo de acondicionamiento.

- Evaluación del flujo de nitrógeno adicionado a las pruebas de flotación de MoS₂.
- Evaluación de la dosis de Anamol-D en flotación rougher de MoS₂.
- Evaluación de la dosis de NaHS y de Tiofos 80:20 en flotación rougher de MoS₂.
- Efecto del pH en flotación de rougher de molibdenita.
- Evaluación de potencial óxido-reducción en pruebas de flotación selectiva.

Las pruebas fueron desarrolladas en las dependencias del laboratorio metalúrgico de División Salvador bajo el protocolo de flotación descrito en el Anexo B.4.

4.2.1 Reactivos utilizados en pruebas de flotación rougher de MoS₂ en laboratorio

4.2.1.1 Anamol-D

Este reactivo se utiliza actualmente en planta para deprimir los sulfuros de cobre y hierro en el proceso de flotación selectiva de MoS₂. Se conoce como Nokes arsenioso y se prepara disolviendo trióxido de arsénico y sulfuro de sodio en agua. Se realizaron pruebas de flotación con este reactivo para establecer una línea base y poder realizar comparaciones con los reactivos alternativos y además, para determinar la dosis de reactivo con la que se obtiene una alta recuperación de Mo y una elevada depresión de Cu y Fe. Para adicionar este reactivo en las pruebas de flotación se preparó 250 ml de solución de Anamol-D, la cual contiene 40 g de Na₂S y 10 g de As₂O₃. En el Anexo B.3.2 se muestra el procedimiento de la preparación de Anamol-D y además las hojas de datos de seguridad de cada compuesto se presentan en el Anexo C.

Producto de la reacción entre Na₂S y As₂O₃ se forman compuestos llamados arseniatos (Na_xAsO_y) y tioarseniatos (Na_xAsO_yS_z) los cuales coexisten en el sulfhidrato residual en exceso, que representa más del 60% en el Anamol-D. Los tioarseniatos potencian el efecto depresor, y además confieren una acción prolongada, sin embargo en la actualidad muy pocas empresas mineras utilizan este reactivo, puesto que la tendencia general es evitar contaminar los concentrados de cobre y molibdeno con arsénico, por lo que se desarrollan pruebas de flotación utilizando reactivos alternativos.

4.2.1.2 NaHS

El sulfhidrato de sodio (NaHS) es el depresante de cobre y hierro más utilizado en las plantas de concentración selectiva de MoS_2 , por esta razón se decide evaluar su efecto en la recuperación de Mo, Cu y Fe, realizando pruebas a nivel de laboratorio. Este reactivo en solución forma iones HS^- , los cuales son capaces de destruir el recubrimiento del colector xanthato agregado en flotación colectiva sobre los sulfuros de Cu y Fe. El mecanismo de desorción química del recubrimiento es temporal y reversible. En las plantas de molibdeno para evitar la re-adsorción del colector se debe trabajar con una concentración de iones HS^- elevada, esto se logra manteniendo el potencial electroquímico de la pulpa lo más negativo posible (-400 a -600 mV) durante todo el proceso.

El NaHS usado en las pruebas de laboratorio fue distribuido por FOSFOQUIM S.A, esta solución tiene una concentración de 530, 8 g/l la cual se diluyó a 280 g/l. El procedimiento de dilución de NaHS junto con la hoja de datos de seguridad se presenta en el Anexo B.3.3 y en el Anexo C.3, respectivamente.

4.2.1.3 Tiofos 80:20

Se evaluó el efecto del Tiofos 80:20 en la flotación selectiva de MoS_2 , este reactivo se prepara mezclando hidróxido de sodio (NaOH), sulfuro de sodio (Na_2S) y tiofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{PSO}_3 + \text{Na}_3\text{PS}_2\text{O}_2 + \text{Na}_3\text{PS}_3\text{O} + \text{Na}_3\text{PS}_4$) y se utiliza como agente depresor de cobre y hierro. Los productos finales de la reacción son sulfhidrato de sodio (alrededor 30%) y compuestos conocidos como tiofosfatos ($\text{Na}_x\text{PO}_y\text{S}_z$). La presencia de estos compuestos llamados tiofosfatos le confieren al reactivo un efecto depresor de mayor persistencia en el tiempo. Cabe mencionar que la planta trabaja a un potencial redox un poco menos negativo que con el sulfhidrato de sodio (-200 mV a -500 mV). Es importante destacar que al usar este tipo de reactivos los concentrados de molibdenita contendrán impurezas de fósforo.

El Tiofos 80:20 con una concentración de 276 g/l fue suministrado por FOSFOQUIM S.A. Este reactivo se diluyó a 200 g/l para adicionarlo en las pruebas de flotación de laboratorio. En el Anexo B.3.3 se describe el procedimiento de dilución y en el Anexo C.4 se muestra la hoja de datos de seguridad.

4.2.1.4 *Ácido Sulfúrico*

En las pruebas de flotación de laboratorio se adicionó ácido sulfúrico con un 98 % de concentración, con el fin de regular el valor de pH y de esta forma limpiar las superficies de la MoS_2 . En el Anexo C.5 se presenta la hoja de datos de seguridad de este reactivo.

4.2.2 **Procedimiento experimental**

Las pruebas de flotación selectiva de molibdenita consideraron:

- Muestreo de concentrado colectivo Cu-Mo.
- Preparación de muestras, ajuste de sólidos.
- Flotación selectiva de MoS_2 en celda rougher.
- Filtrado, secado y pulverizado de muestras.

4.2.2.1 *Muestreo*

El objetivo de muestrear concentrado Cu-Mo fue obtener una muestra representativa para realizar el set de pruebas de flotación selectiva de moS_2 . Las muestras fueron tomadas los días en que no se adicionó escoria al proceso y cuando la planta se encontraba funcionando en condiciones normales.

El punto de muestreo se ubica al inicio de la canaleta que transporta el concentrado Cu-Mo al espesador de cabeza de la planta de molibdeno. En la Fig. 4.1 se puede ver el punto de muestreo.



Figura 4.1: Punto de muestreo de concentrado Cu-Mo.

- Equipos y materiales

Los materiales necesarios para realizar la actividad son los siguientes:

- Baldes
- Cortador
- Etiquetas de identificación
- Balanza de Marcy

- Procedimiento y consideraciones

Antes de iniciar el muestreo de concentrado Cu-Mo se desarrolló la hoja de planificación de la tarea. Además, se informó el inicio de la actividad de muestreo de pulpa a la sala de control, para asegurar que los equipos no fueran detenidos ni puestos en marcha inesperadamente.

Luego se preparó el material necesario, lavando y limpiando los baldes para evitar cualquier contaminación o confusión de muestras, posteriormente se trasladaron los baldes al lugar y se verificó que los cortadores del punto de muestreo se encontraran en buen estado y limpios para evitar contaminación en las muestras. También se identificó que el sector de muestreo estuviera bajo riesgo controlado.

Antes de tomar las muestras se verificó que el porcentaje de sólidos fuera superior a 15 %, bajo este valor el muestreo no se realizaba, ya que la pulpa se debía ajustar a 40 % de sólidos

para realizar la flotación, y bajo 15% el ajuste de sólidos se hacía más complicado. El concentrado Cu-Mo muestreado para cada set de pruebas corresponde a un total de 120 litros.

Las muestras fueron tomadas cada semana en la que se realizaron el set de pruebas, con el objetivo de evitar el envejecimiento de la pulpa.

Una vez terminado el muestreo se debió identificar los baldes y tapar cada uno de ellos, con el propósito de no perder muestra en el traslado hacia el laboratorio.

4.2.2.2 Preparación de muestras

Para realizar la flotación de MoS_2 , la muestra de concentrado Cu-Mo se debió ajustar a 40 % de sólidos.

- Equipos y materiales

Los equipos y materiales requeridos para la preparación de las muestras de alimentación a las pruebas de flotación son los siguientes:

- Filtro a presión
- Conexiones a red de aire
- Papel de filtrado
- Estanque agitador
- Probeta de 1000 ml
- Balanza electrónica
- Baldes
- Cortador de muestra manual
- Etiquetas de identificación

- Procedimiento

El concentrado Cu-Mo muestreado se filtró para obtener el sólido y se recuperó el agua. Luego se agregó el sólido y una pequeña cantidad de agua al estanque agitador y se

homogenizó en él, hasta que no se evidenció pulpa sedimentada en el fondo del recipiente. Se midió la densidad de pulpa y se ajustó hasta obtener 40% de sólidos, en el Anexo B.1 se muestran las fórmulas utilizadas en esta actividad.

Posteriormente se cortó una muestra de concentrado homogenizado desde el estanque agitador, y se adicionó 2,6 litros de pulpa a cada balde previamente identificado, para así realizar cada una de las pruebas establecidas. Una vez finalizada la actividad el lugar quedó limpio y ordenado.

4.2.2.3 Flotación rougher de MoS_2

La actividad consistió en evaluar el comportamiento del reactivo usado en planta y alternativos, depresando el mayor contenido de cobre y otras especies que se encuentran en la pulpa previamente preparada, y se efectuó la flotación, recuperando la máxima cantidad de molibdeno. En el Anexo B.2 se presenta la fórmula para el cálculo de volumen de reactivo a utilizar.

- Equipos y materiales
 - Celda de flotación
 - pH metro (electrodo Sentix 41)
 - Medidor de Eh (electrodo Sentix ORP)
 - Extractor de gases
 - Bandejas
 - Vasos precipitados
 - Pipetas
 - Piseta
 - Cilindro de Nitrógeno
 - Agua recuperada

- Condiciones experimentales de flotación

A continuación, en la Fig. 4.2 se puede observar la celda de flotación Agitair Modificada (ESSA) en la que se realizaron las pruebas de flotación selectiva de MoS_2 en el laboratorio.



Figura 4.2: Celda de flotación Agitair Modificada Essa.

Para realizar las pruebas se definió las condiciones de flotación, en la tabla 4.1 se resumen tales parámetros.

Tabla 4.1: Parámetros de flotación selectiva de MoS_2 .

Condiciones experimentales de flotación	
% de sólidos	38 - 40
Volumen total de pulpa (L)	2.6
Tipo de gas de aireación	Nitrógeno
Flujo de gas (L/min)	5
Velocidad de agitación (RPM)	600
Tiempo de Acondicionamiento (min)	1
Paleteos	Cada 10 segundos

- Procedimiento

Previo a comenzar la flotación, se realizó la hoja de planificación de tarea, se chequeó el estado de la celda, y se verificó que el cilindro de nitrógeno tuviera la cantidad suficiente de gas para realizar la actividad. Se adicionó la muestra de concentrado colectivo Cu-Mo a la celda de flotación, se inició la agitación mecánica y se midió el pH y el Eh. Luego se adicionó los reactivos de acuerdo a cada prueba planificada, se debió acondicionar por un minuto. Al transcurrir un minuto, nuevamente se midió pH y Eh, se inició la adición de nitrógeno y se comenzó a flotar. El nivel de la celda se mantuvo adicionando agua recuperada de la etapa de preparación de la pulpa y al finalizar la prueba de volvió a medir pH y Eh. El tiempo de flotación se establece para cada prueba y de acuerdo a la finalidad con que se realiza.

4.2.2.4 Filtrado, secado y pulverizado

La tarea consistió en filtrar las muestras de alimentación, concentrado y relave de la prueba de flotación selectiva realizada. Luego las muestras se secaron y pulverizaron.

- Equipos y materiales
 - Filtro de presión
 - Conexiones a red de aire
 - Papel de filtrado
 - Tarjetas de identificación
 - Bandejas
 - Horno de secado
 - Balanza electrónica
 - Pulverizador de anillos
 - Molinos de anillos
 - Espátulas
 - Brochas

- Procedimiento y consideraciones

Al comenzar la actividad de filtrado se verificó que los filtros estuvieran en buenas condiciones, se ubicó el paño de filtrado y un papel de protección en la base del filtro. Se mojó el papel para su buen funcionamiento y se instaló el filtro, luego se vertió la pulpa en el equipo, se cerró y se conectó el filtro a la red de aire. Una vez terminado el filtrado de pulpa, se cortó el paso del aire, se eliminó la presión de aire lentamente del interior del filtro mediante una válvula de seguridad para no producir ruido en exceso, luego se procedió a abrir el filtro y se retiró la muestra. Posteriormente las muestras filtradas se trasladaron al horno de secado y se mantuvieron a 105°C.

Finalmente se registró las masas de las muestras secas, las que se debieron reducir a una granulometría de 100% bajo la malla # 200 (100 % bajo 75µm) para dejarlas aptas para análisis químico. Al iniciar la etapa de pulverizado de las muestras se debió verter cada muestra al pulverizador de anillos con mucho cuidado de no perder masa en este proceso. Se pulverizó durante 60 segundos y se agregó la muestra pulverizada a los sobres previamente identificados, luego estas muestras se enviaron al laboratorio químico para ser analizadas.

4.2.3 Trabajo preliminar

4.2.3.1 Evaluación del tiempo de acondicionamiento de reactivos en flotación de MoS₂

El acondicionamiento es una etapa clave ya que proporciona el tiempo necesario para que actúen en forma eficiente los reactivos de flotación. Por lo anterior, se evaluó el efecto del tiempo de acondicionamiento sobre la recuperación de Mo, Cu y Fe.

Las muestras de alimentación corresponden a la pulpa que ingresa al espesador de la planta de molibdeno. Inicialmente en esta prueba experimental se acondicionó con H₂SO₄ hasta alcanzar un pH de 8.0. Seguidamente se agregó como reactivo depresante NaHS, este reactivo se adicionó hasta ajustar el Eh a valores entre -450 mV y -550 mV. Los tiempos de acondicionamiento analizados fueron 1 y 3 min y la flotación tuvo una duración de 5 min.

4.2.3.2 Evaluación del flujo de nitrógeno en la celda de flotación

La aireación de la pulpa en la celda es una variable importante que normalmente es controlada por el operador, la cual permite la aceleración o retardación de la flotación en beneficio de la recuperación metalúrgica o de la ley del elemento útil. Es por esto que se realizaron pruebas de flotación selectiva de MoS₂ a distintos flujos de N₂, y así se definió el óptimo flujo. Se evaluó 5 y 10 l/min de N₂, utilizando como reactivo depresante 13 kg de Anamol-D/ TMS de concentrado colectivo y se flotó durante 6 minutos. Las muestras de alimentación corresponden a la pulpa que descarga el espesador a la planta de flotación selectiva.

4.2.4 Granulometría de pulpa de alimentación

Se realizó un análisis granulométrico a una muestra correspondiente a la alimentación fresca al espesador de la planta de molibdeno por cada set de pruebas realizado, con el objetivo de determinar los finos presentes en la muestra alimentada a las pruebas de flotación en el laboratorio. Se tomó una muestra del concentrado colectivo Cu-Mo utilizado en las pruebas experimentales, se secó y mediante un cuarteador de rifles se obtuvo la cantidad necesaria para realizar la granulometría.

Inicialmente la muestra de concentrado colectivo se debió deslamar pasando por malla 325, esto se realizó para evitar la saturación de las mallas con partículas muy pequeñas. Luego el concentrado se secó y las partículas de tamaño $>$ a $38 \mu m$ se agregaron al set de mallas, el cual se introdujo en el rotap durante 15 min. Las mallas utilizadas corresponden a # 50, #70, #100, #140, #200, #270, #325 y $<$ #325 ASTM. A continuación, en la Fig. 4.3 se puede apreciar el set de # ASTM introducido en el rotap.



Figura 4.3: Set de mallas instalado en el rotap.

4.2.5 Mineralogía y análisis químico de la pulpa alimentación a las pruebas de flotación

Se realizó análisis químico y por microscopía a la muestra de alimentación que ingresa al espesador de cabeza de la planta de flotación selectiva de MoS_2 , para observar las asociaciones, el grado de liberación y la distribución de la composición mineralógica del concentrado colectivo Cu-Mo muestreado, con el que se realizaron las pruebas de laboratorio. También se realizó análisis químico a una muestra de alimentación a la planta molibdeno, esta muestra corresponde a la pulpa que descarga el espesador a la planta de molibdeno, esta pulpa se utilizó en pruebas cuando se adicionó Anamol-D y en pruebas de evaluación de flujo de N_2 .

4.2.6 Evaluación de la dosis de Anamol-D en la flotación rougher de MoS_2

En esta experiencia se evaluó la dosificación del depresante Anamol-D actualmente utilizado en planta, con el fin de determinar su efecto sobre la recuperación de Mo, Cu y Fe. Además, con estas pruebas de flotación se estableció una línea base para obtener los datos que permitan generar comparaciones posteriores e indagar por los cambios ocurridos cuando se realizan pruebas de flotación rougher utilizando reactivos alternativos.

Se realizó cinco pruebas de flotación rougher en el laboratorio. En la tabla 4.2 se muestra las dosificaciones de reactivo y algunos detalles de cada prueba.

Para realizar la experiencia se muestreo concentrado colectivo de alimentación al espesador de cabeza de la planta de molibdeno el día 4 de febrero de 2014, se ajustó el sólido en 40% y se fue variando la dosis de Anamol-D. Todas las pruebas se realizaron a distintos tiempos de flotación hasta los 9 min.

Tabla 4.2: Resumen de pruebas de flotación de MoS₂ adicionando distintas dosis de Anamol-D.

Prueba	Reactivo	Dosis de reactivo (kg/TMS)	% de sólidos	pH de flotación
1	Anamol-D	7.0	40.21	12.10
2	Anamol-D	10.0	40.21	12.16
3	Anamol-D	13.0	40.21	12.21
4	Anamol-D	16.0	40.21	12.35
5	Anamol-D	19.0	40.21	12.48

4.2.7 Evaluación de la dosis y el tipo de depresante usado en flotación rougher

La finalidad de esta experiencia consistió en realizar pruebas de flotación adicionando reactivos distintos a los usados en planta, para ello se adicionó distintas dosis de reactivo. Se utilizó dos reactivos distintos, NaHS y Tiofos 80:20. Tal como se muestra en la tabla 4.3, se realizó 3 pruebas de flotación selectiva con NaHS y 3 pruebas de flotación con Tiofos 80:20. La muestra de concentrado corresponde a la alimentación fresca al espesador de la planta de molibdeno. Todas las pruebas se realizaron a distintos tiempos de flotación hasta alcanzar los 9 min y con 1 min de acondicionamiento de reactivos.

Tabla 4.3: Resumen de pruebas de flotación de MoS₂ al adicionar diferentes dosis de depresante.

Prueba	Reactivo	Dosis de reactivo (kg/TMS)	% de sólidos	pH de flotación
1	NaHS	3.0	40.21	10.54
2	NaHS	4.5	40.21	10.16
3	NaHS	6.0	40.21	10.51
4	Tiofos 80:20	2.5	40.21	11.44
5	Tiofos 80:20	4.0	40.21	11.67
6	Tiofos 80:20	5.5	40.21	11.96

4.2.8 Evaluación del pH en la flotación rougher de molibdenita

El objetivo de estas pruebas experimentales fue confirmar el efecto reactivador que tiene el ácido sulfúrico en la flotación de molibdenita y con ello conseguir un aumento en la recuperación de Mo en la celda rougher de laboratorio. Por lo tanto, se realizaron pruebas de flotación variando el valor de pH, esto se consiguió acondicionando con H_2SO_4 y probando con 3 dosificaciones de reactivo depresante para cada pH. Los pH analizados fueron 8.0, 8.3, 8.7 para cada dosificación de NaSH y Tiofos 80: 20, en total se realizó 9 pruebas con NaSH y 9 pruebas con Tiofos 80:20. En cada prueba se recolectó concentrados a distintos tiempos de flotación hasta los 9 min y con 1 min de acondicionamiento de reactivos. Se utilizó un electrodo Sentix 41 para medir el pH. A continuación, en la tabla 4.4 se presenta el resumen de las pruebas realizadas para cada pH analizado.

Tabla 4.4: Resumen de pruebas de flotación con respecto a la variación de pH.

Prueba	Reactivo	Dosis de reactivo (kg/TMS)	% de sólidos	pH ajustado	pH de flotación
1	NaHS	3.0	40.00	8.0	9.23
2	NaHS	3.0	40.00	8.3	9.69
3	NaHS	3.0	40.00	8.7	10.24
4	NaHS	4.5	40.29	8.0	9.60
5	NaHS	4.5	40,00	8.3	10.12
6	NaHS	4.5	40.00	8.7	10.08
7	NaHS	6.0	40.00	8.0	9.72
8	NaHS	6.0	40.00	8.3	10.00
9	NaHS	6.0	40.00	8.7	10.39
10	Tiofos 80:20	2.5	40.00	8.0	10.90
11	Tiofos 80:20	2.5	40.00	8.3	10.96
12	Tiofos 80:20	2.5	40.00	8.7	11.12
13	Tiofos 80:20	4.0	40.00	8.0	11.36
14	Tiofos 80:20	4.0	40.00	8.3	11.44
15	Tiofos 80:20	4.0	40.00	8.7	11.58
16	Tiofos 80:20	5.5	40.00	8.0	11.64
17	Tiofos 80:20	5.5	40.00	8.3	11.72
18	Tiofos 80:20	5.5	40.00	8.7	11.69

4.2.9 Evaluación del potencial óxido-reducción en pruebas de flotación

En esta experiencia se analizó la dosificación de reactivos alternativos mediante la medición de potenciales óxido-reducción. Básicamente se adiciona la cantidad de reactivo depresante hasta alcanzar el Eh requerido, con la finalidad de corroborar que al controlar potenciales se puede optimizar y disminuir las dosis de reactivo depresante.

Se efectuaron pruebas adicionando NaHS y pruebas agregando Tiofos 80:20, hasta alcanzar distintos rangos de Eh. Adicionalmente se realizó una prueba, agregando una mezcla de NaHS y Tiofos 80:20 en una proporción 80/20. Se agregó además, H₂SO₄ con el fin de regular el pH de flotación en 8.0.

En las pruebas realizadas se utilizó concentrado colectivo muestreado de la alimentación al espesador de cabeza de la planta de molibdeno. Estas pruebas fueron desarrolladas a distintos tiempos de flotación y con 1 min de acondicionamiento de reactivos. Se utilizó un electrodo combinado redox Sentix ORP para medir el potencial óxido-reducción y un electrodo Sentix 41 para medir el pH. En la tabla 4.5 se resume el detalle de las pruebas realizadas con respecto a la variación de potencial.

Tabla 4.5: Resumen de pruebas de flotación usando NaHS y Tiofos 80:20 con respecto a la variación de Eh.

Prueba	Reactivo	Rango de Eh (mV)	Eh medido (mV)	% de sólidos	pH de flotación
1	NaHS	-400 y -440	-400.0	40.29	8.65
2	NaHS	-400 y -440	-439.2	40.20	9.05
3	NaHS	-450 y -520	-471.2	40.29	9.11
4	NaHS	-450 y -520	-475.7	40.29	8.36
5	NaHS	-450 y -520	-478.1	40.29	8.82
6	NaHS	-450 y -520	-519.7	40.20	9.55
7	NaHS	-540 y -600	-547.6	40.20	9.68
8	Tiofos 80:20	-400 y -440	-426.1	40.20	8.99
9	Tiofos 80:20	-400 y -440	-432.5	40.20	9.89
10	Tiofos 80:20	-400 y -440	-439.8	40.29	8.68
11	Tiofos 80:20	-400 y -440	-440.0	40.20	9.24
12	Tiofos 80:20	-450 y -520	-467.8	40.20	9.82
13	Tiofos 80:20	-540 y -600	-564.5	40.20	11.02
14	Tiofos 80:20	-540 y -600	-572.7	40.29	9.33
15	NaHS/Tiofos 80:20 (80/20)	-450 y -550	-517.6	40.20	9.78

4.2.10 Desarrollo experimental de pruebas anexas

4.2.10.1 Efecto del potencial óxido-reducción en el consumo de Anamol-D

Se realizaron pruebas de flotación selectiva de MoS₂ utilizando como reactivo depresante el Anamol-D, se estableció un programa en que se realizan 2 pruebas con una dosis específica de Anamol-D y 5 pruebas ajustando el potencial. Esta experiencia tuvo como finalidad

comparar la recuperación de Mo, Cu y Fe al agregar una dosis específica de reactivo y al agregar la dosificación de reactivo mediante el ajuste de potencial y así determinar la prueba de flotación en la que se consumió menos reactivo y se obtuvo una óptima respuesta metalúrgica.

Las pruebas fueron realizadas con muestras de alimentación correspondiente a la alimentación real, esto es, la pulpa que descarga el espesador hacia la planta de molibdeno. Se ajustó el pH a 8.0 adicionando H₂SO₄, se efectuó la flotación durante 6 min y con 1 min de acondicionamiento de reactivos. Se utilizó un electrodo combinado redox Sentix ORP para medir el potencial óxido-reducción y un electrodo Sentix 41 para medir el pH. A continuación en la tabla 4.6, se detalla las condiciones de las pruebas realizadas.

Tabla 4.6: Resumen de pruebas anexas de flotación utilizando Anamol-D como reactivo depresante.

Prueba	Fecha de muestreo	Reactivo	Tipo de Prueba	Ajuste de Eh o dosis de reactivo	% sólidos	pH flotación
1	16-04-14	Anamol-D	Ajuste de Eh	-500.0 mV	41.68	11.24
2	16-04-14	Anamol-D	Ajuste de Eh	-550.9 mV	41.68	11.64
3	22-04-14	Anamol-D	Dosis	11.0 kg/TMS	39.27	12.13
4	22-04-14	Anamol-D	Ajuste Eh	-489.0 mV	39.27	10.22
5	22-04-14	Anamol-D	Ajuste de Eh	-583.7 mV	39.27	10.95
6	02-05-14	Anamol-D	Dosis	13.0 kg/TMS	39.88	11.93
7	02-05-14	Anamol-D	Ajuste de Eh	-508.30 mV	39.88	10.91

4.2.10.2 Desarrollo experimental de pruebas adicionales

De acuerdo a las experiencias anteriores se determinó el rango de potencial y se definió el tiempo de flotación y el pH, es por esto que se realizó 2 pruebas finales utilizando NaHS y Tiofos 80:20, con el propósito de poder mostrar la potencialidad de mantener o aumentar la recuperación de Mo, utilizando una menor cantidad de estos reactivos que los utilizados actualmente en planta.

Las pruebas fueron realizadas con una muestra de alimentación que constituye el concentrado Cu-Mo que alimenta el espesador perteneciente a la planta de molibdeno. Se efectuó la

flotación durante 6 min, con 1 minuto de acondicionamiento de reactivos, se acondicionó el pH a un valor de 8.0 adicionando H₂SO₄ y se ajustó el potencial de acuerdo a la adición de cada reactivo. Se utiliza un electrodo combinado redox Sentix ORP para medir el Eh, y un electrodo Sentix 41 para medir el pH. En la tabla 4.7, se indican los detalles de las pruebas realizadas.

Tabla 4.7: Especificaciones de pruebas anexas de flotación realizadas utilizando NaHS y Tiofos 80:20 como reactivo depresante para ajustar el Eh.

Prueba	Fecha de muestreo	Reactivo	% sólidos	Ajuste de Eh mV	Dosis de reactivo kg/TMS	pH flotación
1	26-06-14	NaHS	39.87	-520.4	1.1	11.24
2	26-06-14	Tiofos 80:20	39.87	-502.8	0.9	11.64

Además, se realizó análisis por microscopía a la muestra de alimentación, a los concentrados y relaves obtenidos de cada prueba adicional.

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las dos etapas de esta investigación. En primer lugar se muestran los resultados obtenidos en relación al trabajo estadístico y luego se presentan los resultados correspondientes al trabajo experimental.

5.1 Resultados y discusiones de trabajo estadístico

Según requerimientos de la planta de flotación selectiva de División Salvador se efectuó un análisis de datos de planta para observar la tendencia del consumo de reactivos con el paso del tiempo, y además determinar la dosis de Anamol-D y NaCN con la cual se presentan buenos resultados en cuanto a la recuperación y ley de Mo. Por otro lado, se analizó la influencia de otras variables en el consumo de los reactivos.

5.1.1 Dosis de Anamol-D

En la Fig. 5.1 es posible observar el comportamiento del consumo del reactivo depresante, Anamol-D, desde el año 2009 hasta el año 2013. Los datos recopilados corresponden a promedios diarios, los que fueron filtrados mediante la utilización del programa Minitab descartando aquellos que se alejaron demasiado del resto de valores, y finalmente se construyó el gráfico de la Fig. 5.1 con los promedios mensuales de cada año.

Tal como se observa en la Fig. 5.1, el consumo de Anamol-D en la planta de molibdeno de División Salvador ha aumentado a medida que pasa el tiempo, pero a partir del año 2011 el consumo de este depresante se ha incrementado considerablemente llegando a valores por sobre los 15 kg/TMS de concentrado colectivo, dosis que es superior a cantidades agregadas en otras plantas de flotación selectiva de MoS₂.

En el año 2013 se adicionó en algunas ocasiones sobre los 20 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado colectivo que alimenta la planta de molibdeno y en otros días tan sólo una dosis de 5 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo. Las grandes fluctuaciones de la dosificación de Anamol-D se deben principalmente a que la planta de molibdeno carece de un sistema de control automático para adicionar el reactivo depresante, por lo que cada operador

maniobra la válvula de adición de depresante de acuerdo a mediciones de flujo manuales. Por otra parte, no se adiciona el reactivo depresante según mediciones de potencial óxido-reducción como es habitual en este tipo de plantas de concentración selectiva de MoS_2 .

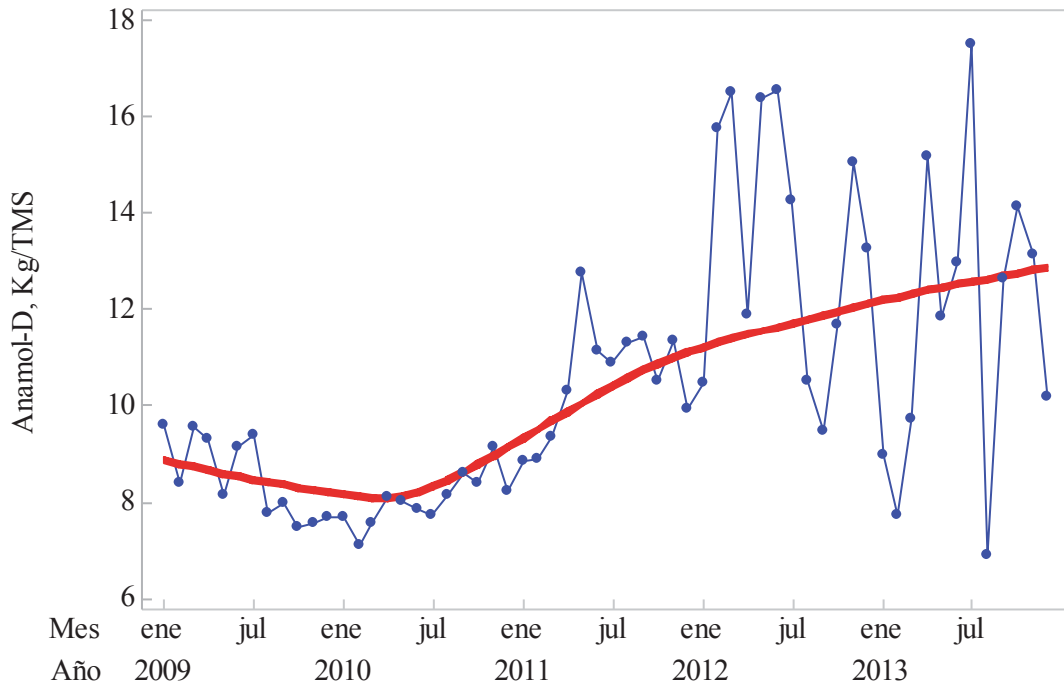


Figura 5.1: Comportamiento histórico de consumo de Anamol-D en planta de molibdeno.

Sumado a lo anterior la presencia de escorias en el proceso y el aumento de la proporción de mineral proveniente desde Campamento Antiguo con altos contenidos de arcillas, provocan un mayor consumo de depresante.

5.1.2 Dosis de Cianuro de Sodio

La Fig. 5.2 a continuación, muestra las variaciones del consumo de cianuro de sodio en la planta de molibdeno de División Salvador, durante un período de 5 años. Los datos de consumo de NaCN corresponden a promedios diarios y al igual que los datos recopilados de consumo de Anamol-D, fueron filtrados mediante la utilización del programa Minitab y luego con los promedios mensuales de cada año se confeccionó el gráfico de la Fig. 5.2.

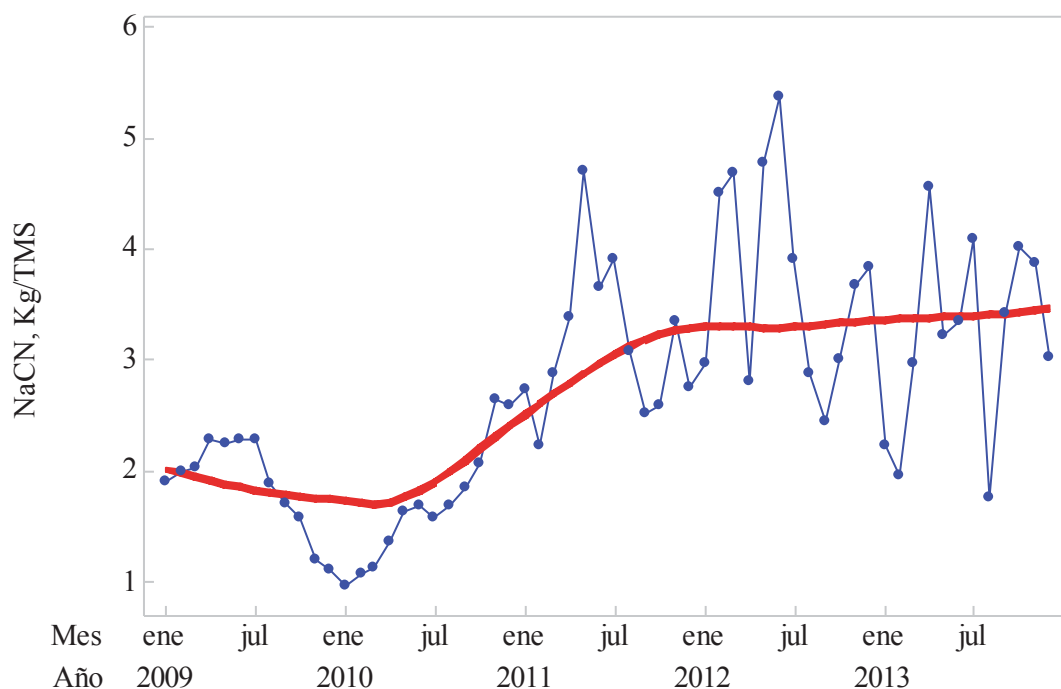


Figura 5.2: Comportamiento histórico de consumo de cianuro de sodio en planta de molibdeno.

Como se observa en el gráfico de la Fig. 5.2 el consumo de NaCN en la planta de flotación selectiva de la División se ha incrementado con el paso del tiempo, alcanzando dosificaciones superiores a 4 kg/TMS de concentrado colectivo alimentado a la planta de molibdeno. En el año 2009 el consumo de NaCN presentó un alza hasta abril, luego se mantuvo constante hasta julio del mismo año, y comenzó a descender hasta enero de 2010 y a partir de esta fecha, comenzó a incrementarse notoriamente.

En el 2009 el promedio anual de consumo de este reactivo (NaCN) fue de tan sólo 1.88 kg/TMS de concentrado colectivo, mientras que en el 2013 el consumo aumentó alcanzando un promedio anual de 3.16 kg/TMS de concentrado colectivo, en sólo 4 años el consumo se incrementó 1.28 kg/TMS de concentrado colectivo, esto se traduce en un aumento significativo en los costos de la planta de molibdeno.

Desde enero del 2011 la dosificación de este reactivo presenta grandes variaciones en la planta, esto se debe principalmente a la falta de control y medición de potencial óxido-

reducción al adicionar el reactivo. Además la presencia de escoria en el proceso, y sumado a esto el aumento de la cantidad de mineral proveniente de la mina a rajo abierto Campamento Antiguo que posee altos contenidos de impurezas que reaccionan con el reactivo, consumiéndolo.

5.1.3 Recuperación global de molibdeno

En la Fig. 5.3 se puede apreciar el comportamiento histórico de la recuperación global de molibdeno obtenida en la planta concentradora, como es posible observar la recuperación de Mo no sobrepasa el 70 %, alcanzando los mejores resultados en el año 2013 con un promedio de 56.74 %.

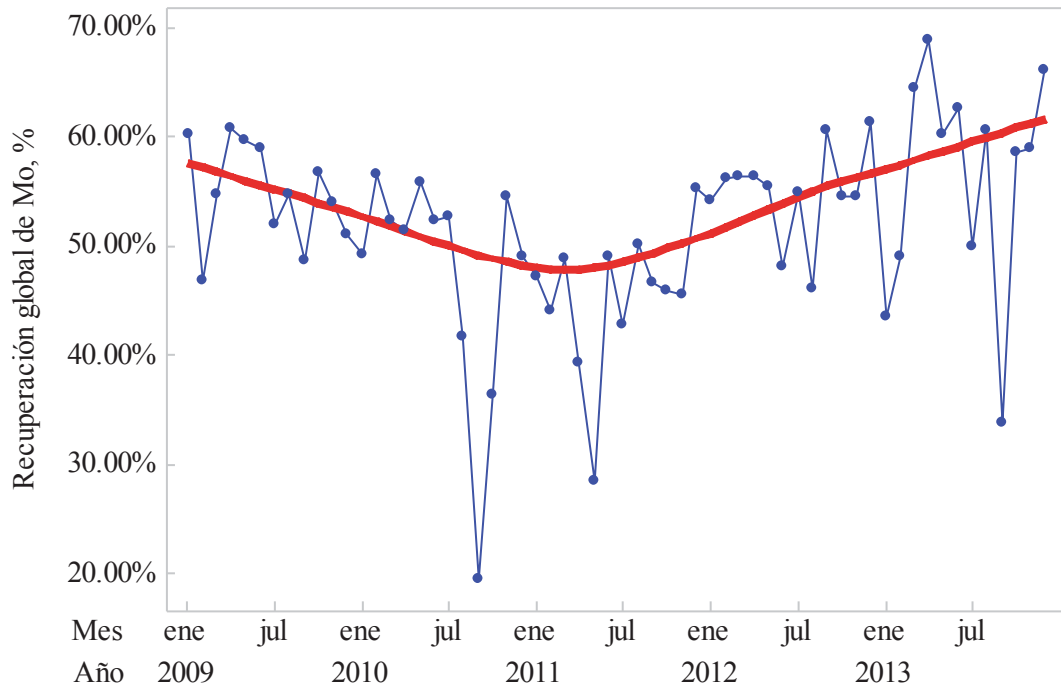


Figura 5.3: Recuperación global de molibdeno.

Como es posible observar en la Fig. 5.3 la recuperación de molibdeno comenzó a disminuir a partir de enero de 2009 hasta principios del 2011, año en el cual se obtuvo una recuperación promedio de Mo de 45.41 %. Posteriormente la recuperación global de Mo comenzó a aumentar alcanzando un promedio anual de 54.76 % y 56.74 % en los años 2012 y 2013,

respectivamente. Este aumento en la recuperación global de Mo, a partir del año 2011, se debió principalmente a una mejora operacional en la planta de flotación colectiva, porque como se observa en el gráfico de la Fig. 5.4 la recuperación selectiva de Mo durante este año no presentó grandes variaciones y en el año 2012 comenzó a disminuir.

5.1.4 Recuperación selectiva de molibdeno

A continuación, en la Fig. 5.4 se muestran las fluctuaciones de recuperación selectiva de molibdeno a partir del año 2009 hasta el año 2013. Los datos de recuperación selectiva de Mo de los años analizados presentan una media de 88.39 %, obteniendo en el año 2013 la menor recuperación selectiva de Mo bajo 82 % como promedio.

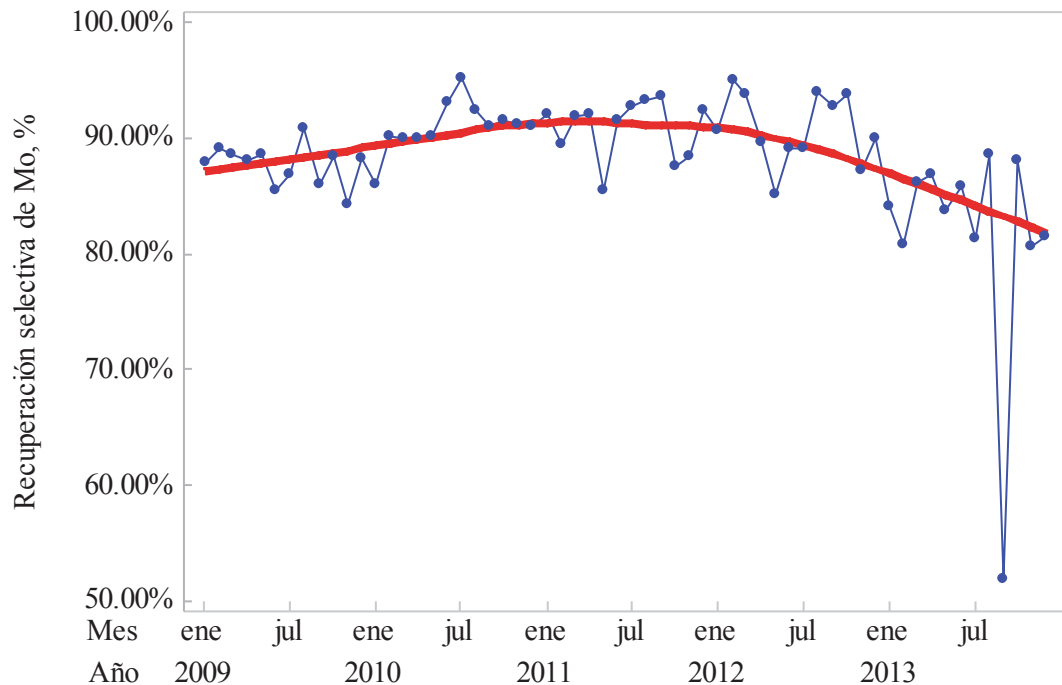


Figura 5.4: Recuperación selectiva de molibdeno.

Como se puede ver en la gráfica de la Fig. 5.4 la recuperación selectiva de Mo comenzó a aumentar desde el 2009 hasta el año 2011, luego presentó pequeñas variaciones hasta el año 2012 y empezó a disminuir desde comienzos de 2012. Esta disminución se pudo haber

ocasionado por agregar una dosificación de reactivos depresantes innecesaria, para ello se analizó la relación entre estas variables, la cual se presenta en el punto 5.1.6.

5.1.5 Ley de molibdeno en el concentrado final de molibdenita

En Fig. 5.5 es posible apreciar los cambios de ley de molibdeno de la planta de flotación selectiva de División Salvador. Como se observa en la Fig. 5.5 el porcentaje de Mo en el concentrado obtenido en planta disminuyó con el transcurso de los años y no superó el 50 % en todos los años analizados.

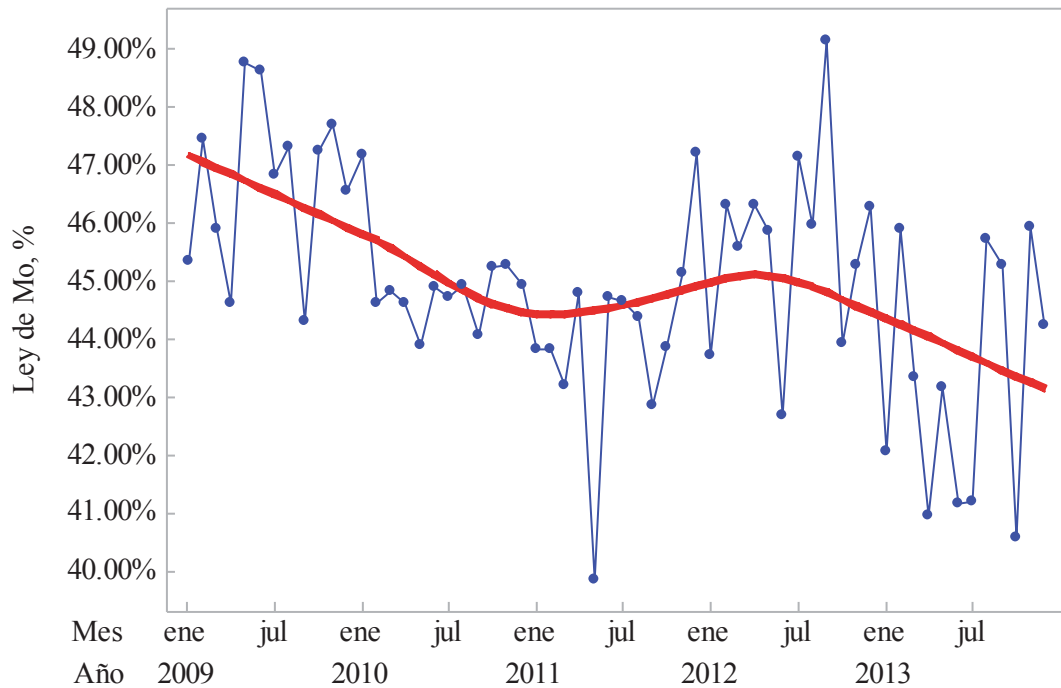


Figura 5.5: Ley de molibdeno en el concentrado obtenido en planta de concentración selectiva.

Desde el 2009 la ley de Mo disminuyó notablemente hasta el 2011, luego presentó un leve aumento y posteriormente desde el año 2012 comenzó a bajar hasta valores menores a 43 %. En el año 2009 la ley de Mo presentó un promedio de 46.71 %, mientras que en el año 2013 la ley promedio fue de tan sólo 43.28 %. Durante los años analizados no se logró el cumplimiento del programa establecido. En el punto 5.1.6 se analizó el caso para determinar

si los reactivos depresantes tienen algún efecto en esta baja ley de Mo obtenida en el concentrado de Mo recuperado en la planta de concentración selectiva de MoS₂.

5.1.6 Efecto de reactivos depresantes en resultados metalúrgicos

Para determinar el efecto que tienen los reactivos depresantes en los resultados metalúrgicos, se evaluó la relación entre pares de variables analizadas anteriormente y mediante el programa Minitab se construyó una matriz de gráficas, es decir, un arreglo de gráficas de dispersión. Esta matriz acepta hasta 20 variables y crea una gráfica para cada combinación posible. En la Fig. 5.6 se muestra la relación que existe entre pares de variables. Los datos corresponden a promedios mensuales obtenidos desde el año 2009 hasta el año 2013 y los pares de variables analizadas son las siguientes:

- Anamol-D – NaCN.
- Anamol-D – Ley de Mo.
- Anamol-D – Recuperación global de Mo.
- Anamol-D – Recuperación selectiva de Mo.
- NaCN – Ley de Mo.
- NaCN – Recuperación global de Mo.
- NaCN – Recuperación selectiva de Mo.
- Ley de Mo – Recuperación global de Mo.
- Ley de Mo – Recuperación selectiva de Mo.
- Recuperación global de Mo – Recuperación selectiva de Mo.

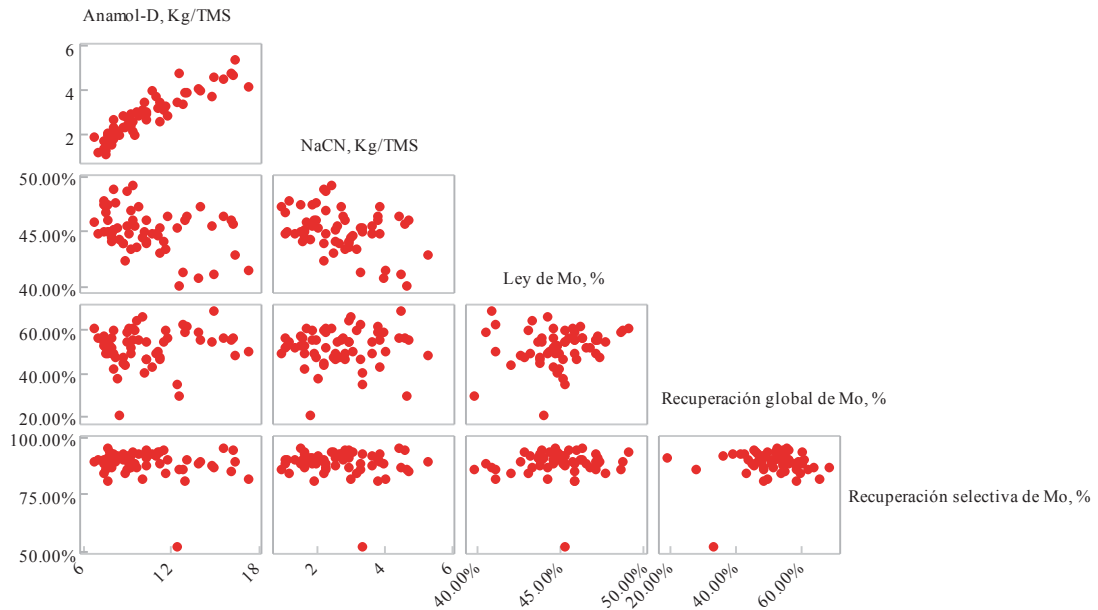


Figura 5.6: Matriz de gráficas de dispersión de consumo de Anamol-D, consumo de NaCN, ley de Mo, recuperación global y recuperación selectiva de Mo.

En las gráficas de matriz de la Fig. 5.6 las variables de cada columna corresponden a la influencia en las variables de cada fila. Como se puede observar el consumo de Anamol-D y el consumo de NaCN parecen estar estrechamente correlacionadas, mientras una aumenta la otra variable también, por consiguiente se podrá predecir el consumo de NaCN utilizando los datos de consumo de Anamol-D, pero este estudio está enfocado a determinar el efecto de los reactivos (Anamol-D y NaCN) en la recuperación global de Mo, en la recuperación selectiva de Mo y en la ley de Mo del concentrado obtenido en la planta. En la Fig. 5.6 se puede ver que los puntos están dispersos en todas las gráficas excepto en la gráfica de Anamol-D v/s NaCN, no se observa algún patrón entre las variables, por lo que no existe correlación entre el consumo de reactivos y respuestas metalúrgicas obtenidas en planta y tampoco se puede ver una tendencia entre las respuestas metalúrgicas.

No existe relación entre los pares de variables es por ello que se decidió incorporar otras variables al análisis estadístico, y así analizar el efecto que tiene el porcentaje de Mo en el mineral de alimentación a la planta concentradora y el % de Mo alimentado a la planta de

flotación selectiva, en el incremento del consumo de reactivos. Además se analizó el efecto de los reactivos en los finos producidos y en las pérdidas de Mo en el relave generado por la planta de flotación selectiva.

5.1.7 Molibdeno alimentado a la planta concentradora

En la Fig. 5.7 y 5.8, se muestra en un período de 5 años a partir del año 2009 el comportamiento de la ley de alimentación de Mo y las toneladas métricas finas de Mo alimentado a la planta concentradora, respectivamente.

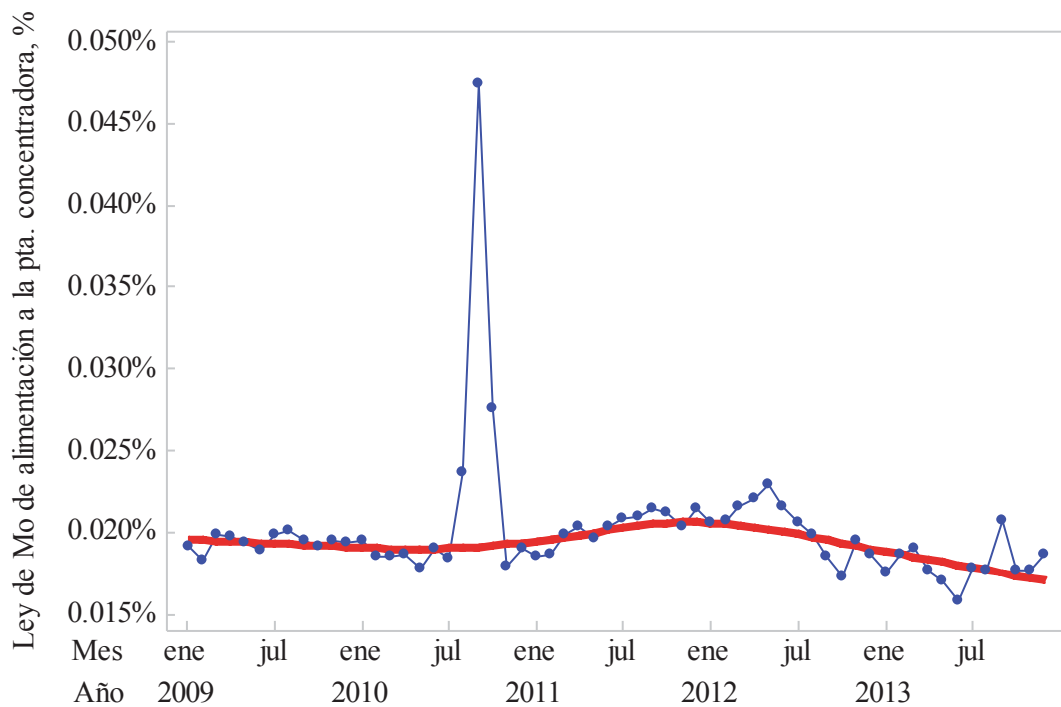


Figura 5.7: Porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora.

En la Fig. 5.7 se puede apreciar que la ley de alimentación de Mo a la planta concentradora disminuyó pero no sufrió grandes cambios. En general la ley de Mo en la alimentación a la planta concentradora fluctúa entre 0.017 % y 0.023 %, registrándose en el año 2013 la menor ley de Mo con un promedio de 0.018 % de Mo. Por otra parte la mayor ley de Mo se registró en los años 2011 y 2012 con un promedio de 0.0203 %.

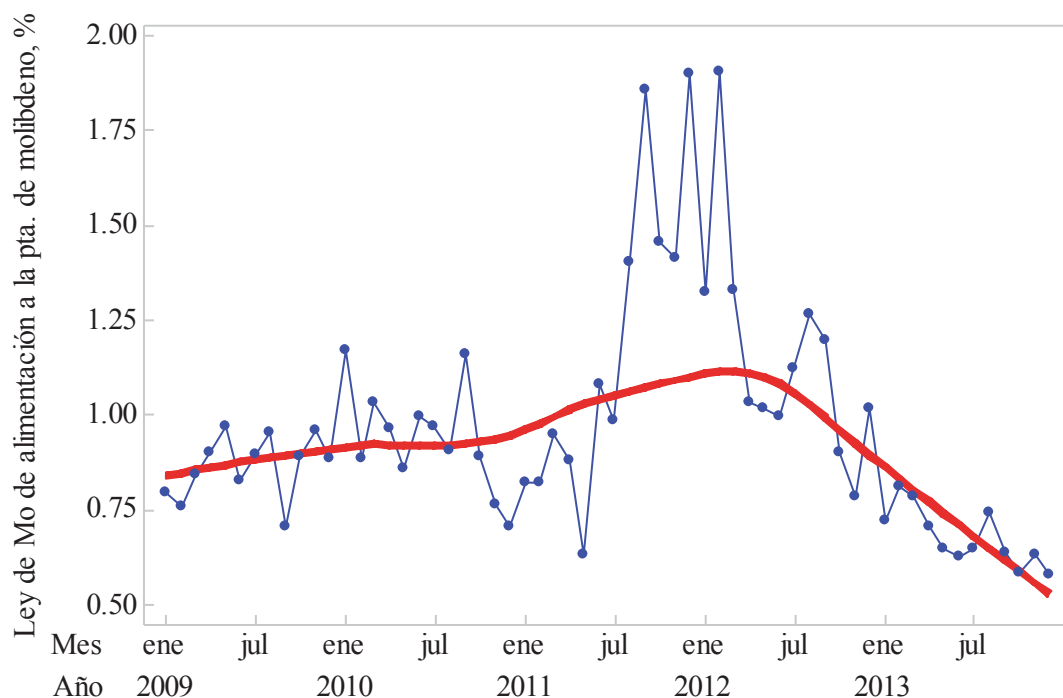


Figura 5.9: Variación de la ley de Mo alimentado a la planta de molibdeno desde el año 2009 hasta el año 2013.

Como se evidencia en la Fig. 5.9, durante el año 2009 la ley de Mo en la alimentación a la planta de flotación selectiva aumentó hasta el febrero de 2012, luego disminuyó presentándose en el año 2013 la mayor baja en la ley de Mo. El mayor promedio anual de ley de Mo se tiene en el año 2011 con un promedio de 1.19 %, mientras que el menor promedio se presenta en el año 2013, con un promedio de 0.677 % de Mo.

En el punto 5.1.9 se analizó la relación entre el porcentaje de Mo de la alimentación a la planta de flotación selectiva y el reactivo consumido en la planta de molibdeno.

5.1.9 Efecto del molibdeno alimentado en el consumo de reactivos depresantes

Al igual que en el punto 5.1.6 se utilizó el programa Minitab para construir una matriz de gráficas y de esta manera poder evaluar el efecto del porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora, las TMF de Mo alimentado a la planta concentradora y % de Mo alimentado a la planta de concentración selectiva en los reactivos depresantes utilizados.

En la Fig. 5.10 se muestra la relación que existe entre pares de variables. Los datos corresponden a promedios mensuales obtenidos desde el año 2009 hasta el año 2013 y los pares de variables analizadas se presentan a continuación:

- Porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora – Anamol-D.
- Porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora – NaCN.
- TMF de Mo alimentado a la planta concentradora – Anamol-D.
- TMF de Mo alimentado a la planta concentradora – NaCN.
- Ley de Mo alimentado a la planta molibdeno – Anamol-D.
- Ley de Mo alimentado a la planta molibdeno – NaCN.
- Porcentaje de Mo alimentado a la planta concentradora – TMF de Mo alimentado a la planta concentradora.
- Ley de Mo alimentado a la planta concentradora – % de Mo alimentado a la planta molibdeno.
- TMF de Mo alimentado a la planta concentradora – % de Mo alimentado a la planta molibdeno.

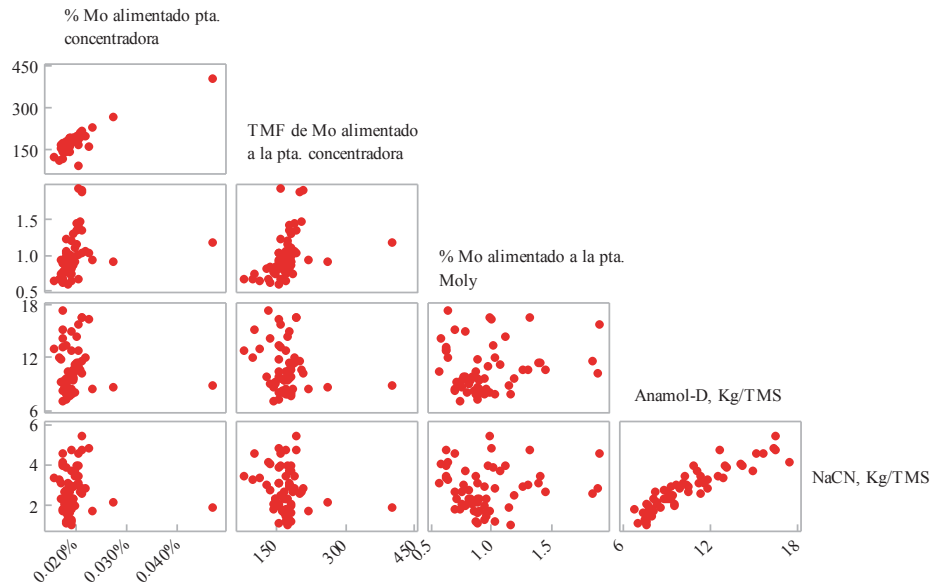


Figura 5.10: Matriz de gráficos de dispersión para variables de alimentación v/s consumo de reactivo.

Al observar en la Fig. 5.10, el gráfico formado por la variable de la primera columna y la variable de tercera fila, no se distingue una tendencia entre la ley de Mo alimentado a la planta concentradora y el consumo de Anamol-D, lo mismo ocurre con la primera columna y la cuarta fila, no se observa relación entre el la ley de Mo alimentado a la planta concentradora y el consumo de NaCN. Por otro lado, no se aprecia una relación entre la ley de Mo alimentada a la planta de Moly y el consumo de los reactivos depresantes. Por lo tanto no existe correlación entre las variables de alimentación y el consumo de reactivos depresantes, según el gráfico de la Fig. 5.10 las variables analizadas no son las responsables del aumento en el consumo de los reactivos usados en planta de molibdeno.

5.1.10 Ley de molibdeno en el relave de la planta de molibdeno

La Fig. 5.11 muestra las variaciones de la ley de Mo presente en el relave de la planta de flotación selectiva de MoS₂. En la figura también es posible apreciar que desde el 2009 hasta el año 2013 se presentan grandes fluctuaciones en el porcentaje de Mo en el relave de la planta, los valores de % de Mo varían desde un promedio mensual de 0.048 % de Mo hasta 0.296 % de Mo.

Desde el año 2009 hasta diciembre de 2010, el porcentaje de Mo en el relave de la planta de molibdeno disminuyó y durante el año 2011 aumentó llegando a un promedio de 0.108 % de Mo, posteriormente en el 2012 el porcentaje de Mo en el relave presentó una leve disminución, obteniendo un promedio de 0.104 %. En año 2009 se obtuvo un promedio de 0.108 % de Mo, en el año 2010 se obtuvo un promedio de 0.088 % de Mo, en tanto que en el año 2013 se mostró el mayor promedio entre los años analizados, en este año se presentó un promedio de 0.124 % de Mo en el relave.

En el punto 5.1.12 se analizó el caso para determinar la influencia de los reactivos depresantes en la ley de Mo presente en el relave generado por la planta de flotación selectiva.

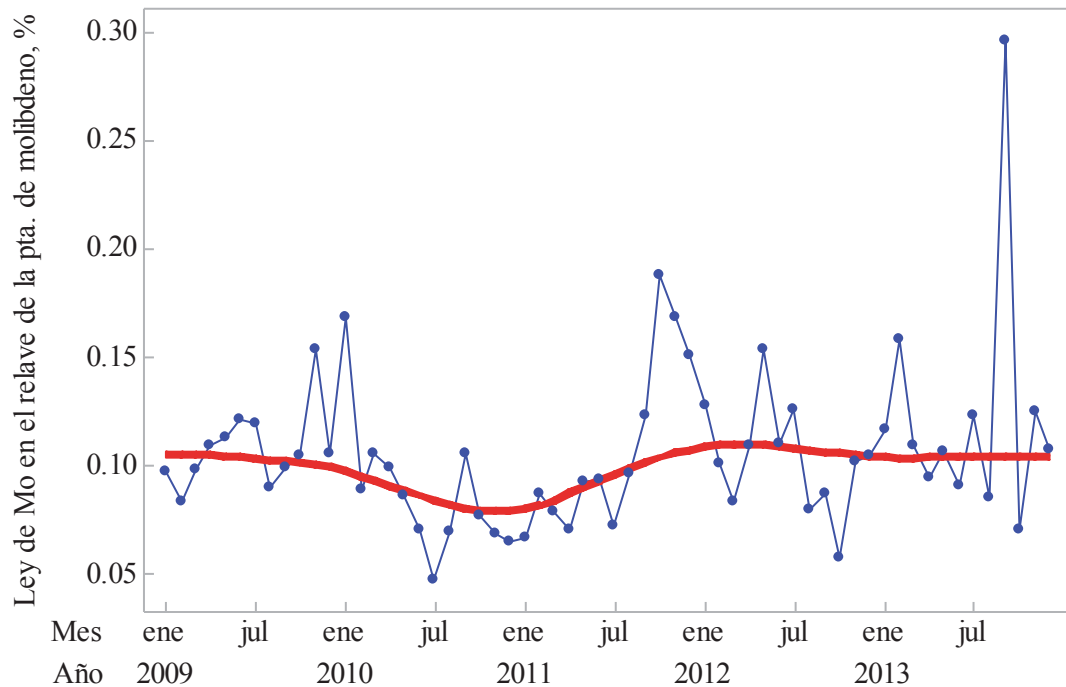


Figura 5.11: Comportamiento histórico de la ley de Mo en el relave de la planta de flotación selectiva.

5.1.11 Toneladas métricas finas de molibdeno producido en la planta de flotación selectiva

El comportamiento en un período de 5 años de la cantidad de molibdeno producido en la planta de concentración selectiva se puede observar en la Fig. 5.12, en este gráfico se evidencia que la producción de Mo presentó una leve caída en el año 2010 (1077.53 TMF de Mo) con respecto al año 2009 (1147.49 % de Mo), mientras que en el 2011 la baja fue mayor hasta las 987.9 TMF de Mo producido. Los mejores resultados se presentaron en el año 2012 con un total de 1153.66 TMF de Mo producido en la planta de flotación selectiva, sin embargo para el año 2013 la producción de Mo comenzó a caer alcanzando un total de tan sólo 898.19 TMF de Mo producido en ese año, este valor representa la menor producción desde el año 2009.

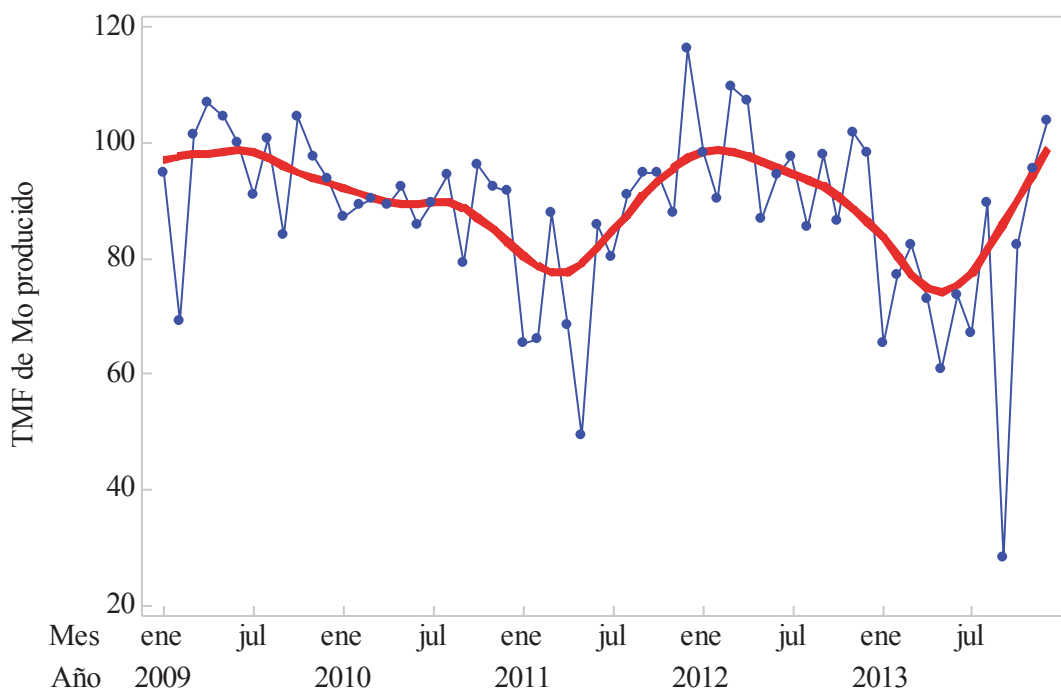


Figura 5.12: Toneladas métricas finas de molibdeno obtenido desde la planta de molibdeno.

Para determinar la influencia de los reactivos depresantes en la caída de la producción de Mo en la planta de flotación selectiva, se analizó en el punto 5.1.12 la relación entre este par de variables.

5.1.12 Efecto de reactivos depresantes en las TMF de Mo producido y en la ley de Mo contenido en el relave de la planta de molibdeno

Finalmente, se determinó el efecto que produce los reactivos depresantes Anamol-D y NaCN en las pérdidas de Mo en el relave y en la producción de Mo en la planta de flotación selectiva de la División. En la Fig. 5.13 se muestra la matriz de gráficas de dispersión en la que se observa la dependencia que existe entre los pares de variables. Los datos recopilados corresponden a promedios mensuales desde el año 2009 hasta el año 2013 y los pares de variables analizadas son las siguientes:

- Anamol-D – TMF de Mo producido en la planta de molibdeno.

- Anamol-D – % de Mo en el relave de la planta de molibdeno.
- NaCN – TMF de Mo producido en la planta de molibdeno.
- NaCN – % de Mo en el relave de la planta de molibdeno.

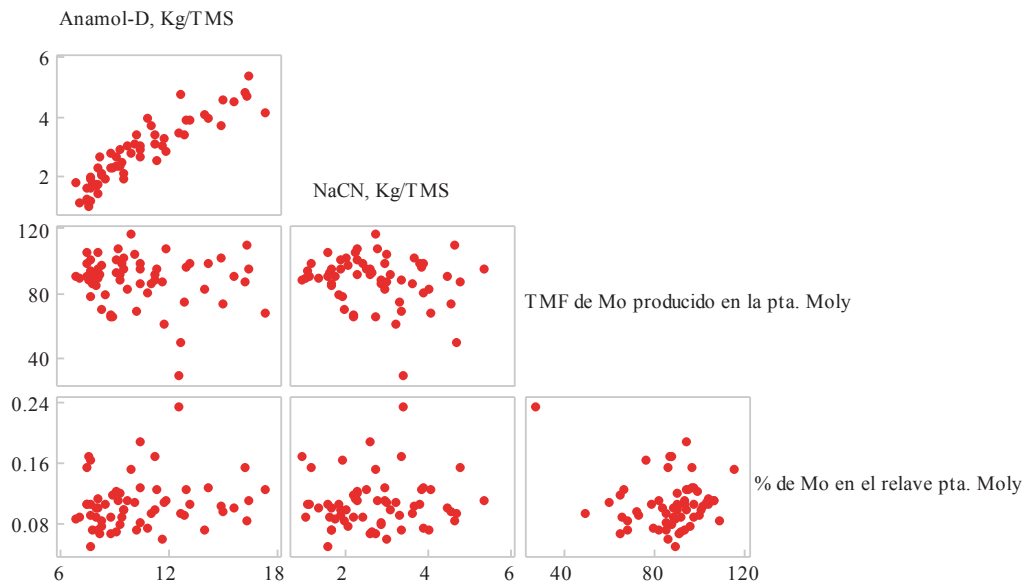


Figura 5.13: Matriz de gráficos de dispersión para Anamol-D, NaCN, TMF de Mo producido y % de Mo en el relave planta Moly.

Como es posible apreciar en el gráfico de la Fig. 5.13 los pares de variables no presentan relación alguna excepto en la gráfica de consumo de Anamol-D v/s NaCN. No se observa una tendencia clara entre el consumo de los reactivos y las TMF de Mo producido y tampoco con el % de molibdeno en el relave, pues los datos están dispersos. En consecuencia, según las gráficas de dispersión, la dosis agregada de reactivo en planta no provocó la disminución de las toneladas de Mo producido y no ocasiona pérdidas en el relave.

Debido a que el trabajo estadístico no arrojó resultados para determinar el efecto que producen los reactivos en la recuperación y ley de Mo de la planta, y tampoco fue posible determinar la razón por la cual se produjo el aumento excesivo del consumo de reactivos depresores en el período analizado. Por lo anterior se concluyó realizar pruebas experimentales de flotación rougher en el laboratorio usando Anamol-D de esta forma se

determinó la dosis más conveniente. Cabe destacar que no se evaluó el consumo de NaCN en la etapa de purificación mediante pruebas experimentales, debido a que el laboratorio carece de las condiciones de seguridad para utilizar este reactivo de alta peligrosidad y toxicidad.

Teóricamente los reactivos influyen directamente en las respuestas metalúrgicas de una planta de flotación, pero según el análisis estadístico realizado no hay relación entre estas variables, por lo cual los datos deben presentar un gran porcentaje de error. Por ello con la necesidad de obtener resultados de calidad y, más aún, asegurar conclusiones concretas se realizaron pruebas de flotación en el laboratorio con distintas dosificaciones de Anamol-D para generar datos útiles y significativos. Además por la falta de control de dosificación y medición de potencial óxido-reducción mientras se adiciona el reactivo en planta, se incluyeron pruebas de ajuste de Eh mediante la adición de Anamol-D.

Las variables de ley de alimentación de Mo analizadas no presentaron una relación significativa en el incremento de la dosificación de Anamol-D y NaCN, ante esto son otras las variables que influyen en el gasto elevado de los depresantes, lo cual implica realizar un análisis estadístico más detallado incluyendo otras variables de proceso, tales como, la adición de escoria al proceso, el incremento de la proporción de mineral de mala calidad proveniente de la mina Campamento Antiguo, dosis de cal y las impurezas presentes en el concentrado colectivo Cu-Mo que ingresa a la planta de flotación selectiva. Con lo descrito anteriormente sería necesario evaluar en otro estudio, el efecto de estas variables en el gasto de reactivos en la planta de molibdeno.

5.2 Resultados y discusiones de trabajo experimental

5.2.1 Resultados de trabajo preliminar

5.2.1.1 Efecto del tiempo de acondicionamiento en pruebas de flotación de MoS₂

A continuación, en la tabla 5.1 se presentan los resultados metalúrgicos de las pruebas realizadas en el laboratorio en las cuales se evaluó el tiempo de acondicionamiento de los reactivos adicionados en la flotación rougher de molibdenita.

Tabla 5.1: Resultados experimentales de la evaluación del tiempo de acondicionamiento en pruebas de flotación de MoS₂ en laboratorio.

Prueba	Reactivo depresante	Tipo de prueba	Tiempo de acondicionamiento (min)	Recuperación (%)		
				Mo	Cu	Fe
1	NaHS	Ajuste de Eh	1	98.28	8.86	7.60
2			3	92.91	10.40	9.45

Como se observa en la tabla 5.1, a menor tiempo de acondicionamiento mayor recuperación de molibdeno y menor recuperación de cobre y hierro. En estas pruebas se evidencia la marcada influencia del tiempo de acondicionamiento sobre la recuperación de las especies, ya que al acondicionar el reactivo depresante (NaHS) por 1 min se alcanza una recuperación 98.28 % de Mo y 8.86% de Cu, mientras que cuando se acondicionó la pulpa durante 3 min con NaHS, se consiguió una recuperación de sólo 92.91 % de Mo y 10.40 % de Cu. Por lo anterior, se decidió establecer 1 min como tiempo de acondicionamiento para las siguientes pruebas de flotación rougher de MoS₂ realizadas en el laboratorio.

5.2.1.2 Evaluación del flujo de nitrógeno en pruebas de flotación de MoS₂

La tabla 5.2 muestra los resultados obtenidos de las pruebas de flotación rougher de MoS₂ a nivel de laboratorio, al variar el flujo de nitrógeno. Se evaluó la adición de 5 y 10 l/min de nitrógeno.

Tabla 5.2: Resultados de la evaluación de flujo de nitrógeno en las pruebas experimentales de flotación rougher de MoS₂.

Prueba	Reactivo depresante	Dosis de reactivo	Flujo de Nitrógeno (l/min)	Recuperación (%)		
				Mo	Cu	Fe
1	Anamol-D	13 kg/TMS de concentrado Cu-Mo	5	99.06	13.23	12.19
2			10	99.23	29.74	28.23

Como es posible apreciar en la tabla 5.2, la recuperación de Mo aumenta a mayor flujo de nitrógeno. Sin embargo, al aumentar el flujo de nitrógeno se obtiene altas recuperaciones de Cu y Fe, lo que no es deseable en este tipo de pruebas de flotación selectiva de MoS₂. Para un

flujo de 5 l/min de nitrógeno se obtuvo una recuperación de 99.06 % de Mo y 13.23 % de Cu, por otra parte para un flujo de 10 l/min se alcanza una recuperación de 99.23 % de Mo y 29.74 % de Cu. Si bien, se obtiene una mayor recuperación de Mo para un flujo de 10 l/min, se maximiza la recuperación de Cu y Fe, por lo tanto, se establece realizar las siguientes pruebas de flotación rougher adicionando 5 l/ min de nitrógeno.

Como se describió en la sección 3.3.7.3 el uso de nitrógeno reduce significativamente la oxidación indeseable del depresante de Cu y Fe y por ende el consumo de reactivo, pero un flujo muy elevado puede recuperar especies no deseables debido a que se forma un colchón de espuma de mayor volumen, y se acelera la generación de concentrado de MoS₂.

5.2.2 Caracterización del concentrado colectivo Cu-Mo

La pulpa utilizada para realizar las pruebas de flotación de MoS₂ fue caracterizada y sus resultados se detallan a continuación:

5.2.2.1 Caracterización Química

En la tabla 5.3 se detalla el análisis químico de una muestra de alimentación con la que se realizaron las pruebas de flotación selectiva. La pulpa corresponde al concentrado colectivo Cu-Mo que alimenta al espesador de cabeza de la planta de molibdeno.

Tabla 5.3: Análisis químico de Mo, Cu, Fe e insolubles de la muestra de alimentación a las pruebas de flotación.

Alimentación	% Mo	% Cu	% Fe	% Insolubles
	0.46	20.43	30.33	11.40

5.2.2.2 Caracterización mineralógica

La caracterización mineralógica del concentrado de alimentación fue realizada por la empresa PRO LTDA. Los porcentajes en peso de las especies mineralógicas presentes en el concentrado Cu-Mo utilizado como alimentación a las pruebas de flotación rougher de MoS₂, se especifican en la tabla 5.4, esta pulpa corresponde al concentrado colectivo Cu-Mo que alimenta al espesador de cabeza de la planta de molibdeno.

Tabla 5.4: Distribución de la composición mineralógica de pulpa de alimentación a pruebas de flotación de molibdenita.

Espece	% en peso
Pirita	35.4
Calcopirita	48.3
Calcosina	5.0
Covelina	1.4
Molibdenita	6.8
Bornita	1.6
FSA	0.0
FSG	0.0
FSR	0.0
Ganga	1.5

En el análisis mineralógico del concentrado colectivo Cu-Mo utilizado en las pruebas de flotación se tiene la presencia dominante de calcopirita con un contenido en peso de 48.3 %, y pirita con un contenido en peso de 35.4 %. La molibdenita presente en la pulpa de alimentación representa tan sólo un 6.8 % en peso y con respecto a la liberación, se presentó un buen porcentaje de liberación de 100 %. Para la calcopirita se evidenció un buen porcentaje de liberación, sobre un 97%, mientras que el 7 % se encuentra asociado a minerales insolubles y en muy baja cantidad a pirita.

En la Fig. 5.14 se puede ver una microfotografía de una muestra de alimentación de las pruebas experimentales de flotación de MoS₂, en ella se observa una mineralogía libre de asociaciones, con granos de calcopirita de color amarillo, pirita de color amarillo pálido y molibdenita de color gris plata. Las fotografías fueron tomadas con un acercamiento de 20x.

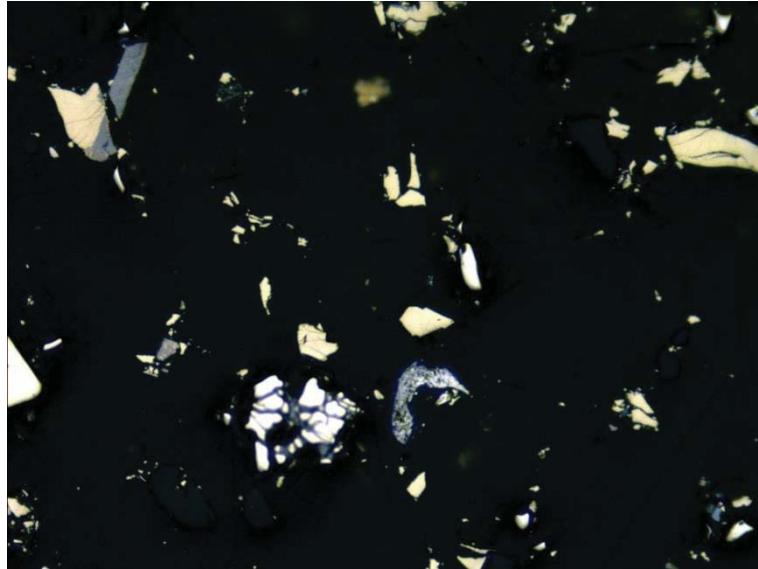


Figura 5.14: Microfotografía del concentrado Cu- Mo usado en pruebas de flotación.

5.2.2.3 Caracterización granulométrica

A continuación en la Fig. 5.15 se observa el análisis granulométrico del concentrado Cu-Mo utilizado durante el desarrollo de las pruebas de flotación de MoS_2 . En anexo A.3 se presentan los cálculos del análisis granulométrico.

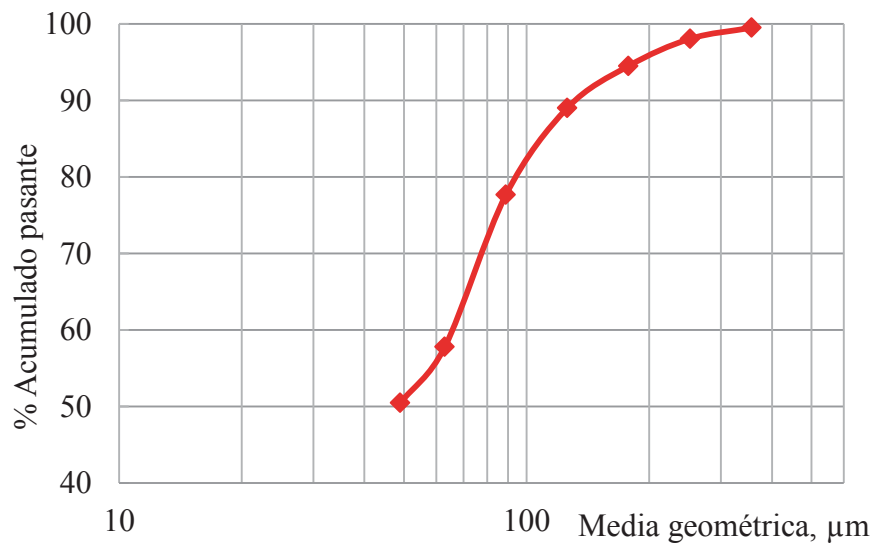


Figura 5.15: Curva granulométrica de la alimentación fresca a la planta de molibdeno.

La granulometría arroja como resultado un P_{80} de $97 \mu\text{m}$, es decir el 80% pasante se obtiene bajo la malla #140 ASTM, con un tamaño de partícula bajo $106 \mu\text{m}$.

5.2.3 Efecto de la dosis de Anamol-D en pruebas de flotación rougher de MoS_2

A continuación, en la Fig. 5.16 se presenta el efecto del consumo del reactivo actualmente usado en planta, Anamol-D, sobre la recuperación de Mo obtenida en las pruebas de laboratorio, en esta gráfica se observa que al aumentar la dosis de Anamol-D se incrementa la recuperación de Mo.

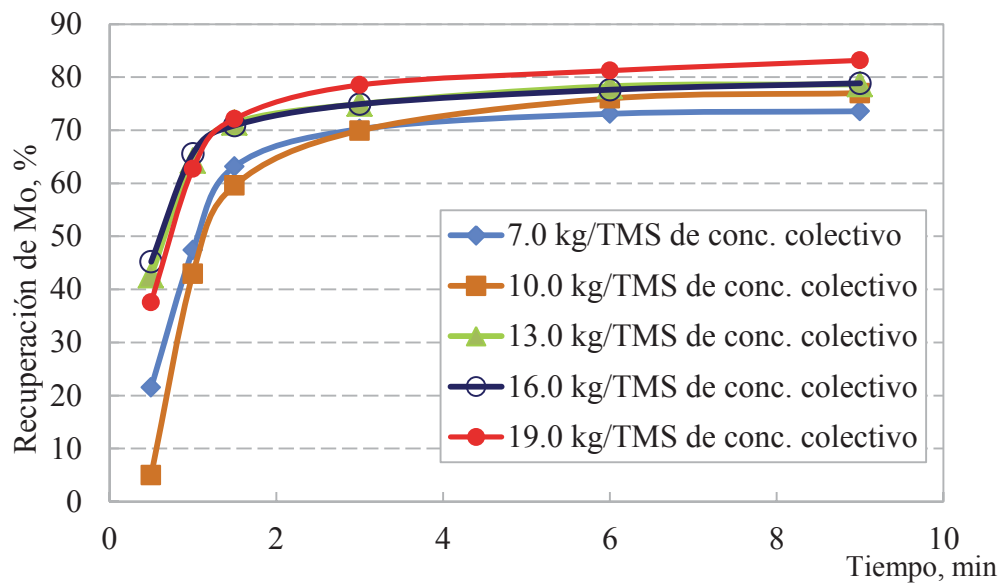


Figura 5.16: Recuperación de Mo para distintas dosis de Anamol-D.

Como es posible apreciar en la Fig. 5.16, todas las curvas de recuperación acumulada tienen el mismo comportamiento, crecen muy rápido hasta los 90 segundos y luego aumentan lentamente hasta estabilizarse. Transcurridos los 30 segundos desde el inicio de la flotación las curvas presentan distintas recuperaciones acumuladas, se observa que las menores recuperaciones obtenidas de 21.49 % y 4.97 % de recuperación de Mo corresponden a una dosis de 7 y 10 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado colectivo, respectivamente. Por otro lado, la mejor recuperación acumulada de Mo a los 30 segundos, se consigue para una dosis de 16 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado colectivo.

Pasados los 6 minutos de flotación la mayor recuperación de Mo obtenida es de 81.23 % correspondiente a la mayor cantidad de Anamol-D adicionada a la prueba (19 kg/TMS de concentrado colectivo), mientras que la menor recuperación de Mo que se alcanzó es de 73.10% para la menor dosis de Anamol-D agregada (7 kg/TMS de concentrado colectivo).

Los resultados de recuperación de Mo no presentan grandes cambios a partir de los 13 kg/TMS de concentrado colectivo y para alcanzar una recuperación mayor que 80% a partir de los 6 min de flotación se debe adicionar una elevada cantidad de Anamol-D, sobre los 16 kg/TMS de concentrado colectivo.

En el Anexo A.4 se muestra la influencia de dosificación de Anamol-D en R_{∞} y en la constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zuñiga para Mo. Además se puede observar la recuperación acumulada de Mo v/s la ley acumulada de Mo al finalizar la flotación.

La recuperación acumulada de Cu y Fe de las pruebas realizadas a distintos tiempos de flotación se puede ver en la Fig. 5.17 y 5.18, respectivamente.

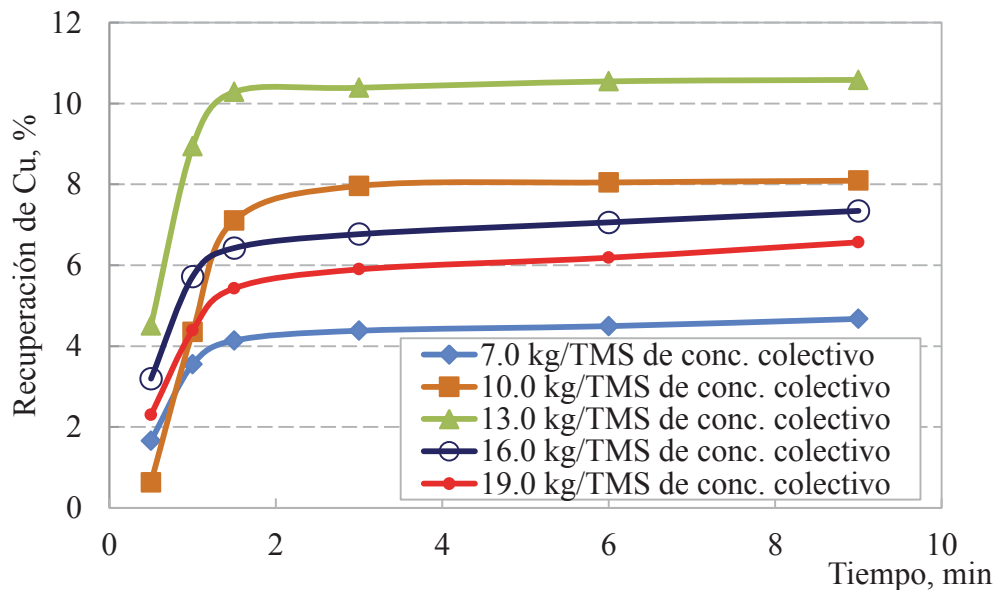


Figura 5.17: Recuperación de Cu para distintas dosis de Anamol-D.

Según se observa en la Fig. 5.17 y 5.18, la mayor depresión de Cu y Fe se obtiene para la menor dosis de Anamol-D agregada, pero al mismo tiempo se consigue la menor recuperación de Mo.

Inicialmente las curvas de recuperación acumulada de Cu y Fe crecen rápidamente y los 90 segundos se estabilizan, es más aún las curvas correspondientes a 10 y a 13 kg/TMS de concentrado colectivo presentan al comienzo un incremento más pronunciado que el resto. Se observa que a los 30 segundos para una dosis de 10 kg/TMS de concentrado mixto, se tiene una recuperación de Cu de 0.62 % y de Fe de 0.54 % y los 90 segundos la recuperación ya alcanza los 7.11% de Cu y 6.71 % de Fe, lo mismo ocurre para una dosis de 13 kg/TMS de concentrado colectivo, se tiene inicialmente una recuperación de Cu de 4.51 % y de Fe de 4.27 % y a los 90 segundos ya se está recuperando 9 % de Cu y de Fe.

Transcurridos 6 min de flotación, para una dosis de Anamol-D de 13 kg/TMS de concentrado colectivo se alcanza la mayor recuperación de 10.55 % de Cu y 10.55 % de Fe, por ende la menor depresión de Cu y Fe.

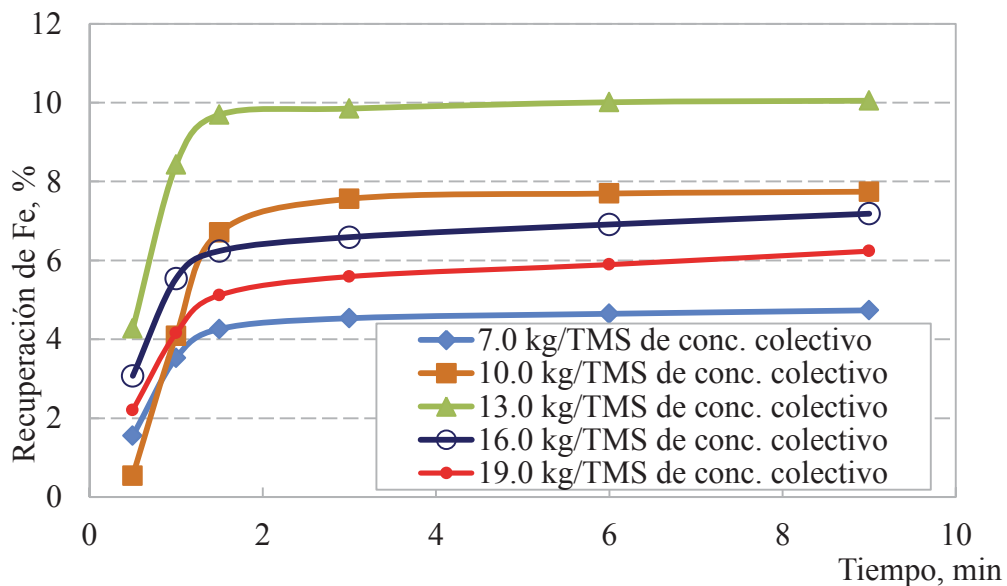


Figura 5.18: Recuperación de Fe para distintas dosis de Anamol-D.

No cabe duda que el efecto del reactivo Anamol-D sigue el mecanismo de acción de los depresores sulfurosos descrito en el punto 3.3.6.

Finalmente, se concluye que la prueba de flotación de molibdenita que presenta resultados aceptables en relación a la recuperación de Mo, Cu y Fe corresponde a una dosificación de 16 kg/TMS de concentrado colectivo, debido a que se obtiene una buena recuperación de Mo de 45.21 % a los 30 seg, 77.64 % a los 6 min y 78.86 % a los 9 min de flotación y una razonable recuperación de cobre y hierro, de 3.2 % de Cu y 3.07 % de Fe a los 30 seg, 7.06 % de Cu y 6.91 % de Fe a los 6 min y a los 9 min se tiene una recuperación de Cu de 7.34 % y de 7.18 % de Fe. Si bien se obtiene una mejor recuperación de Mo y una mayor depresión de Cu y Fe para una dosis de 19 Kg/TMS de concentrado colectivo, se debe considerar que trabajar con 19 kg/TMS de concentrado colectivo es una dosis demasiado elevada en comparación con el consumo de reactivo en otras plantas de flotación selectiva de molibdenita, y además las recuperaciones de las pruebas de flotación obtenidas para 16 kg/TMS de concentrado colectivo son muy similares a las obtenidas con 19 kg/TMS de concentrado Cu-Mo, por tanto no se justifica aumentar la dosis de 16 a 19 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado colectivo. En el Anexo A.1 se presenta un ejemplo de cálculo de recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe.

5.2.4 Variación del tipo y dosis de depresante en pruebas de flotación rougher de MoS₂

5.2.4.1 Efecto de la dosificación de NaHS en pruebas de flotación rougher de MoS₂

El gráfico de la Fig. 5.19 muestra la recuperación acumulada de Mo a distintos tiempos de flotación cuando se agrega como reactivo depresante NaHS en cantidades de 3.0, 4.5 y 6.0 kg/TMS de concentrado mixto a las pruebas de flotación de MoS₂ realizadas en el laboratorio.

Como se aprecia en el gráfico de la Fig. 5.19 las curvas correspondientes a los 4.5 y 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo presentan recuperaciones acumuladas muy parecidas.

Para las 3 dosificaciones de NaHS probadas se obtuvo una recuperación inicial muy similar, superior a 40 % de recuperación de Mo. Además, se observa que a los 30 seg de flotación al agregar 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo se consiguió una recuperación de Mo

de 44.85 %, mientras que con Anamol-D se adicionó 13 kg/TMS de concentrado Cu-Mo y se obtuvo una recuperación de Mo de 42.61 %.

Para un tiempo de 6 min de flotación la menor recuperación de Mo que se obtuvo fue de 87.24 %, la cual se alcanza al adicionar 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo, mientras que la mayor recuperación de Mo (91.13 %) se logró para una dosis de NaHS de 6.0 kg/TMS concentrado colectivo, por lo tanto al adicionar una mayor cantidad de este reactivo depresante se alcanza una mayor recuperación de Mo. En cuanto a los 9 min de flotación, la recuperación de Mo se incrementa en 4.13 puntos porcentuales pasando desde 3.0 (88.05 %) a 4.5 kg/TMS de concentrado colectivo (92.18 %) y desde los 4.5 a los 6.0 kg de/TMS de concentrado colectivo se obtuvo una recuperación muy similar de 92.18 % y 92.43 %, respectivamente.

Cuando se utiliza el NaHS como depresante de Cu y Fe pasados 6 min se obtienen recuperaciones de Mo superiores a 86% mientras que con Anamol-D las recuperaciones de Mo no superan el 85%.

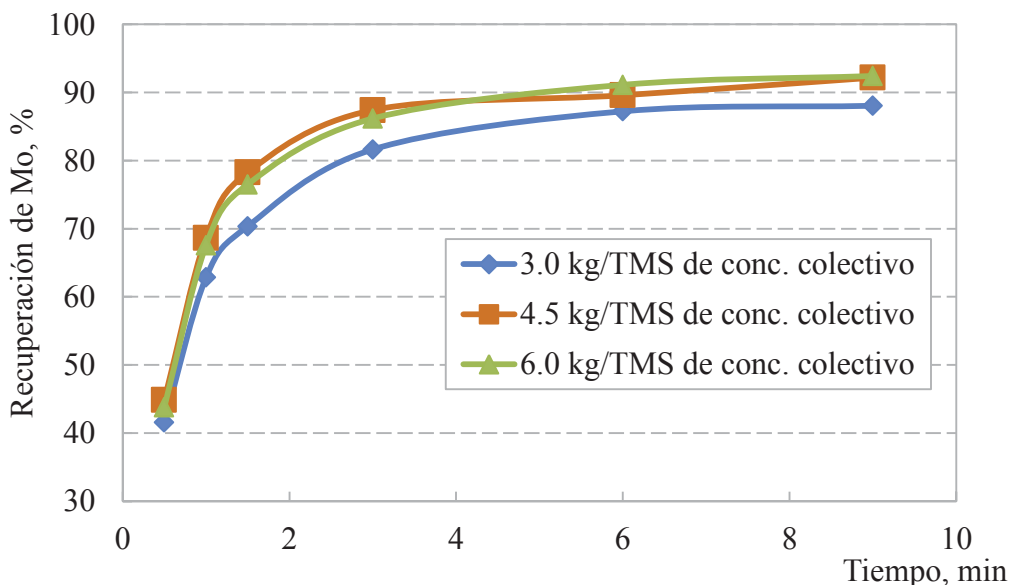


Figura 5.19: Recuperación de Mo a distintas dosis de NaHS.

En el Anexo A.5 se muestra la influencia de dosificación de NaHS en R_{∞} y en la constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zuñiga para Mo. Por otro

lado se puede apreciar la recuperación acumulada de Mo en función de ley acumulada de Mo al finalizar la flotación.

La Fig. 5.20 y 5.21 corresponden a los resultados de recuperación acumulada de Cu y Fe obtenido al adicionar NaHS en distintas cantidades.

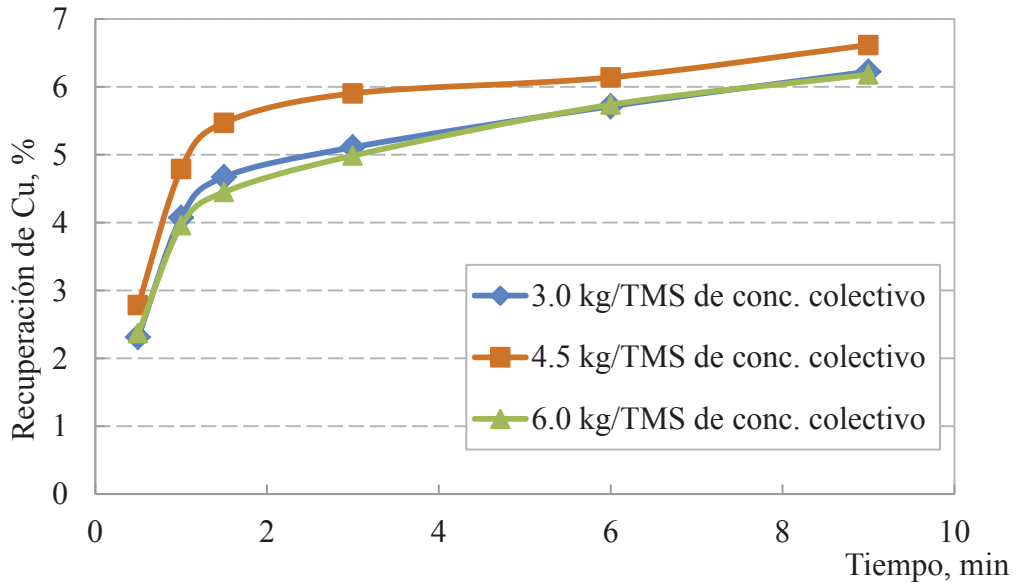


Figura 5.20: Recuperación de Cu a distintas dosis de NaHS.

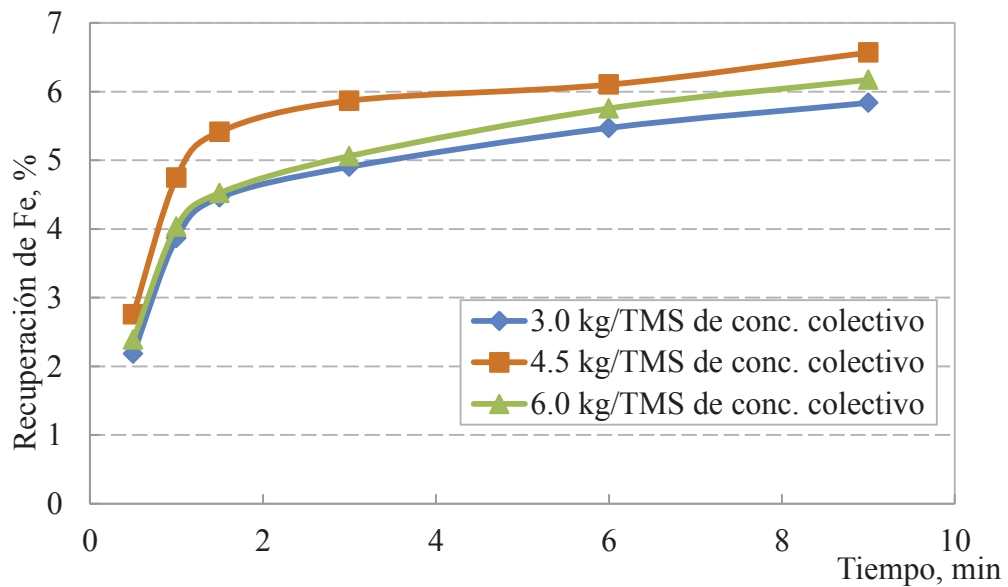


Figura 5.0.21: Recuperación de Fe a distintas dosis de NaHS.

Respecto de la recuperación de Cu y Fe a los 30 seg de flotación, se tiene que la mayor depresión se presentó cuando se utiliza 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo, esta recuperación de Cu y Fe es muy parecida a la obtenida cuando se adicionaron 4.5 y 6.0 kg de NaHS por cada TMS de concentrado Cu-Mo.

Transcurridos 6 min de flotación, se obtuvo la menor recuperación de Cu de 5.72 % y de Fe de 5.47 % para una dosis de 3.0 kg/TMS de concentrado colectivo y la mayor recuperación de Cu y Fe se obtuvo cuando se consumió 4.5 kg/TMS de concentrado Cu-Mo. Luego al finalizar la flotación, a los 9 min se obtuvieron recuperaciones de 6.23 % de Cu y 5.84 % de Fe cuando se agregan 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado mixto, al mismo tiempo para una dosificación de 4.5 kg/TMS de concentrado colectivo se tiene una recuperación de Cu de 6.62 % y de Fe de 6.57 %. Por otra parte, con la mayor dosis de NaHS adicionada se consiguen recuperaciones de 6.18 % de Cu y 6.17 % de Fe.

Este tipo de reactivo depresante, al igual que el Anamol-D se comporta según el mecanismo de acción de los depresores sulfurosos descrito en el punto 3.3.6, pero la diferencia está en la persistencia de los iones HS^- aportados por el NaHS y por el Anamol-D durante la flotación.

Finalmente, al observar los gráficos de la Fig. 5.19, 5.20 y 5.21 se concluye que la prueba de flotación de MoS_2 que presenta los mejores resultados con respecto a la relación consumo de NaHS y recuperación de Mo, Cu y Fe se presentó cuando se agregó 6.0 kg/TMS de concentrado colectivo, puesto que a partir de los 6 min de flotación se obtuvo la mejor recuperación de Mo para esa dosificación y además una moderada recuperación de Cu y Fe.

Cuando se utiliza NaHS en vez de Anamol-D el cambio en la tendencia del consumo de reactivo depresante hacia valores más bajos es evidente. Al comparar las pruebas de flotación realizadas agregando NaHS y adicionando Anamol-D, se tiene que el consumo de NaHS es bastante menor y además se consiguen mejores resultados, pues al agregar 16 kg de Anamol-D /TMS de concentrado colectivo, se alcanzan recuperaciones de Mo de 81.23 % a los 6 min y 83.17 % a los 9 min mientras que, al adicionar tan sólo 6.0 kg de NaHS por cada TMS de concentrado Cu-Mo se consiguen mayores recuperaciones de 91.13 % de Mo a los 6 min y en el minuto 9 de 92.43 % de Mo y un leve aumento en la depresión de Cu y Fe.

5.2.4.2 Efecto de la dosificación de Tiofos 80:20 en pruebas de flotación rougher de MoS_2

Los resultados obtenidos en las pruebas de flotación de MoS_2 al adicionar distintas dosis de Tiofos 80: 20 se pueden ver en el gráfico de la Fig. 5.22, en este gráfico se observa que la mejor recuperación acumulada de Mo se obtuvo para una dosis de 4.0 kg/TMS de concentrado Cu-Mo, alcanzando un valor de 95.38 % en el minuto 6 y un valor de 97.79 % en el minuto 9.

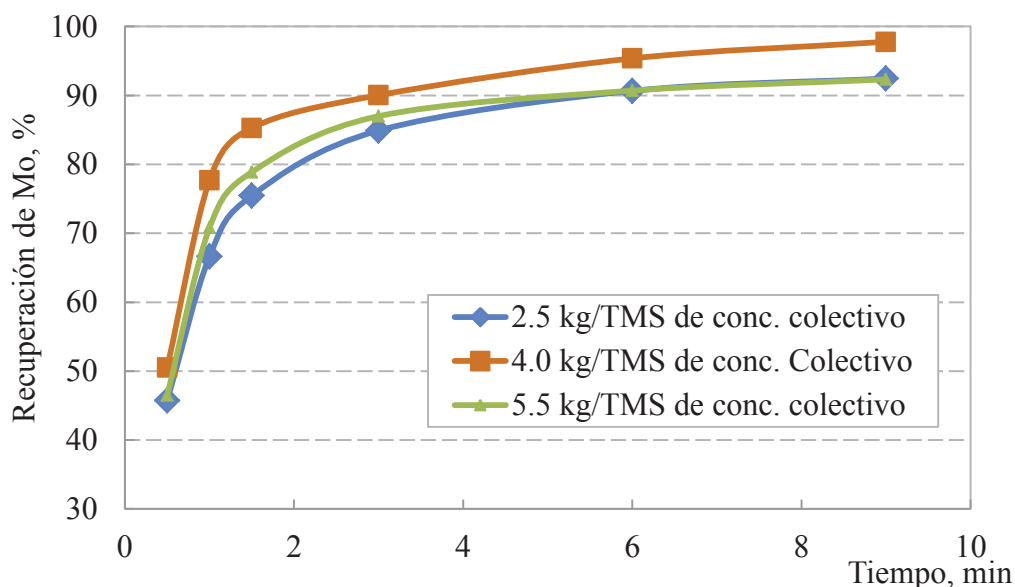


Figura 5.22: Recuperación de Mo de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.

En la Fig. 5.22 se puede apreciar un comportamiento similar entre las curvas de cinética, a medida que aumenta el tiempo de flotación la recuperación acumulada se incrementa considerablemente hasta los 60 seg y luego sigue aumentando levemente.

La curva cinética correspondiente a 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo presentó los menores valores de recuperaciones acumuladas de Mo hasta los 3 min de flotación, luego a los 6 min alcanzó una recuperación de Mo (92.45 %) muy parecida a la curva perteneciente a los 5.5 kg/TMS de concentrado Cu-Mo y a los 9 min se obtuvo una mayor recuperación acumulada de Mo que al adicionar 5.5 kg/TMS de concentrado colectivo.

De las pruebas de flotación realizadas adicionando distintas cantidades de Tiofos 80: 20 se observó que este depresante arroja resultados de recuperación acumulada de Mo muy parecidas a los 30 seg de flotación, entre 45 y 51 % para las 3 dosificaciones evaluadas, obteniéndose la menor recuperación de Mo de 45.73 % para una dosis de 2.5 kg/TMS de concentrado Cu-Mo, en tanto que la dosificación de 4.0 kg/TMS de concentrado Cu-Mo entregó la mejor recuperación de Mo de 50.54 %.

En el Anexo A.6 se puede observar la influencia de dosificación de Tiofos 80:20 en R_{∞} y en la constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zuñiga para Mo. Por otra parte la recuperación acumulada de Mo v/s la ley acumulada de Mo al finalizar cada prueba de flotación.

La recuperación acumulada de Cu y Fe se muestra en la Fig. 5.23 y 5.24, respectivamente. En esta gráfica se observa que la mayor depresión de Cu se produjo al adicionar 2.5 kg/TMS de concentrado colectivo y la mayor depresión de Fe se presentó para un dosis de 2.5 y 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo, por el contrario la mayor recuperación de Fe se obtiene con una dosificación de 5.5 kg/TMS de concentrado Cu-Mo.

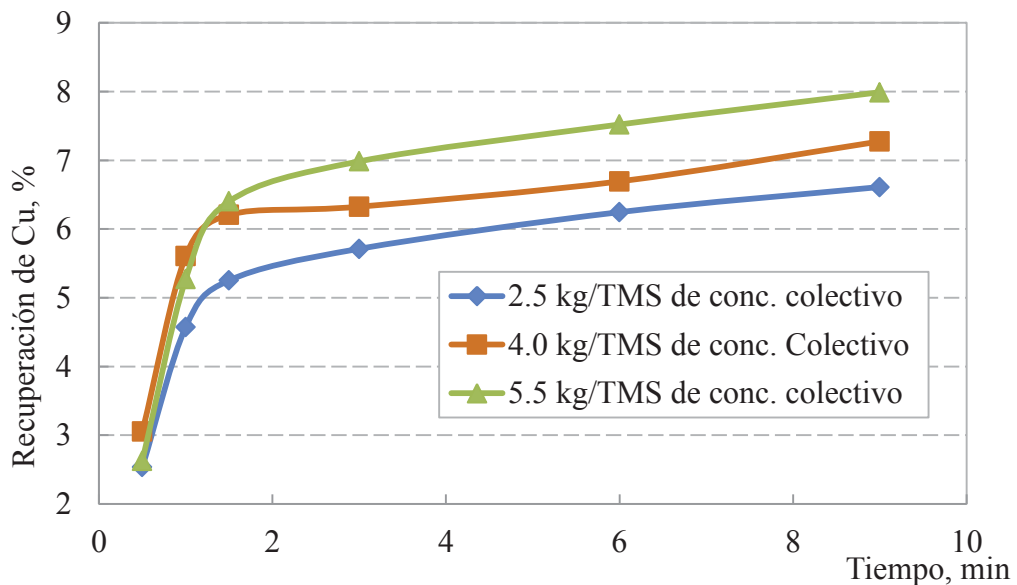


Figura 5.23: Recuperación de Cu de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.

Las curvas de recuperación de Cu y Fe presentaron el mismo comportamiento que las curvas de recuperación de Mo, aumentaron extensivamente hasta alcanzar los 60 seg y luego presentaron leve crecimiento. En el punto inicial los valores de recuperación de Cu y Fe para estas pruebas son similares, entre 2.0 y 2.7 %.

Para la menor dosis de Tiofos 80:20 agregada se obtienen recuperaciones de Cu de 6.25 % y de Fe de 5.91 % pasados los 6 min de flotación y a los 9 min se alcanzan recuperaciones de 6.61 % de Cu y de 6.23 % de Fe. En tanto a una mayor dosis de Tiofos 80:20, transcurridos 6 min de flotación se consiguió recuperaciones de 7.52 % de Cu y de 7.50 % de Fe, y en el minuto 9 la recuperación alcanzó un 7.99 % de Cu y un 7.96 % de Fe.

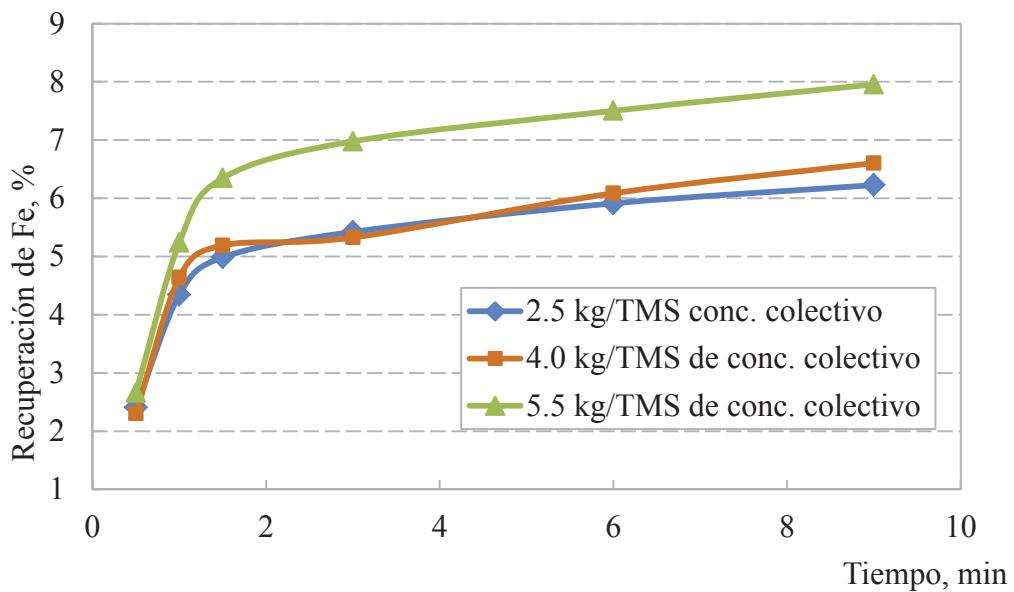


Figura 5.24: Recuperación de Fe de acuerdo a las distintas dosis de Tiofos 80:20.

Se observa en la Fig. 5.22, 5.23 y 5.24 que mientras más se recupera Mo, la recuperación de Cu y Fe también aumenta. En cuanto a los mejores resultados obtenidos al adicionar distintas cantidades de Tiofos 80:20 en las pruebas de flotación, éstos corresponden a la prueba de flotación realizada adicionando 4.0 kg de depresante/TMS de concentrado colectivo, esto debido a que la dosis alcanzó las mejores recuperaciones de Mo en los distintos tiempos de flotación y además este reactivo logró depresar una gran cantidad de Cu y Fe, aunque la mayor depresión de Cu y Fe se obtuvo para una dosis de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo, la dosis de 4.0 kg/TMS de concentrado colectivo presentó valores de

recuperación acumulada de Cu y Fe muy parecidos en los distintos tiempos de flotación y una gran diferencia en recuperación de Mo.

En las pruebas de flotación realizadas, cuando se utilizó Tiofos 80:20 al igual que cuando se usó NaHS en vez de Anamol-D el consumo de reactivo se reduce significativamente y además se consiguen mejores resultados.

Al comparar las pruebas experimentales usando NaHS o Tiofos 80:20, el depresante que alcanzó mejores resultados corresponde a 4.0 kg de Tiofos 80:20/ TMS de concentrado Cu-Mo, con este reactivo se obtuvo un aumento considerable en la recuperación de Mo, a los 6 min se alcanzó una recuperación de 95.38 % de Mo y en el minuto 9 se presentó una recuperación de 97.79 % de Mo, mientras que adicionando 6.0 kg de NaHS/ TMS de concentrado colectivo, las recuperaciones alcanzadas a los 6 y 9 min fueron de 91.13 % y 92.43 % de Mo , respectivamente. En relación a la recuperación de Cu y Fe, no se presenta gran diferencia cuando se agregó 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo y cuando se adicionó 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo.

5.2.5 Efecto de pH en pruebas de flotación rougher de MoS₂

5.2.5.1 Efecto de pH y adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo Cu-Mo

En la Fig. 5.25, 5.26 y 5.27 se muestra la recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe obtenida a distintos tiempos de flotación, en estas pruebas se evalúa el efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo. Como es posible visualizar en estas figuras las mayores recuperaciones de Mo a distintos tiempos de flotación se alcanzaron al ajustar el pH en 8.0, mientras que la mayor depresión de Cu y Fe a distintos tiempos de flotación se produjo cuando se ajustó el pH en 8.3.

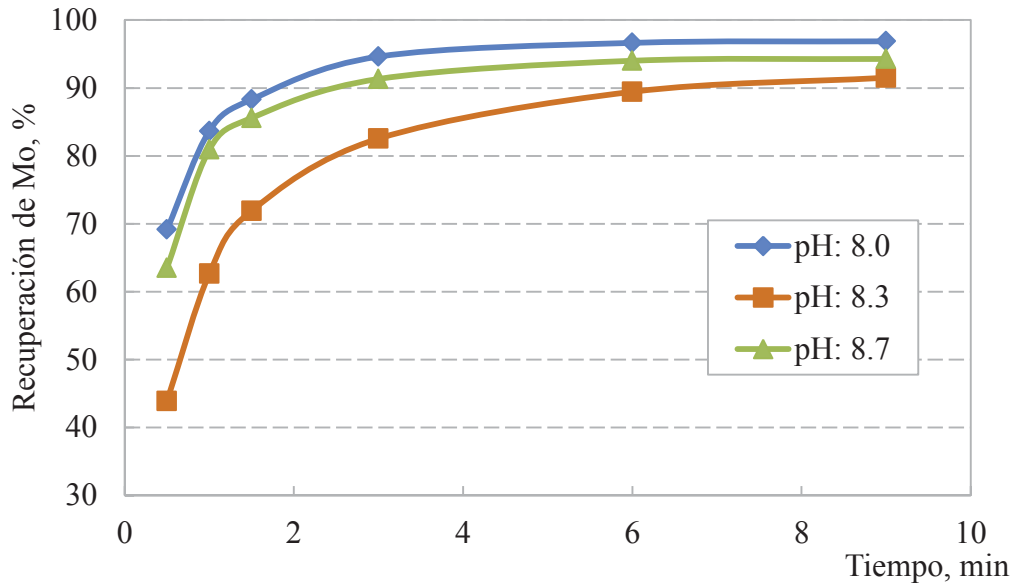


Figura 5.25: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

En la Fig. 5.25 se observa que las curvas de recuperación acumulada de Mo al variar el pH presentan una cinética muy rápida hasta los 90 seg. En los primeros 30 seg de flotación se obtuvieron recuperaciones de Mo bastante elevadas para los 3 valores de pH, para un valor de pH de 8.3 se consiguió la menor recuperación de Mo (43.92 %), y a un valor de pH de 8.0 se alcanzó la mayor recuperación de Mo (69.16 %).

Los resultados mostraron que a un valor de pH 8.0 y de 8.7 las recuperaciones de Mo alcanzaron sobre el 90 % en tan sólo 3 min de flotación, mientras que a un pH de 8.3 se consiguió una recuperación de Mo menor (82.55 %). Transcurridos 6 min de flotación las recuperaciones obtenidas fueron de 96.65 % de Mo a un pH de 8.0, 89.44 % de Mo a un pH de 8.3 y 94.01 % de Mo ajustando a un valor de pH de 8.7. En el minuto 9 de flotación, las recuperaciones alcanzaron un 96.87 %, 91.52 % y 94.28 % de Mo cuando se ajustó a un valor de pH de 8.0, 8.3 y 8.7, respectivamente.

Como es posible apreciar en la Fig. 5.26 y 5.27 a los 30 seg de flotación, la recuperación de Cu y Fe a un pH de 8.0 alcanzó varios puntos por sobre los resultados obtenidos cuando se ajustó el pH a 8.3, lo mismo ocurre en el minuto 6 cuando se realizó la prueba de flotación a un pH de 8.0 la recuperación de Cu que se obtuvo fue de 22.91 % y la recuperación de Fe fue

de 20.11 %, mientras que acondicionar la pulpa a un pH de 8.3 la depresión de Cu y Fe es mucho mayor, en el minuto 6 se presentó una recuperación de Cu de 5.57 % de Cu y de 4.49 % de Fe.

Pasados los 6 minutos de flotación cuando se ajustó a un valor de pH de 8.0 la curva de recuperación acumulada de Cu y Fe siguió aumentando llegando en el minuto 9 a valores tan elevados que alcanzan una recuperación de 23.29 % de Cu y una recuperación de 20.45 % de Fe, del mismo modo ocurre a los 9 min de flotación, cuando se ajustó la pulpa a un pH de 8.7 la recuperación alcanzó valores de 17.66 % de Cu y de 14.44 % de Fe. Sin embargo cuando las pruebas de flotación realizadas se ajustaron a pH 8.3 se obtuvo una mayor depresión de Cu y Fe, las recuperaciones de estas especies alcanzaron tan sólo un 6.75 % de recuperación de Cu y un 5.34 % de recuperación de Fe.

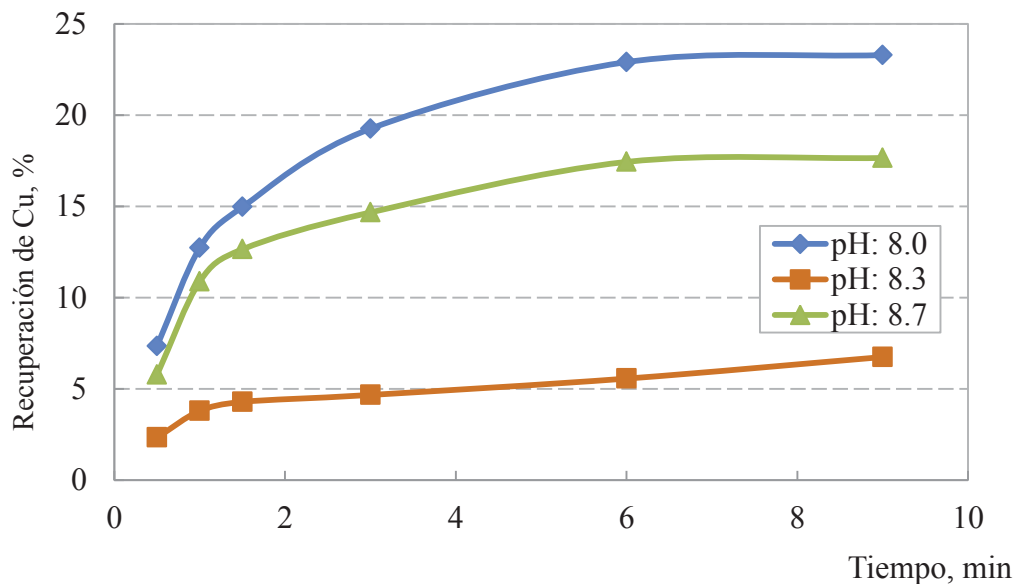


Figura 5.26: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

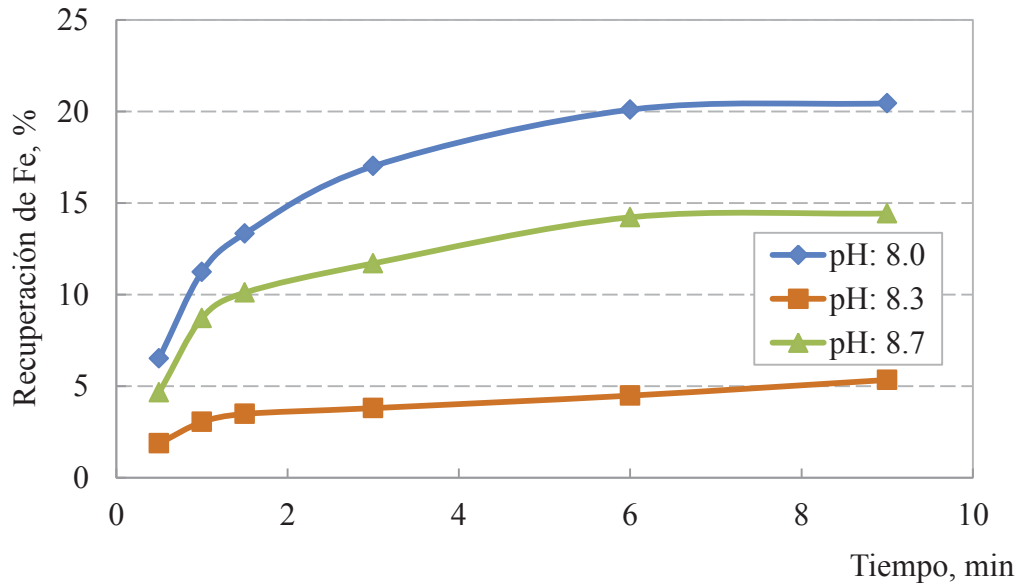


Figura 5.27: Efecto del pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

De las pruebas mostradas en la Fig. 5.25, 5.26 y 5.27, el valor de pH de 8.3 es el que mejores resultados proporciona, pues se obtuvo a partir de los 6 min de flotación una recuperación de Mo relativamente alta y también, a este mismo pH se presentó la mayor depresión de Cu y Fe. Si bien a un pH de 8.0 y de 8.7 se obtuvieron las mejores recuperaciones de Mo también se consiguieron elevadas recuperaciones de Cu y Fe.

Los resultados obtenidos de recuperación de Mo permiten determinar el pH óptimo de flotación en que la molibdenita presenta mayor flotabilidad. A medida que disminuye el pH se incrementa la recuperación de Mo, esto corrobora la teoría de reactivación con H_2SO_4 descrita en el punto 3.3.7.2. No obstante al recuperar una mayor cantidad de Mo se presentó una menor depresión de Cu y Fe.

Al comparar las pruebas de flotación con y sin la adición de H_2SO_4 pero al agregar la misma cantidad de reactivo depresante (3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo), claramente se visualiza que a partir de los 90 seg se obtienen mejores recuperaciones de Mo cuando se agregó H_2SO_4 y ajustando el pH a 8.3, y con respecto a la depresión de Cu y Fe en ambas pruebas se obtuvo recuperaciones de Cu y Fe muy parecidas.

5.2.5.2 Efecto de pH y adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo

En la Fig. 5.28, 5.29 y 5.30 es posible apreciar el efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo a cada prueba de flotación. En estas figuras se presenta la recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe a distintos tiempos de flotación para cada prueba realizada en el laboratorio. Se puede ver en la Fig. 5.28 que a un pH de 8.0 se obtuvo los mejores resultados de recuperación de Mo, mientras que la mayor depresión de Cu y Fe como se observa en la Fig. 5.29 y 5.30, se alcanzó cuando se ajustó el pH a 8.3.

En las curvas de recuperación de Mo se puede apreciar una cinética bastante rápida. En los puntos iniciales, es decir, a los 30 seg de flotación se observan recuperaciones de Mo de 62.40 % a un pH de 8.0, 49.49 % a un pH de 8.3 y 46.68 % cuando se ajustó el pH a 8.7. Por otro lado, en tan sólo 3 min de flotación se obtuvieron recuperaciones de Mo superiores 80 % en los tres valores de pH evaluados.

En el minuto 6 la recuperaciones obtenidas a un valor de pH de 8.0, de 8.3 y de 8.7 son de 96.54 %, 91.24 % y 89.19 % de Mo, respectivamente. Después de 6 min la recuperación de Mo sigue aumentando hasta llegar en el minuto 9 a valores de 97.13 % de recuperación de Mo a un valor de pH 8.0, de 92.06 % de recuperación de Mo a un pH de 8.3 y una recuperación de 89.93 % de Mo a un pH de 8.7.

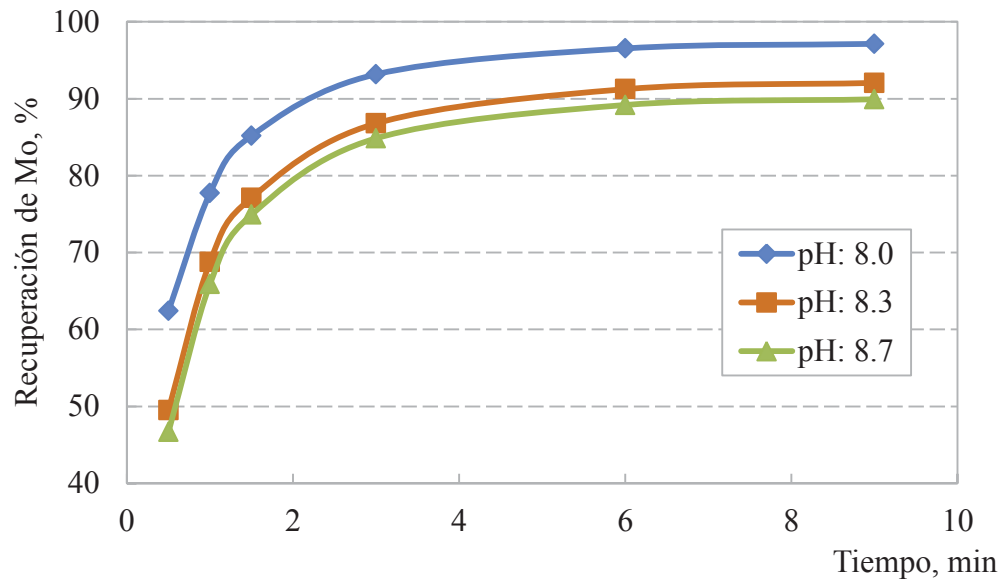


Figura 5.28: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

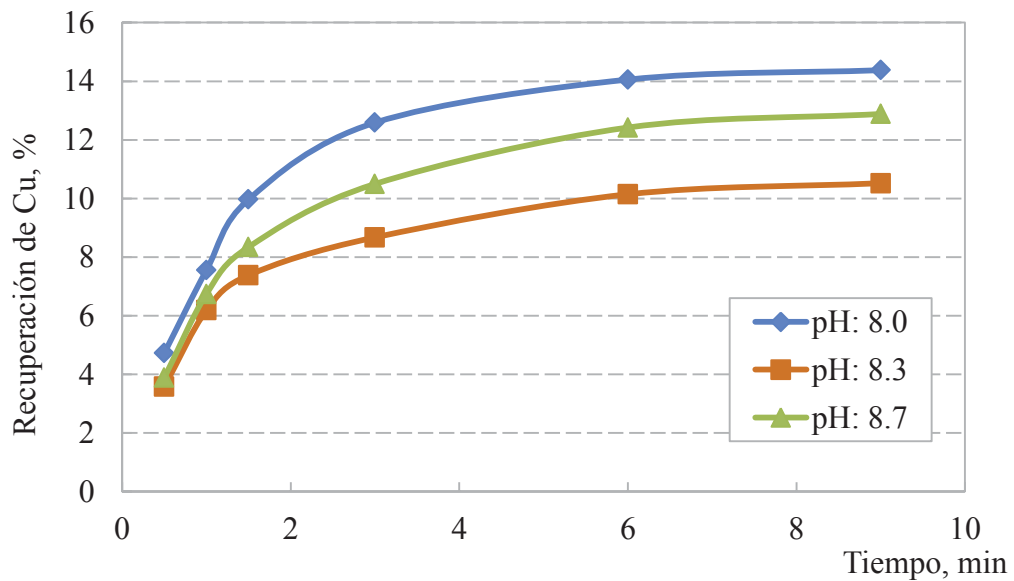


Figura 5.29: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

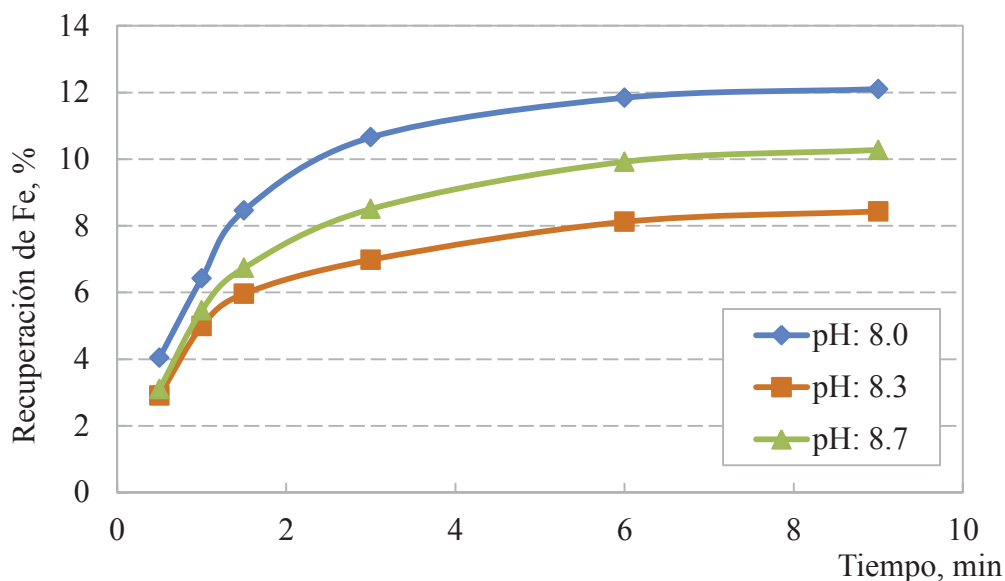


Figura 5.30: Efecto del pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

De las pruebas realizadas para una dosificación de 4.5 kg/TMS de concentrado colectivo se observa un alza en las recuperaciones de Cu y Fe al disminuir el pH hasta 8.0, llegando a valores superiores a 10 % de recuperación de Cu y Fe en tan sólo 3 min de flotación.

Analizando las recuperaciones de Cu y Fe en la Fig. 5.29 y 5.30, se puede ver que a los 30 seg de comenzar la flotación se tiene a un pH de 8.0 recuperaciones de 4.72 % de Cu y de 4.04 % de Fe, pero cuando se ajustó a un pH de 8.7 las recuperaciones disminuyen a valores de 3.88 % de Cu y de 3.10 % de Fe y luego al ajustar el pH a 8.3 las recuperaciones de Cu y Fe disminuyen a valores de 3.58 % y 2.90 %, respectivamente.

Pasados los 6 min de flotación se obtuvieron recuperaciones de Cu por sobre 10 % y recuperaciones de Fe superiores a 8 % para todos los valores de pH probados. Cuando se ajustó a un pH de 8.0 se obtuvo una recuperación de 14.06 % de Cu y una recuperación de 11.84 % de Fe, luego a un pH de 8.3 la recuperación fue de 10.14 % de Cu y 8.12 % de Fe y al ajustar a un pH de 8.7 se consiguió una recuperación de 12.42 % de Cu y una recuperación 9.92 % de Fe.

Pasados los 9 min de flotación y acondicionando con H_2SO_4 hasta alcanzar un valor de pH de 8.0, se presentó una recuperación de 14.38 % de Cu y de 12.10 % de Fe, después

acondicionando hasta un pH de 8.7 se obtuvo una recuperación de 12.88 % de Cu y de 10.28 % de Fe, al mismo tiempo la menor recuperación de Cu y Fe se obtuvo a un pH de 8.3.

De los resultados obtenidos para una dosificación de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado mixto se tiene que a menor pH mayor es la recuperación de Mo, pero también mayor es la recuperación de Cu y Fe. Por tanto la mejor prueba realizada corresponde a un pH de 8.3, con este valor se obtuvo una buena recuperación de 92.06 % de Mo en el minuto 9, y además se consiguió la mayor depresión de Cu y Fe en los distintos tiempos de flotación.

En consecuencia, se obtuvo mejores resultados de recuperación de Mo al agregar H_2SO_4 a la pulpa de alimentación a las pruebas de flotación hasta ajustar el pH en 8.3 y adicionar 4.5 kg de NaHS por cada TMS de concentrado mixto, que al agregar 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo y ajustando al mismo pH, mientras que la recuperación de Cu y Fe fue menor cuando se adicionó 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado mixto y se ajustó a un mismo valor de pH.

5.2.5.3 Efecto de pH y adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo

En la Fig. 5.31, 5.32 y 5.33 se puede observar la recuperación acumulada a distintos tiempos de flotación de Mo, Cu y Fe, respectivamente. Estas pruebas de flotación se realizaron adicionando 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado mixto y modificando el pH.

Como se observa claramente en la Fig. 5.31 la mayor recuperación de Mo alcanzada en las pruebas a distintos tiempos de flotación, se consiguió a un valor de pH igual a 8.0 y la mayor depresión de Cu y Fe en los diferentes tiempos de flotación, como se aprecia en la Fig. 5.32 y 5.33, se obtuvo cuando se ajustó el pH en 8.3.

Las curvas de cinética de recuperación de Mo son rápidas hasta aproximadamente los 3 min de flotación, luego a los 6 min comienzan a estabilizarse. Tal como se aprecia en la Fig. 5.31, se obtuvo recuperaciones de Mo superiores a 50 % en el punto inicial correspondiente a los 30 seg de flotación, se alcanzaron recuperaciones de 69.08 % de Mo a un pH de 8.0, de 50.91 % de Mo a un pH igual a 8.3 y de 53.21 % de Mo al ajustar el pH en 8.7.

A los 6 min de flotación la recuperación de Mo disminuyó 7.18 puntos porcentuales al pasar de un pH de 8.0 a un pH de 8.3, y aumentó 0.38 puntos porcentuales al variar el pH desde un valor de 8.3 a un valor de 8.7. Posteriormente, en el minuto 9 se obtuvo una recuperación de 97.66 % de Mo a un pH igual a 8.0 superando en 6.25 puntos porcentuales al ajustar el pH a un valor de 8.3, mientras tanto cuando se varió el pH de 8.3 a 8.7 a este tiempo de flotación, la recuperación de Mo presentó una pequeña variación desde 91.41 % a 91.90 %, respectivamente.

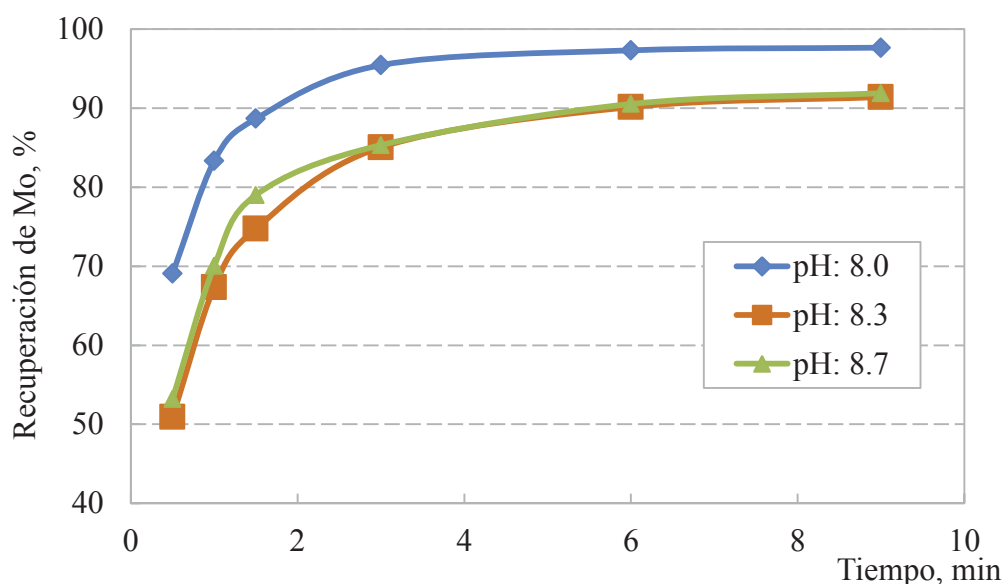


Figura 5.31: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

Al analizar las gráficas de la Fig. 5.32 y 5.33, se observa que las curvas correspondientes a un valor de pH igual a 8.0 son las que presentan la más altas recuperaciones de Cu y Fe en los distintos tiempos de flotación. En tiempo uno de flotación, esto es a los 30 seg de comenzar a flotar, se presentaron variadas recuperaciones de Cu y Fe, se obtuvieron las mayores recuperaciones de Cu (6.92 %) y Fe (6.09 %) a un pH de 8.0, mientras que al aumentar el pH desde 8.0 a 8.3 disminuyó la recuperación de Cu a 2.90 % y la recuperación de Fe a 2.27 %. Sin embargo, al seguir aumentando el valor de pH desde 8.3 a 8.7, la recuperación de Cu aumentó a 5.20 % y también aumentó la recuperación de Fe (4.18 %).

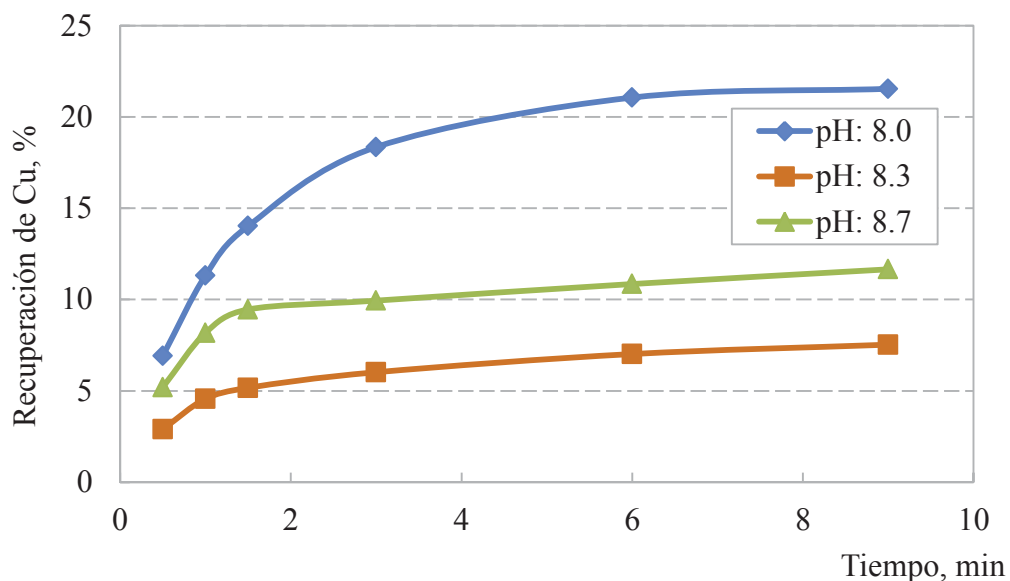


Figura 5.32: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

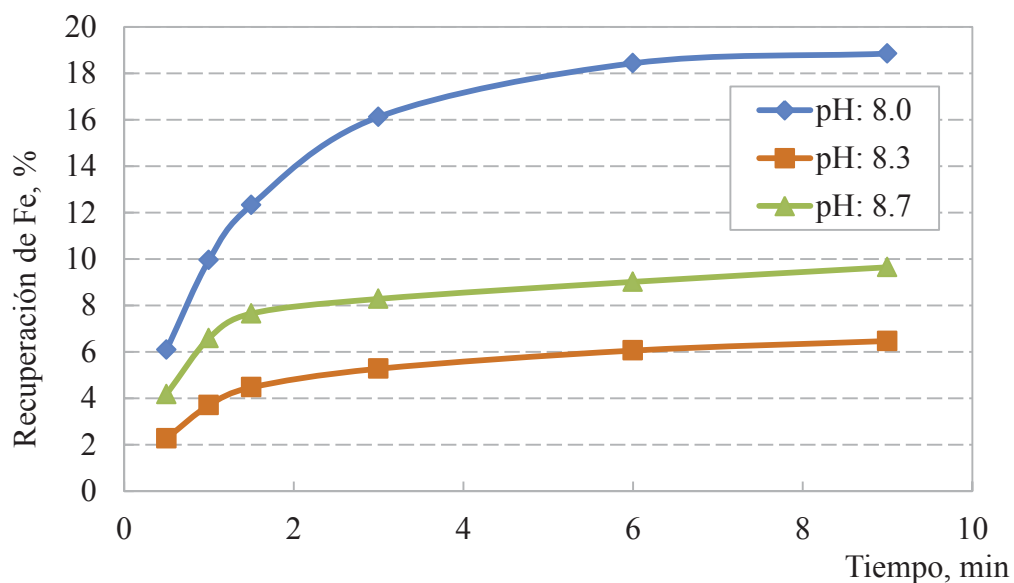


Figura 5.33: Efecto del pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

La gran diferencia en recuperaciones de Cu y Fe se presentó a partir de los 3 min de flotación, en este tiempo a un valor de pH igual a 8.0 se obtuvo una recuperación de Cu de 18.36 % y una recuperación de Fe de 16.13 %, luego cuando el pH se modifica a 8.3 se alcanzó tan sólo

una recuperación de Cu de 6.02 % y una recuperación de Fe de 5.27 % y cuando se aumentó este pH a 8.7, aumentó la recuperación de Cu y Fe a 9.94 % y 8.28 %, respectivamente. En el minuto 9 de flotación y a un valor de pH igual a 8.0 se alcanzó una elevada recuperación de Cu (21.55 %) y de Fe (18.86 %), después al aumentar este pH a 8.3 la recuperación de Cu y Fe presentó una gran disminución a valores de 7.53 % de recuperación de Cu y de 6.47 % de recuperación de Fe, al mismo tiempo desde un valor de pH de 8.3 hasta un valor de pH de 8.7 la recuperación de Cu y Fe aumentó en 4.13 y 3.18 puntos porcentuales, respectivamente.

Tal como es posible visualizar en la Fig. 5.31, 5.32 y 5.33, la cantidad de H₂SO₄ que se agrega a cada prueba de flotación para ajustar a distintos valores de pH influye considerablemente en las recuperaciones de Mo, Cu y Fe obtenidas en los distintos tiempos de flotación.

Los resultados de las pruebas de flotación de MoS₂ al adicionar 6.0 kg de NaHS por cada TMS de concentrado colectivo y al variar pH, mostraron que el mejor pH de flotación para este set de pruebas corresponde a un valor de 8.3. Si bien a este valor de pH no se obtuvo la mejor recuperación de Mo, se alcanzó una mejor depresión de Cu y Fe en los distintos tiempos de flotación. Se seleccionó la curva en la cual los resultados son proporcionales, esto porque las otras dos pruebas presentaron mejores recuperaciones de Mo pero con excesivas recuperaciones de Cu y Fe.

5.2.5.4 Efecto de pH y adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo

Las recuperaciones acumuladas de Mo, Cu y Fe de las pruebas de flotación de MoS₂ realizadas a distintos valores de pH, se muestran en las Fig. 5.34, 5.35 y 5.36, respectivamente. En estas pruebas se agregó 2.5 kg de Tiofos 80:20 por cada TMS de concentrado colectivo.

Las mejores recuperaciones de Mo se obtuvieron hasta los 90 seg de flotación a un valor de pH igual a 8.0, luego a partir de los 3 min las mejores recuperaciones de Mo corresponden a la curva obtenida para un pH igual a 8.3, mientras tanto la mayor depresión de Cu y Fe a los distintos tiempos de flotación se presentó a un valor de pH de 8.3.

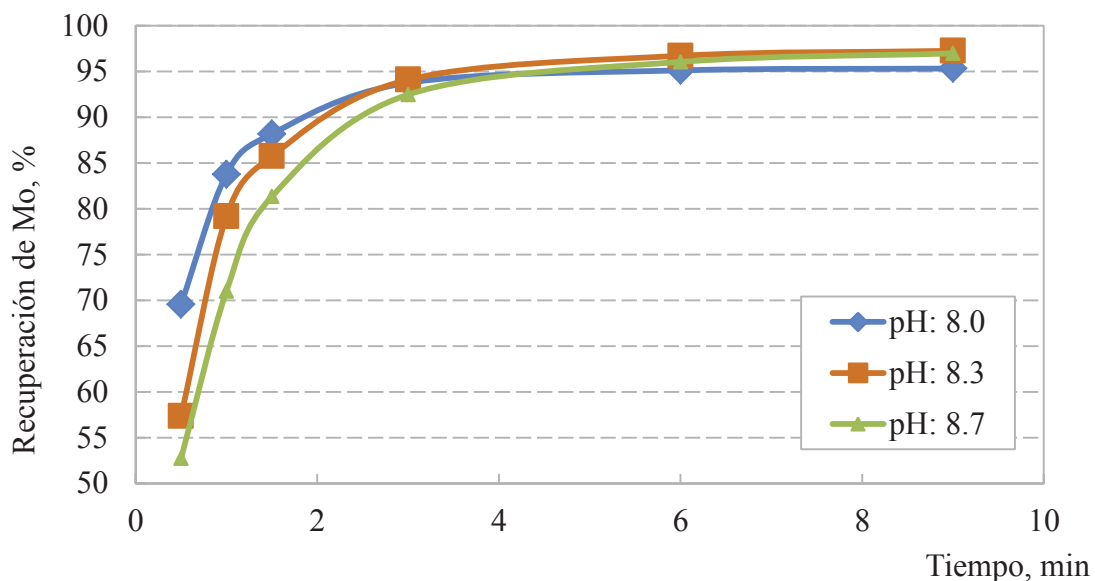


Figura 5.34: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

De la Fig. 5.34 se observa que las curvas de cinética para el Mo presentan el mismo comportamiento para los valores de pH de 8.3 y de 8.7, la recuperación de Mo se incrementa notablemente hasta los 3 min, llegando a valores sobre el 90 % de recuperación de Mo en este punto.

A los 30 seg de flotación, como es posible ver en la Fig. 5.34, se presentó una gran variación en la recuperación de Mo al modificar el pH desde un valor de 8.0 hasta un valor de 8.3, disminuyó la recuperación de Mo en 12.21 puntos porcentuales, de igual modo al variar el pH desde un valor de 8.0 a un valor de 8.7 se redujo la recuperación Mo, en este punto, en 16.85 puntos porcentuales.

A los 6 y a los 9 min de flotación las menores recuperaciones de Mo se obtuvieron cuando se trabajó a un pH de 8.0, éstas corresponden 95.13 % de recuperación de Mo a los 6 min y 95.33 % de recuperación de Mo a los 9 min. Por otro lado, al aumentar el pH a un valor de 8.3 la recuperación de Mo aumentó en 1.59 puntos porcentuales en el minuto 6 de flotación y en 1.94 puntos porcentuales en el minuto 9, y al modificar el pH desde un valor de 8.3 a un valor igual a 8.7 se obtuvo valores similares de recuperaciones de Mo de 96.06 % a los 6 min y de 96.99 % en el minuto 9 de flotación a pH igual a 8.7.

Con respecto al Cu y al Fe, como es posible apreciar en la Fig. 5.35 y 5.36, cuando se ajustó la pulpa de alimentación a un valor de pH de 8.0, pasados 30 seg de flotación se alcanzaron recuperaciones de Cu muy altas sobre 5 %, al mismo tiempo para un pH de 8.3 se obtuvo una recuperación de 3.56 % de Cu y una recuperación de 2.80 % de Fe, luego al modificar el pH a 8.7 se obtuvo recuperaciones de 4.25 % de Cu y 3.50 % de Fe.

A partir de los 3 min de flotación y a un valor de pH igual a 8.0 la recuperación de Cu ya alcanzaba valores por sobre 16% y superiores a 14 % de recuperación de Fe, mientras que a valores de pH de 8.3 y de 8.7 las recuperaciones de Cu disminuyeron a valores de 12 % aproximadamente, y las recuperaciones de Fe decrecen a valores de 9.63 % a un pH de 8.3 y 10.29 % a un pH de 8.7.

Cuando se trabajó con un valor de pH de 8.0 la recuperación de Cu y Fe presentó un rápido aumento a medida que transcurría el tiempo de flotación, superando el 18 % de recuperación de Cu y el 16 % de recuperación de Fe en el minuto 9 de flotación. En tanto las curvas de cinética correspondiente a los valores de pH de 8.3 y de 8.7 presentaron un aumento moderado de recuperación de Cu y Fe a medida que pasaba el tiempo, sin embargo también alcanzaron altas recuperaciones de Cu y Fe en el minuto 9 de flotación de hasta un 14 % de recuperación de Cu y sobre un 11 % de recuperación de Fe.

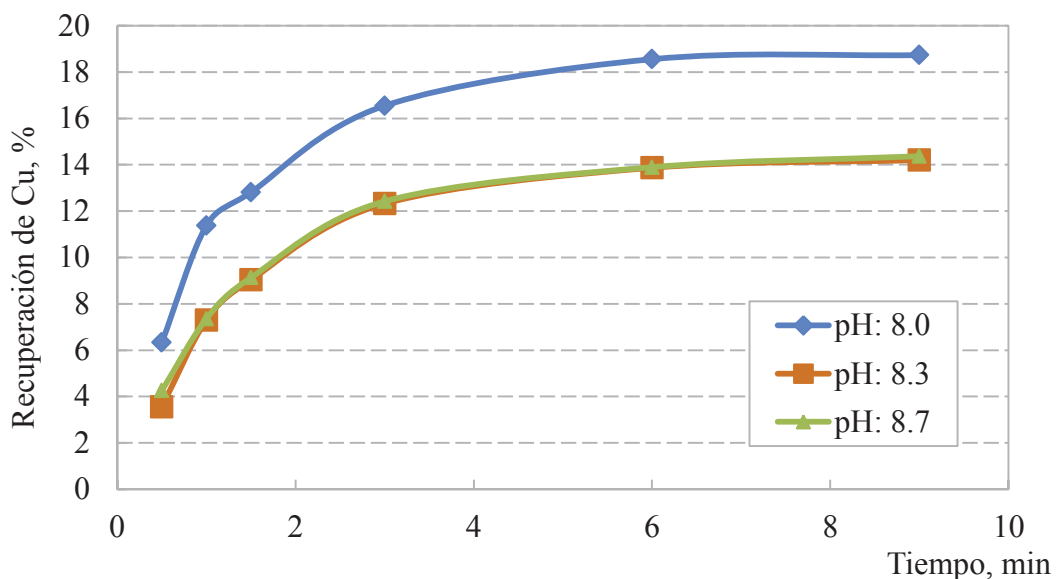


Figura 5.35: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

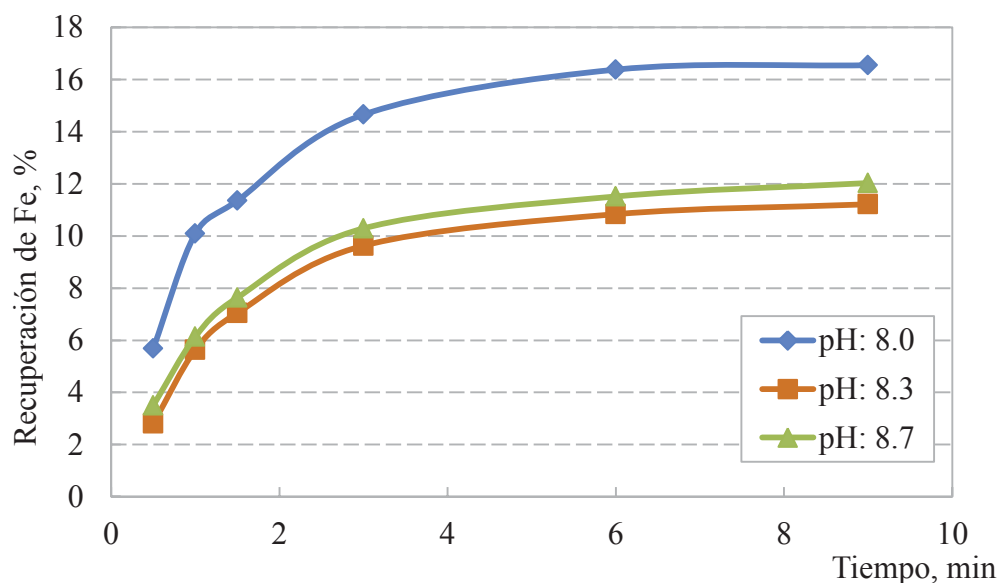


Figura 5.36: Efecto del pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

Los resultados obtenidos indicaron que el mejor valor de pH de trabajo cuando se adicionó 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo, es el pH igual a 8.3. Lo anterior se debe a que la curva de cinética presenta las mejores recuperaciones de Mo a partir de los 3

min de flotación, alcanzando en el min 6 una recuperación de Mo de 96.72 %. Además a este valor de pH, se obtuvo las menores recuperaciones de Cu y Fe a los distintos tiempos de flotación, es decir la mayor depresión de Cu y Fe.

5.2.5.5 Efecto de pH y adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo

La Fig. 5.37, 5.38 y 5.39 muestran los resultados metalúrgicos de Mo, Cu y Fe obtenidos en las pruebas de flotación de MoS₂, al adicionar 4.0 kg de Tiofos 80:20 por cada TMS de concentrado colectivo y al variar el pH a un valor de 8.0, de 8.3, y de 8.7 mediante la adición de H₂SO₄. En general la prueba de flotación realizada a un valor de pH igual a 8.0 presentó mayores recuperaciones de Mo que al trabajar con los otros dos valores de pH a los distintos tiempos de flotación, en tanto la menor depresión de Cu y Fe se produjo también cuando se ajustó el pH a un valor de 8.0.

En la Fig. 5.37 se observa que a distintos valores de pH la recuperación acumulada de Mo a medida que avanza el tiempo de flotación, aumenta significativamente hasta los 60 seg, luego aumenta con moderación hasta el minuto 6 y finalmente se estabiliza. También se observa que el primer concentrado recolectado presentó altas recuperaciones Mo para los tres valores de pH analizados, a un valor de pH igual a 8.0 se consiguió una recuperación de 65.98 % de Mo, luego a un pH de 8.3 la recuperación disminuyó a 54.57 % de Mo y al aumentar el pH a un valor de 8.7 la recuperación también disminuyó a 50.54 %. Posteriormente en el minuto 6 de flotación ya se alcanzaban recuperaciones de Mo por sobre un 87 %, a un valor de pH igual a 8.0 se obtuvo una recuperación de 96.40 % de Mo, en tanto al aumentar el pH a un valor de 8.3 la recuperación disminuyó a 88.04 % de Mo, y cuando se modificó el pH desde un valor de 8.3 a un valor de 8.7 la recuperación de Mo aumentó en 1.46 puntos porcentuales. Finalmente en el minuto 9 las recuperaciones de Mo sobrepasan el 90 %, a un pH de 8.0 se alcanzó la más alta recuperación de Mo (96.68 %), luego disminuyó en 5.09 puntos porcentuales cuando se aumentó el pH desde un valor de 8.0 a un valor de 8.3, y al modificar el pH desde 8.3 a 8.7 nuevamente disminuyó la recuperación de Mo.

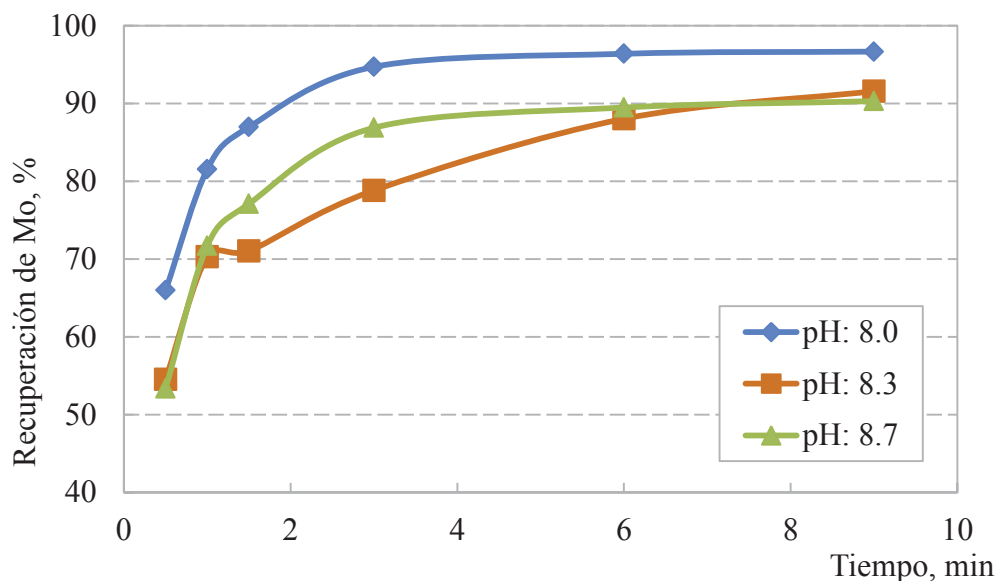


Figura 5.37: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

Los resultados correspondientes al Cu y al Fe mostraron, como se observa en la Fig. 5.38 y 5.39, que a los 30 seg de flotación las recuperaciones acumuladas alcanzaron altos valores cuando se ajustó el pH a un valor igual a 8.0, y cuando se ajustó el valor de pH a 8.3 la recuperación de Cu disminuyó a 4.54 % y la recuperación de Fe disminuyó a 3.54 %, mientras que cuando se acondicionó la pulpa a un pH igual a 8.7 la recuperación de Cu presentó una leve disminución y la recuperación de Fe se mantuvo constante.

A los 90 seg de flotación y con un valor de pH de 8.0 se presentaron valores de recuperación de Cu y Fe que superan el 10 %, estas recuperaciones siguieron aumentando hasta llegar en el minuto 9 a valores de 20.18 % de recuperación de Cu y de 17.28 % de recuperación Fe. Por otro parte, a un valor de pH de 8.3 y a los 90 seg de flotación se obtuvo una recuperación menor de Cu (9.10 %) y una menor recuperación de Fe (7.05 %), y luego al mismo tiempo de flotación y al modificar el valor de pH a 8.7 se presentó una recuperación de 8.65 % de Cu y una recuperación de 7.03 % de Fe.

Cuando se trabajó con un valor de pH de 8.0 se obtuvo una alta recuperación de Cu y Fe en el último concentrado recolectado, mientras que cuando el pH aumentó a un valor de 8.3 la recuperación de Cu disminuyó 3.78 puntos porcentuales y la recuperación de Fe disminuyó

4.58 puntos porcentuales, así mismo cuando el pH aumentó a un valor igual a 8.7 la recuperación de Cu disminuyó a 12.54 % y la recuperación Fe disminuyó a 10.18 %.

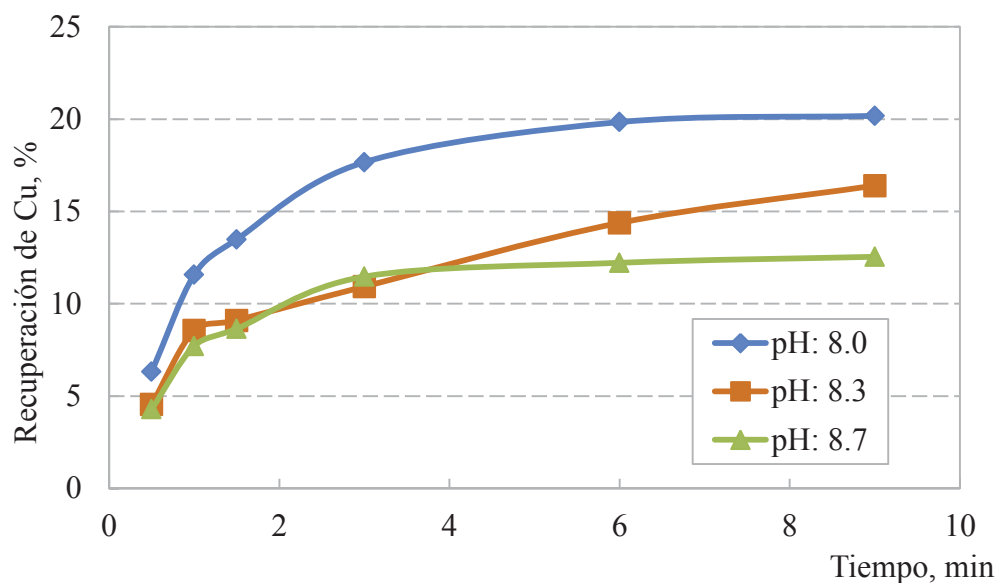


Figura 5.38: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

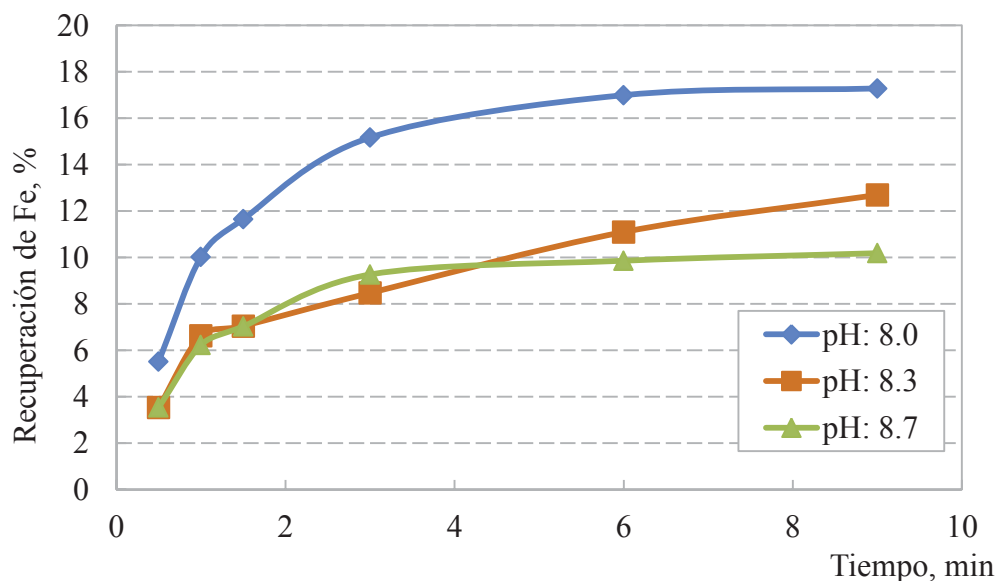


Figura 5.39: Efecto del pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

Por consiguiente, los resultados obtenidos demuestran que la mejor prueba de flotación realizada al agregar 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo corresponde a la prueba en la cual se ajustó el valor de pH a 8.7, ya que a partir de los 3 min las recuperación de Mo supera el 85 % llegando en el minuto 9 a 90.31 % de recuperación de Mo. En cuanto a la recuperación de Cu y Fe, éstas no son tan elevadas para un valor de pH de 8.7 comparada con la recuperación de Cu y Fe obtenida cuando se ajustó el valor de pH en 8.0, para el valor de pH igual a 8.7 se observó a los 3 min de flotación una recuperación de Cu de 11.47 % y una recuperación de Fe de 9.27 %, en tanto en el minuto 9 de flotación se presentó una recuperación de 12.54 % de Cu y una recuperación de 10.18 % de Fe. Si bien estos valores son altos pero son menores que los obtenidos al ajustar el valor de pH en 8.0.

5.2.5.6 Efecto de pH y adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo

El comportamiento de la recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe de las pruebas de flotación selectiva de MoS₂ efectuadas al variar el pH y al adicionar 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo, se muestran en la Fig. 5.40, 5.41 y 5.42, respectivamente. En estas gráficas se observa que las mayores recuperaciones de Mo a distintos tiempos de flotación, se obtuvieron para un valor de pH igual a 8.0, mientras que las mejores depresiones de Cu y Fe se presentaron para un pH de 8.3.

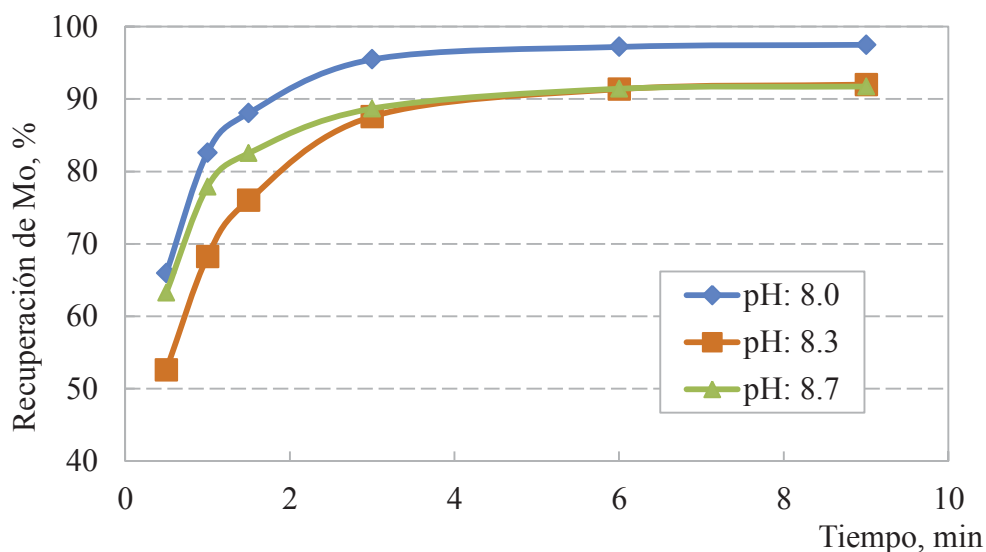


Figura 5.40: Efecto del pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Mo.

Tal como se observa en la Fig. 5.40 las curvas de recuperación acumulada de Mo correspondientes a un pH de 8.7 y de 8.3, presentaron un gran crecimiento hasta el minuto 3 y luego se estabilizaron, llegando desde el minuto 6 a valores muy similares de recuperación de Mo entre estos dos valores de pH.

Para todos los valores de pH analizados, se obtienen altas recuperaciones de Mo a los 30 seg de flotación, para un valor de pH igual a 8.0 se presentó una recuperación de Mo inicial de 65.94 %, al mismo tiempo para un valor de pH de 8.3 y 8.7 se obtuvo 52.57 % y 63.24 % de recuperación de Mo, respectivamente.

La mayor diferencia de recuperación de Mo entre los valores de pH probados se presentó a los 60 seg de flotación cuando se modificó el valor de pH desde 8.0 a 8.3, disminuyendo desde 82.59 % a un 68.22 % de recuperación de Mo. En tanto, al modificar el pH desde un valor de 8.3 a un valor de 8.7 la mayor diferencia se obtuvo a los 30 seg, aumentando la recuperación de Mo en 10.67 puntos porcentuales.

En el minuto 6 de flotación, la recuperación de Mo a un valor de pH igual a 8.0 alcanzó un 97.20 % y a los 9 min se presentó una recuperación de 97.49 % de Mo. Por otra parte, al cambiar el valor de pH desde 8.0 hasta un valor de 8.3 la recuperación de Mo disminuyó 5.84 puntos porcentuales a los 6 min de flotación, y 5.5 puntos porcentuales en el minuto 9, mientras que al aumentar el pH desde un valor de 8.3 a un valor de 8.7 la recuperación de Mo aumentó desde 91.36 % a un 91.42 % a los 6 min de flotación, y disminuyó desde 91.99 % a un 91.73 % de recuperación de Mo en el minuto 9 de flotación.

De las Fig. 5.41 y 5.42 se observa marcadamente que a los 30 seg de flotación y con un valor de pH de 8.0 ya se alcanzaban recuperaciones de Cu y Fe superiores a 6 %, al mismo tiempo y con un valor de pH igual a 8.3 se presentó una recuperación de Cu de 5.18 % y una recuperación de 4.02 % de Fe, mientras tanto, para un valor de pH de 8.7 se alcanzaban recuperaciones de 6.14 % de Cu y de 5.01 % de Fe, es decir, transcurridos 30 seg de flotación y al variar el valor de pH desde 8.0 hasta un valor de 8.3 la depresión de Cu y Fe aumenta y al cambiar el pH desde 8.3 hasta un valor igual a 8.7 la depresión de Cu y Fe disminuye

Se observa además, que al ajustar la pulpa de alimentación a las pruebas de flotación a un valor de pH 8.0 y transcurridos sólo 3 min de flotación se alcanzó una recuperación de Cu sobre un 20 % y una recuperación de Fe de alrededor de 18 %. Por otro lado, cuando se ajustó la pulpa a un valor de pH igual 8.3 o a un valor de 8.7, las recuperaciones de Cu y Fe disminuyen a valores que no superan el 18 % cuando se finalizó la flotación (9 min).

Tal como se aprecia en la Fig. 5.41 y 5.42 la mayor diferencia entre las curvas de recuperación acumulada se obtiene al aumentar el pH desde un valor de 8.0 a un valor de 8.3 en el minuto 9 de flotación, con esta variación de pH se presentó una disminución en la recuperación de Cu de 7.6 puntos porcentuales y una baja en la recuperación de Fe de 8.62 puntos porcentuales de Fe. En cuanto a la variación del valor de pH desde 8.3 a 8.7 la mayor diferencia entre las curvas de recuperación acumulada de Cu y Fe se presentó a los 90 seg de flotación, en este punto se observó un aumento de 1.89 puntos porcentuales en relación a la recuperación de Cu, y un aumento de 1.92 puntos porcentuales en la recuperación de Fe.

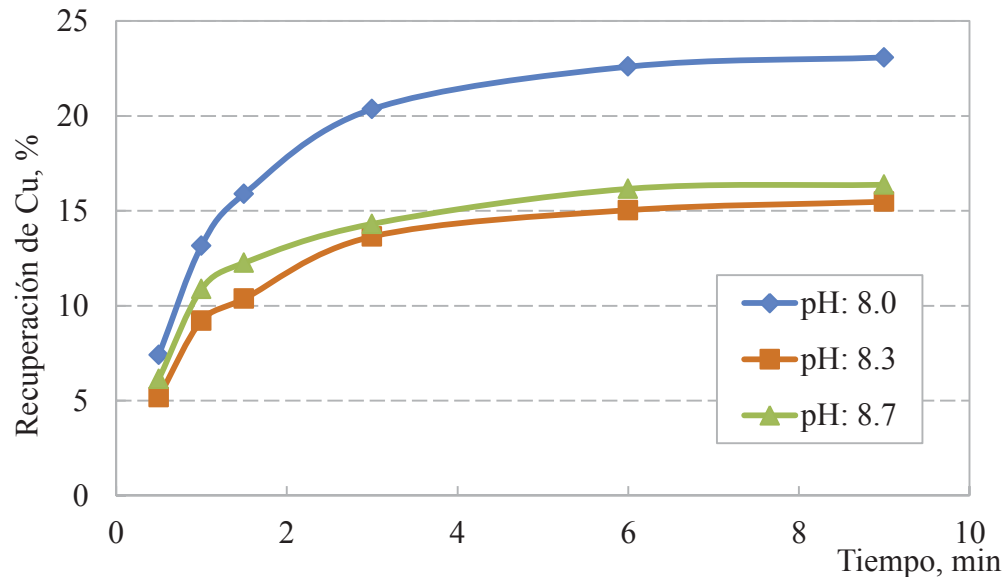


Figura 5.41: Efecto del pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Cu.

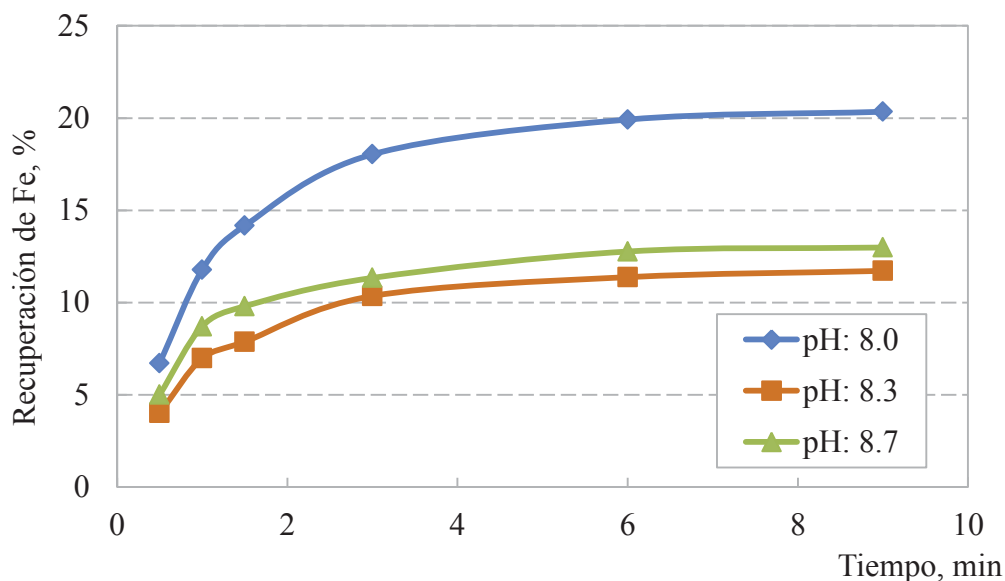


Figura 5.42: Efecto del pH y la dosificación de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado colectivo sobre la recuperación de Fe.

Finalmente al analizar las curvas de recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe de la Fig. 5.40, 5.41 y 5.42 se concluye que un valor de pH igual a 8.3 es el óptimo para realizar una flotación de MoS_2 agregando 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo. A pesar de obtener los mejores resultados de recuperación de Mo a los distintos tiempos de flotación trabajando con un valor de pH igual a 8.0, se seleccionó el valor de pH de 8.3 como el óptimo debido a que presentó menor recuperación de Cu y Fe que los demás valores de pH a los distintos tiempos de flotación. Además, las recuperaciones de Mo obtenidas para un pH de 8.3 son muy similares a las conseguidas para un pH de 8.7.

En el Anexo A.7 se puede apreciar el efecto de pH en R_∞ y en la constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zúñiga para Mo. También se puede apreciar la recuperación acumulada de Mo v/s la ley acumulada de Mo al finalizar cada prueba de flotación a distintos valores de pH y dosificación de reactivo depresante.

5.2.6 Efecto del potencial óxido-reducción en pruebas de flotación rougher de MoS₂

5.2.6.1 Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando NaHS

Los resultados obtenidos de las pruebas de flotación realizadas ajustando el potencial óxido-reducción mediante la dosificación de NaHS, se presentan en la Fig. 5.43, 5.44 y 5.45. En estas gráficas es posible apreciar el efecto en la recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe del potencial óxido-reducción al adicionar NaHS y al ajustar la pulpa de alimentación a un valor de pH igual a 8.0. Como se describió en el punto 4.2.9, se adicionó NaHS hasta alcanzar el potencial óxido-reducción requerido y de esta manera se analizó la variación de la cantidad de depresante adicionado en comparación con las pruebas realizadas anteriormente.

Los resultados de la Fig. 5.43 mostraron que la mejor recuperación de Mo se obtuvo cuando se ajustó el Eh en -400.0 mV, pero esta tendencia se mostró a partir del minuto 1 de flotación, mientras tanto la recuperación más baja de Mo a distintos tiempos de flotación se alcanzó cuando se ajustó el Eh a -439.2 mV. Respecto de la recuperación de Cu y Fe se alcanzó los mayores valores al ajustar el Eh en -478.1 mV a medida que pasaba el tiempo de flotación, en tanto que la máxima depresión de Cu y Fe se obtuvo para un Eh de -439.2 mV desde el minuto 1 de flotación, esto se observa en la Fig. 5.44 y 5.45.

De la Fig. 5.43 se visualiza que transcurridos 30 seg de flotación ya se alcanzaban recuperaciones de Mo superiores a 58 %, excepto cuando se ajustó el Eh en -439.2 mV con el cual se obtuvo una recuperación de Mo de 48.11 % en el primer concentrado de MoS₂ recolectado.

Se observó que para todas las curvas de cinética presentadas en la Fig. 5.43, el mayor cambio en la recuperación de Mo se mostró hasta el segundo tiempo de flotación, en este intervalo de tiempo la recuperación de Mo tuvo un incremento considerable. El aumento más significativo se presentó para un Eh de -400 mV, pasando desde una recuperación de Mo de 61.69 % a los 30 seg hasta un 83.81 % de recuperación de Mo a los 60 seg de flotación. En tanto, la menor variación de la recuperación de Mo de las curvas de cinética se presentó entre los 6 y 9 min de flotación, ésta se incrementa en no más de 1.11 puntos porcentuales.

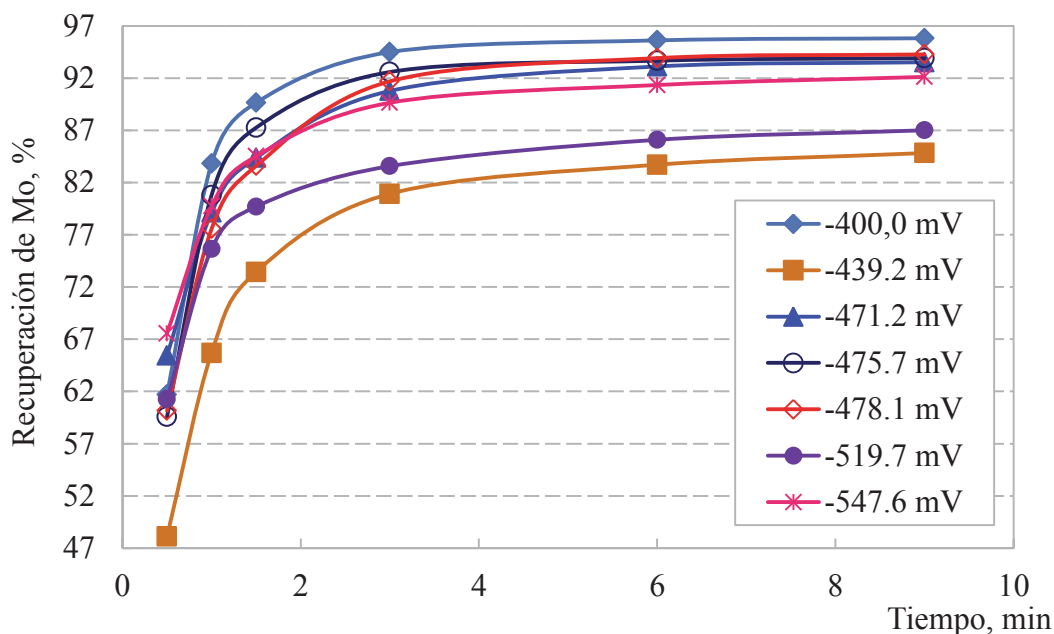


Figura 5.43: Efecto del Eh en la recuperación de Mo al agregar NaHS.

En la Fig. 5.43 se observa además que al disminuir el Eh desde -400.0 mV hasta los -471.2 mV se presentó una pequeña disminución en la recuperación de Mo a los diferentes tiempos de flotación. A los 90 seg de flotación se obtuvo la mayor diferencia al variar el Eh entre estos valores, donde disminuye la recuperación de Mo desde los 89.64 % hasta 84.36 %. Lo mismo ocurre a los 6 minutos de flotación, se alcanzó una recuperación de Mo 95.61 % a un Eh de -400.0 mV disminuyendo a 93.11 % cuando se modifica el Eh a -471.2 mV, mientras tanto en el minuto 9 de flotación la recuperación disminuyó en 2.29 puntos porcentuales al disminuir el Eh. En relación al consumo del reactivo depresante, a -400.0 mV se dosificó una cantidad de 0.2 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo, mientras que al disminuir este Eh a los -471.2 mV la cantidad de reactivo depresante que se agregó a las pruebas de flotación de MoS_2 aumentó a 0.5 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo.

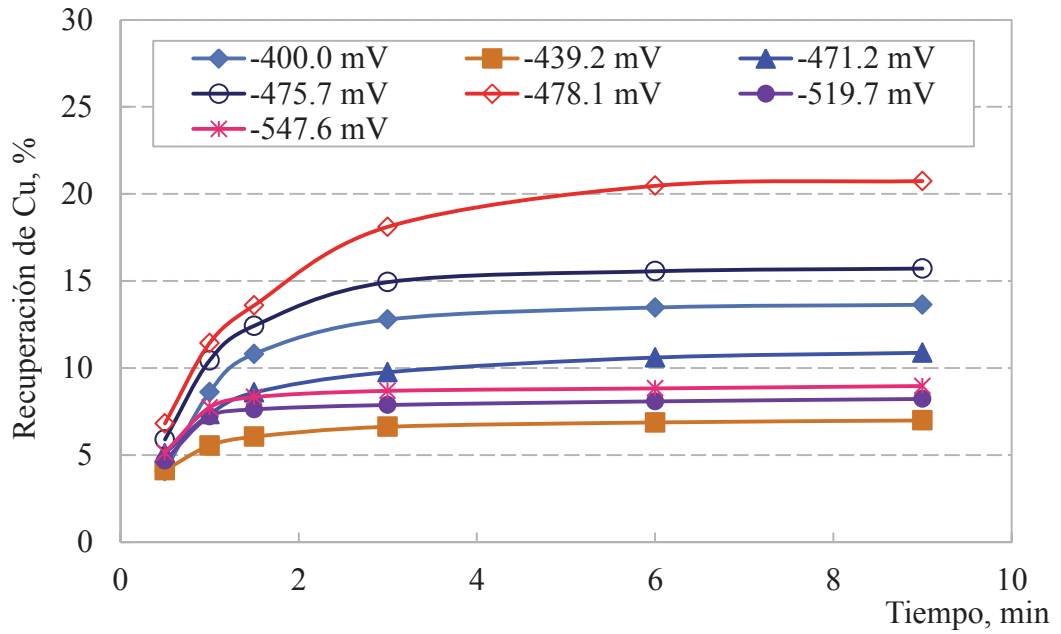


Figura 5.44: Efecto del Eh en la recuperación de Cu al adicionar NaHS.

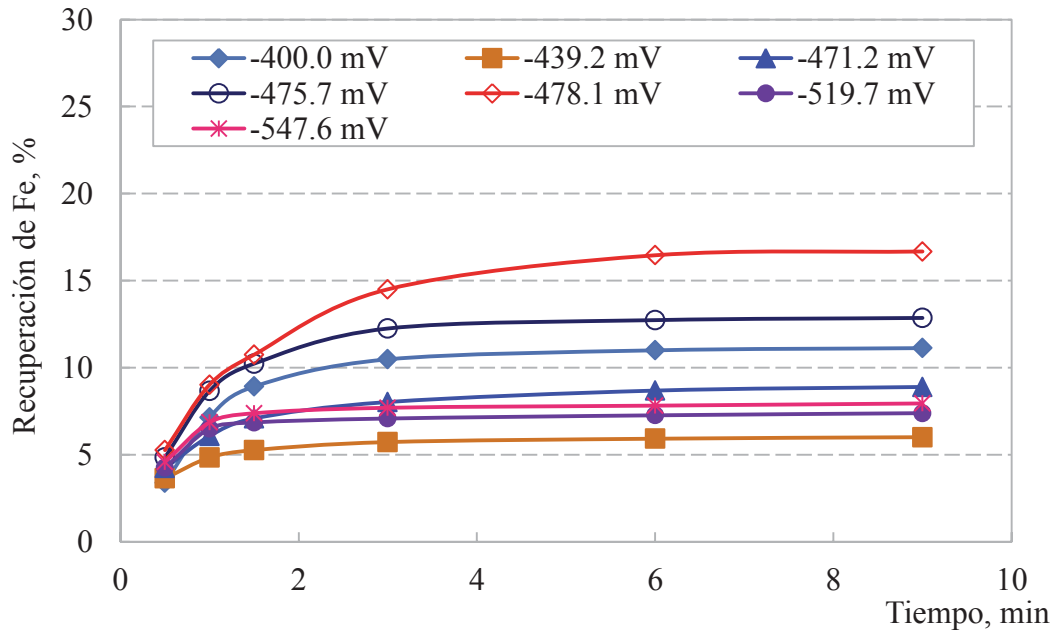


Figura 5.45: Efecto del Eh en la recuperación de Fe al adicionar NaHS.

De los resultados obtenidos para las curvas cinéticas de recuperación acumulada de Cu y Fe, tal como se muestra en la Fig. 5.44 y 5.45, se aprecia que para un Eh de -478.1 mV y transcurridos 30 seg de flotación se alcanzaron recuperaciones de Cu y Fe por sobre 5 %,

luego en el minuto 3 las recuperaciones sobrepasaron el 18 % de Cu y el 14 % de Fe, y por último en el minuto 9 trabajando a este valor de Eh, se obtuvo una recuperación de Cu de 20.74 % y una recuperación de Fe de 16.68 %.

Tal como se muestra en la Fig. 5.44 y 5.45, al variar el Eh óxido-reducción desde -400.0 mV a un valor de -471.2 mV se observa un aumento en la recuperación de Cu y Fe en los primeros 30 seg de flotación, luego a los otros tiempos de flotación la recuperación de Cu y Fe disminuyó. En cuanto a la mayor disminución en la recuperación de Cu al disminuir el Eh, se obtuvo a los 3 min de flotación variando desde 12.79 % con un Eh de -400.0 mV hasta una recuperación de Cu de 9.76 % a un valor de Eh de -471.2 mV, y respecto a la recuperación de Fe la mayor disminución se obtuvo a los 6 min de flotación variando desde un 11 % a un 8.69 % de recuperación de Fe.

Por otro lado, al disminuir el Eh desde -471.2 mV hasta un valor de -519.7 mV la recuperación de Cu disminuyó en todos los tiempos de flotación, y la recuperación de Fe disminuyó a partir de los 90 seg de flotación. Por consiguiente, cuando se modificó el Eh desde un valor de -519.7 mV hasta los -547.6 mV, se presentó un aumento en la recuperación de Cu y Fe a los distintos tiempos de flotación.

En relación al consumo de reactivo este aumentó desde 0.5 a 0.9 kg de NaHS/TMS de concentrado colectivo cuando se modificó el Eh desde -471.2 mV a un valor de -519.7 mV y a 1.6 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo cuando ajustó el Eh a -547.6 mV, estas dosificaciones junto con las dosificaciones agregadas a cada prueba de flotación de MoS₂ realizada a distintos potenciales óxido-reducción se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Dosificaciones de NaHS requeridas para ajustar el Eh en cada prueba de flotación de MoS₂ realizada.

Test	Eh óxido-reducción (mV)	Dosificación de reactivo depresante (kg /TMS de concentrado Cu-Mo)
1	-400.0	0.2
2	-439.2	0.3
3	-471.2	0.5
4	-475.7	0.2
5	-478.1	0.4
6	-519.7	0.9
7	-547.6	1.6

Tal como se muestra en la tabla 5.5, la variación de la dosificación necesaria para ajustar el Eh no presentó una tendencia, puesto que esta cantidad depende del valor del potencial que tenga la pulpa de alimentación al inicio de la flotación.

De las pruebas realizadas ajustando Eh a través de la adición de NaHS se concluye que la prueba que obtuvo mejores resultados corresponde a un Eh de -471.2 mV, a este Eh se presentó una alta recuperación de Mo a partir de los 3 min de flotación superior al 90 %, llegando en el minuto 9 a los 93.52 % de recuperación de Mo. Aunque esta prueba no presentó las mejores recuperaciones de Mo en los distintos tiempos de flotación, en el minuto 6 y 9 se obtuvo valores cercanos a las pruebas que obtuvieron las mayores recuperaciones de Mo. Además a este valor de Eh se obtuvo recuperaciones de Cu y Fe aceptables y menores que las pruebas que presentaron mejores recuperaciones de Mo.

Las pruebas anteriores corroboran que al controlar el potencial óxido-reducción mediante la adición de reactivo depresante en la flotación de MoS₂, se reduce el consumo de reactivo y se obtienen recuperaciones de Mo, Cu y Fe muy similares a cuando se agrega una dosificación establecida. Estas pruebas realizadas mostraron que el consumo de reactivo depresante (NaHS) se puede reducir en aproximadamente un 83 % que al agregar una dosificación estándar de NaHS.

5.2.6.2 Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando Tiofos 80:20

La Fig. 5.46, 5.47 y 5.48 corresponden a las recuperaciones acumuladas de Mo, Cu y Fe conseguidas al realizar las pruebas de laboratorio acondicionando con H₂SO₄ hasta alcanzar un valor de pH igual a 8.0 y ajustando el potencial óxido-reducción a distintos valores a través de la adición de Tiofos 80:20.

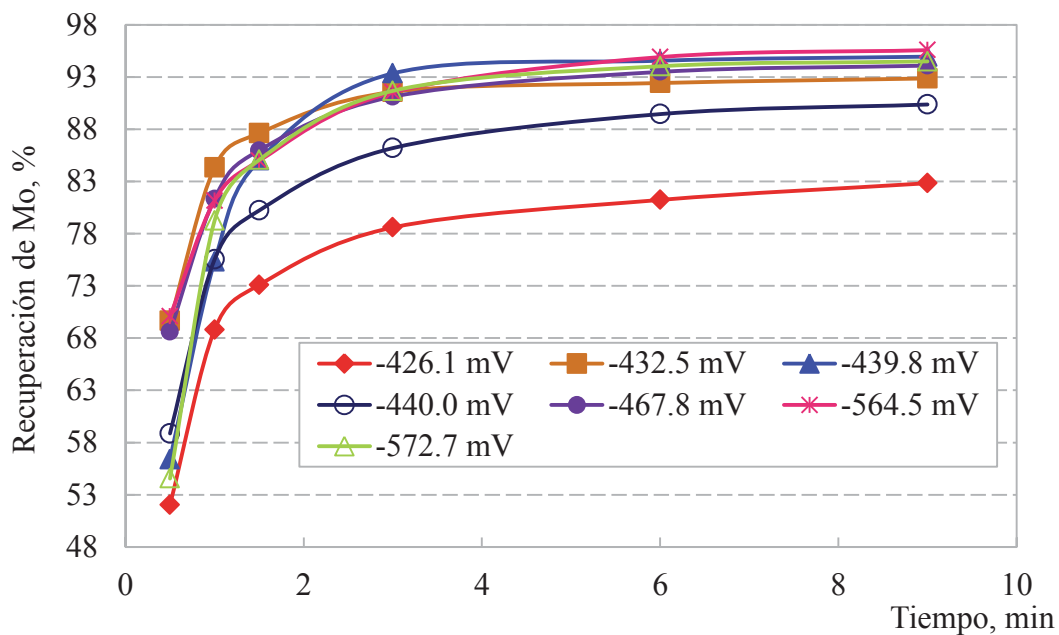


Figura 5.46: Efecto del Eh en la recuperación de Mo al agregar Tiofos 80:20.

Como se puede observar en la Fig. 5.46, la mayor recuperación de Mo se obtuvo para un Eh de -564.5 mV a los 30 seg de flotación, luego desde los 60 seg hasta los 90 seg de flotación la mejor recuperación de Mo se alcanzó para un valor de Eh de -432.5 mV, por otra parte a los 3 min de flotación se alcanzó para un Eh de -439.8 mV y desde los 6 min hasta finalizar la flotación, se obtuvo la mayor recuperación de Mo a un Eh de -564.5 mV. Con respecto a la menor recuperación acumulada de Mo, esta se obtuvo en los distintos tiempos de flotación para un valor de Eh de -426.1 mV.

A los 30 seg de flotación la mayor recuperación de Mo que se obtuvo fue de 70.07 % para un valor de Eh de -564.5 mV, luego a los 6 min de flotación esta recuperación alcanzó un 94.90 % de Mo y a continuación en el minuto 9 se consiguió una recuperación de 95.57 % de Mo.

Cuando el Eh se modificó desde un valor de -432.5 mV a -440.0 mV, la recuperación de Mo disminuyó en todos los tiempos de flotación. A los 30 seg de flotación la recuperación de Mo se redujo desde 69.66 % a 58.87 %, después en el minuto 6 de flotación disminuyó desde 92.42 % a un 89.44 % y a los 9 min de flotación la recuperación de Mo decrece desde 92.86 % a 90.36 %.

Por otro lado, cuando el Eh disminuyó desde -440.0 mV a -467.8 mV la recuperación de Mo aumentó. Transcurridos 30 seg de flotación la recuperación de Mo se incrementó 9.73 puntos porcentuales, a continuación a los 6 min de flotación la recuperación de Mo aumentó desde 89.44 % hasta 93.49 %, y en el minuto 9 de flotación la recuperación de Mo creció desde 90.36 % hasta los 94.09 %.

Al analizar los gráficos de la Fig. 5.47 y 5.48 se puede apreciar que a partir del minuto 1 de flotación la mayor recuperación de Cu y Fe, es decir la menor depresión se produjo cuando se ajustó el Eh a -439.8 mV y la menor recuperación de Cu y Fe se alcanzó ajustando el Eh a -426.1 mV hasta el minuto 6 de flotación mientras que, en el minuto 9 la menor recuperación se obtuvo para un Eh de -440.0 mV.

La recuperación de Cu y Fe disminuyó al disminuir el Eh desde un valor de -432.5 mV hasta los -440.0 mV. A los 30 seg de flotación la recuperación Cu varió desde 4.06 % a 3.07 % para el Cu y la recuperación de Fe decreció desde 3.39 % a 2.62 %, a los 6 min de flotación la recuperación de Cu disminuyó desde 6.27 % a 5.17 % y la recuperación de Fe cambió desde 5.09 % a 4.28 % y por último en el min 9 de flotación se obtuvo una recuperación de Cu de 6.47 % y una recuperación de Fe de 5.25 % para un Eh de -432.5 mV y cuando se modificó a -400.0 mV, se alcanzó una recuperación 5.43 % de Cu y una recuperación de 4.51 % de Fe.

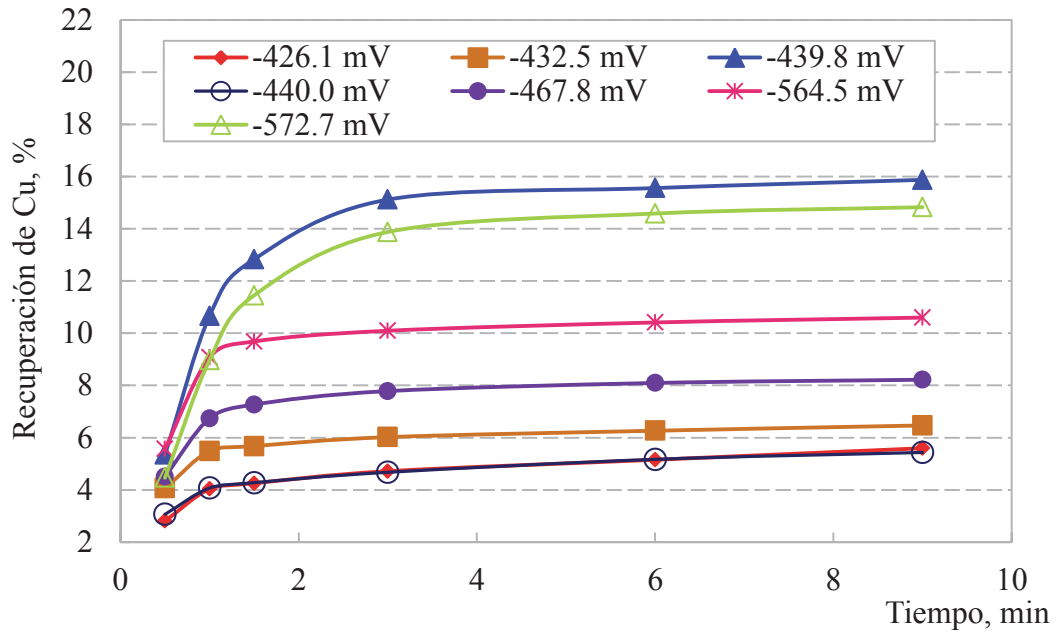


Figura 5.47: Efecto del Eh en la recuperación de Cu al añadir Tiofos 80:20.

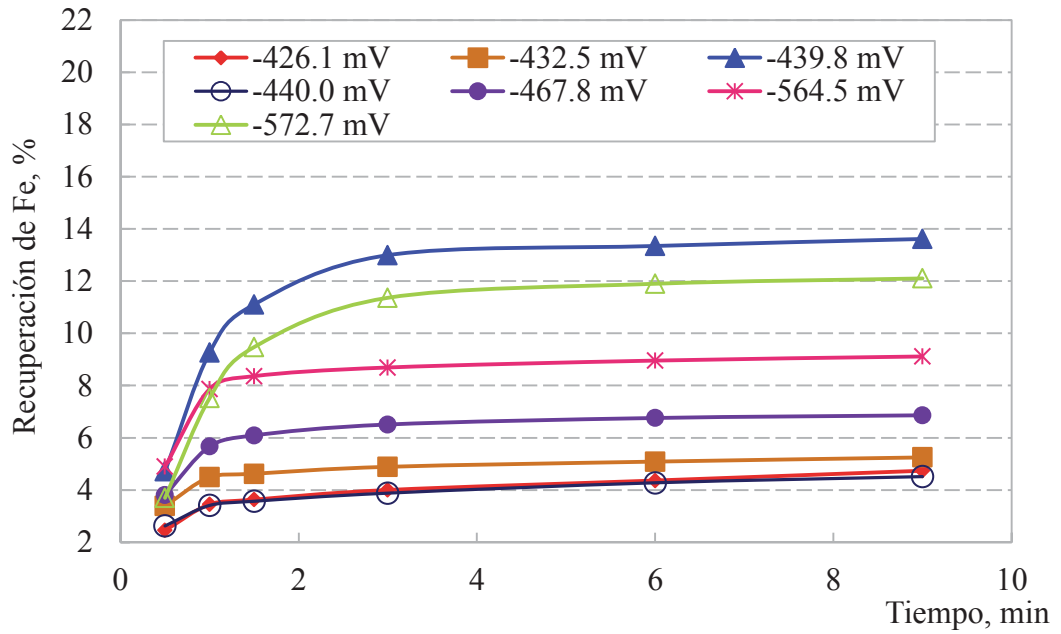


Figura 5.48: Efecto del Eh en la recuperación de Fe al adicionar Tiofos 80:20.

En el caso en que el Eh se modificó desde -440.0 mV hasta un valor de -467.8 mV, la recuperación de Cu y Fe aumentó en los distintos tiempos de flotación. A los 30 seg de flotación la recuperación de Cu se incrementó hasta 4.51 % y la recuperación de Fe aumentó a

3.80 %, pasados 6 min de flotación la recuperación de Cu creció 2.92 puntos porcentuales y la recuperación de Fe aumentó 2.48 puntos porcentuales y al finalizar la flotación la recuperación de Cu ascendió a 8.22 % y la recuperación de Fe aumentó hasta un 6.86 %.

Al evaluar el consumo de reactivo este disminuyó desde 0.9 a 0.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo cuando se modificó el Eh desde -432.5 mV hasta un valor de -440.0 mV, por el contrario el consumo de Tiofos 80:20 aumentó cuando se modificó el Eh desde un valor de -440.0 mV hasta un valor de -467.8 mV. Las cantidades de Tiofos 80:20 necesarias para ajustar el potencial óxido-reducción de cada prueba de flotación de MoS₂ realizada, se muestran en la tabla 5.6.

Tabla 5.6: Dosificaciones de Tiofos 80:20 requeridas para ajustar el Eh en cada prueba de flotación de MoS₂.

Test	Eh óxido-reducción (mV)	Dosificación de reactivo depresante (kg /TMS de concentrado Cu-Mo)
1	-426.1	0.4
2	-432.5	0.9
3	-439.8	0.2
4	-440.0	0.5
5	-467.8	0.8
6	-564.5	2.2
7	-572.7	0.7

Como se observa en la tabla 5.6 las dosificaciones agregadas de reactivo depresante y Eh óxido-reducción no presentan una correlación, ya que la cantidad de reactivo depresante agregado a cada prueba varía según el valor del potencial que tenga el concentrado Cu-Mo al comenzar la flotación.

Según las pruebas realizadas ajustando el Eh mediante la adición de Tiofos 80:20, los mejores resultados corresponden a un valor de Eh de -467.8 mV. Se seleccionó este valor de Eh debido a que se obtuvo una elevada recuperación de Mo y una aceptable depresión de Cu y Fe, con una recuperación de Mo de 94.09 %, Cu de 8.22 % y Fe de 6.86 % al finalizar la flotación. A pesar de que el valor de Eh correspondiente a -564.5 mV arrojó una mayor

recuperación de Mo, este valor de Eh no fue escogido debido a que presentó una mayor recuperación de Cu y Fe.

Al igual que las pruebas de ajuste de Eh mediante la adición de NaHS, se corroboró que al controlar el potencial óxido-reducción por medio del reactivo depresante Tiofos 80:20 en la flotación de MoS_2 , disminuyó el consumo de este reactivo obteniendo recuperaciones de Mo, Cu y Fe muy similares a las obtenidas cuando se realizó pruebas de flotación agregando una dosificación fija. Estas pruebas mostraron que el consumo de Tiofos 80:20 se redujo en aproximadamente un 68 % cuando se ajustó el Eh.

En el Anexo A.8 es posible visualizar el efecto de Eh en R_∞ y en la constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zúñiga para Mo. También se puede apreciar la recuperación acumulada de Mo v/s la ley acumulada de Mo al finalizar cada prueba de flotación a distintos valores de Eh.

5.2.6.3 Ajuste de potencial óxido-reducción adicionando una mezcla de NaHS y Tiofos 80:20

Los resultados de Mo, Cu y Fe obtenidos al realizar la prueba de flotación de MoS_2 con un valor de pH igual a 8.0 y adicionando una mezcla de NaHS y Tiofos 80:20 se presentan en la Fig. 5.49. Esta prueba consistió en ajustar el potencial óxido-reducción en un rango de -450 a -550 mV al agregar una mezcla de reactivos.

El Eh en esta prueba se ajustó a un valor de -517.6 mV mediante la adición de 1.3 kg de una mezcla de reactivo depresante por cada TMS de concentrado Cu-Mo.

Los resultados obtenidos muestran una elevada recuperación de Mo inicial de 67.49 %. Además se puede observar en la Fig. 5.49, un gran incremento de la recuperación de Mo hasta los 60 seg de flotación, llegando a un 80.33 %, luego presentó un leve aumento alcanzando en el minuto 6 de flotación un 92.15 % de recuperación de Mo, y por último a los 9 min de flotación se consiguió una recuperación de Mo de 93.25 %.

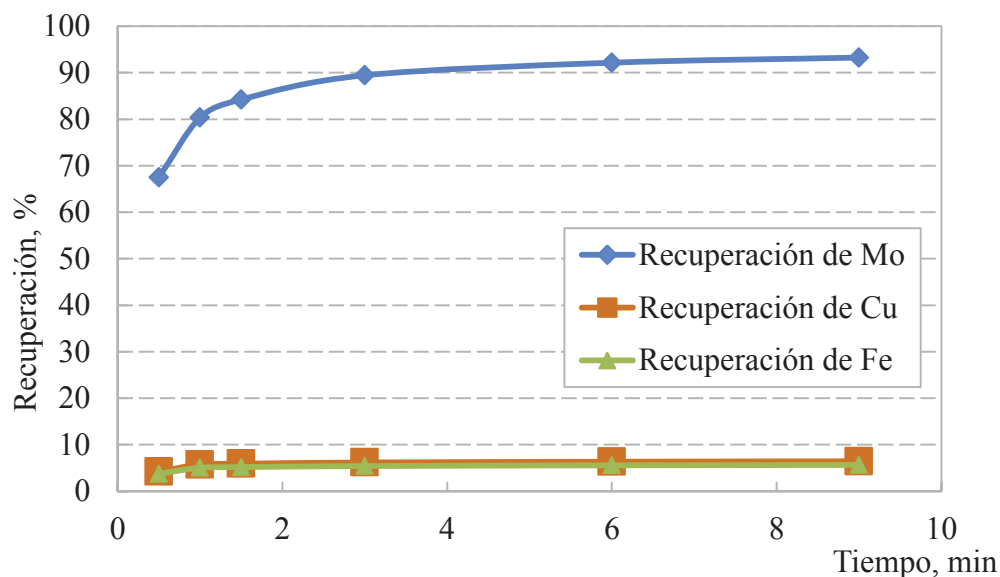


Figura 5.49: Efecto del Eh en la recuperación de Mo, Cu y Fe al adicionar una mezcla de reactivos.

Como se puede visualizar en la gráfica de la Fig. 5.49, la recuperación de Cu a los 30 seg de flotación fue de 4.20 %, después aumenta moderadamente llegando en el minuto 6 a un 6.35 % y finalmente en el minuto 9 de flotación a un 6.43%. Por otro lado, la recuperación de Fe al comienzo fue de 3.74 %, luego la curva de cinética creció hasta llegar en el minuto 6 de flotación a una recuperación de 5.56 % de Fe y al finalizar la flotación alcanzó un 5.64 %.

5.2.7 Modelos de cinética de flotación

Al finalizar el estudio de los diferentes reactivos se calcularon los tiempos de flotación aptos para flotación selectiva de MoS_2 en División Salvador. La estimación de estos tiempos se realizó a través del modelo de García y Zuñiga y el modelo Klimpel, ambos métodos de cálculo basados en los parámetros cinéticos k y R_∞ de cada elemento de interés contenido en el concentrado. Las ecuaciones de estos modelos se describieron en el punto 3.2.3 del capítulo III.

Para realizar estas pruebas cinéticas se colectaron concentrados parciales a los 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 6.0 y 9.0 min de flotación, los cuales fueron pesados y caracterizados. Con los resultados obtenidos se calculó la recuperación parcial y la recuperación acumulada del Mo, Cu y Fe

obtenido en cada prueba de flotación de MoS_2 , y con ello se ajustó los parámetros k y R_∞ de cada elemento para finalmente, determinar los tiempos de flotación.

En la Fig. 5.50, 5.51 y 5.52 se presentan las curvas de recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe respectivamente, de la prueba realizada en la cual se adicionó 16 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado Cu-Mo a modo de ejemplo. Además, en estas gráficas es posible visualizar las curvas de recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe correspondientes al ajuste de datos de cada modelo. Un ejemplo del cálculo correspondiente al ajuste de datos de cada modelo cinético se adjunta en el Anexo A.2.

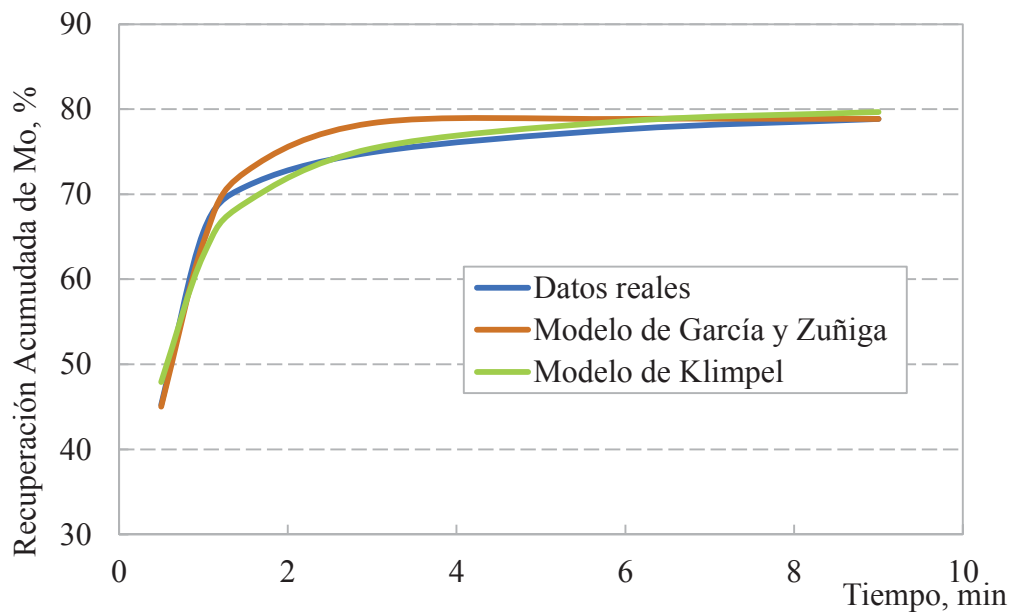


Figura 5.50: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Mo para prueba de flotación realizada al adicionar 16 kg/TMS de concentrado colectivo.

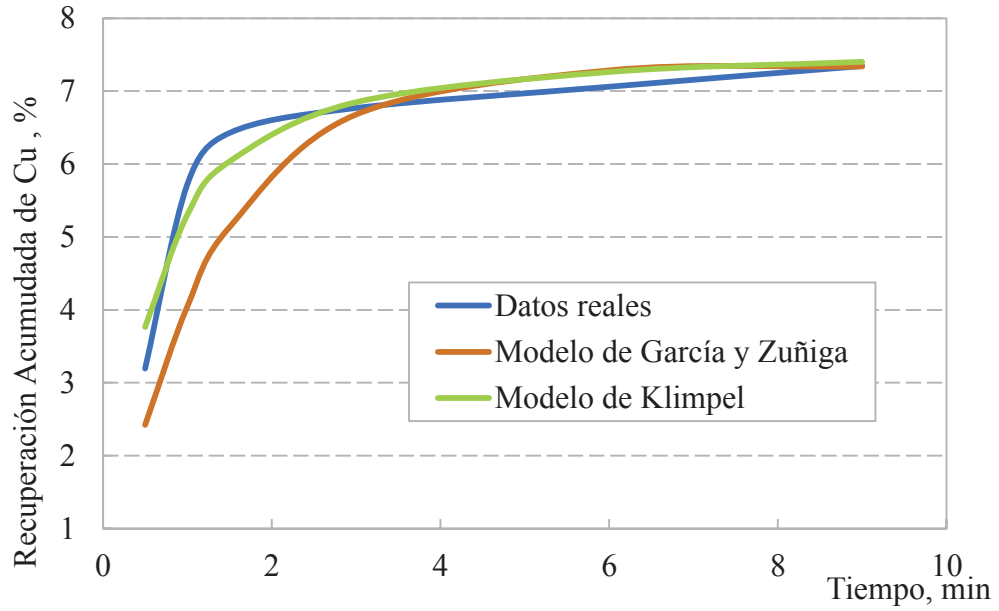


Figura 5.51: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Cu para prueba de flotación realizada al adicionar 16 kg/TMS de concentrado colectivo.

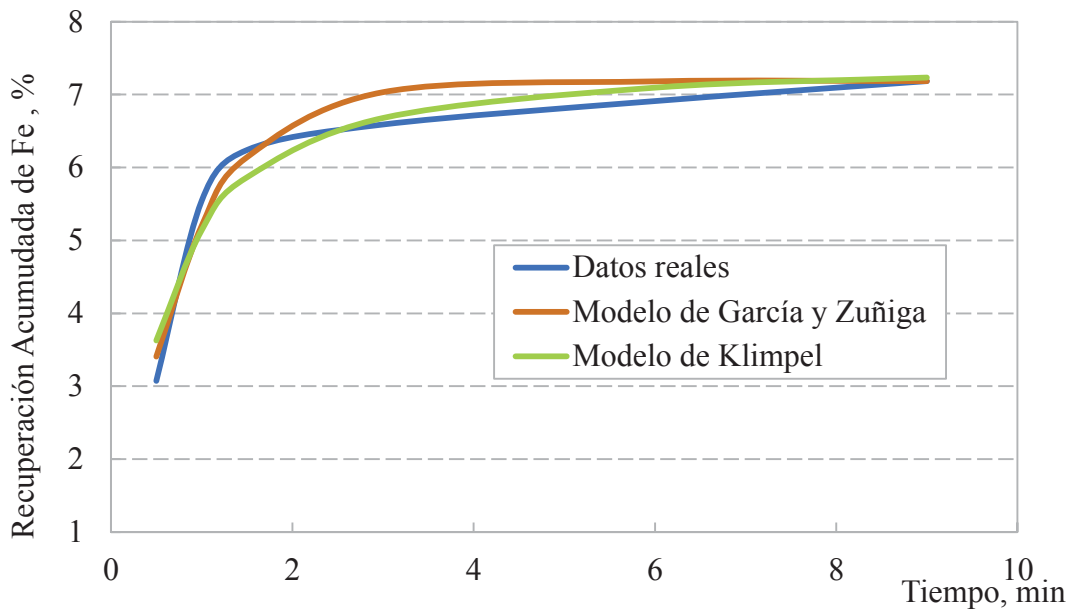


Figura 5.52: Ajuste de datos de recuperación acumulada de Fe para prueba de flotación realizada al adicionar 16 kg/TMS de concentrado colectivo.

A continuación en la tabla 5.7 se presentan los resultados obtenidos para García y Zuñiga y para Klimpel de la estimación de parámetros R_{∞} y k junto con el error y el R^2 para cada modelo. Estos parámetros fueron estimados por medio de minimización de errores cuadráticos.

Tabla 5.7: Resultados de la estimación de parámetros de modelos García y Zuñiga y Klimpel.

Parámetros	Modelos					
	García y Zuñiga			Klimpel		
	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe
Error	17.807	5.135	0.508	20.135	0.703	0.654
k (1/min)	1.692	0.800	1.286	4.251	3.085	3.009
R_{∞}	78.855	7.345	7.185	81.801	7.678	7.511
R2	0.987	0.878	0.961	0.975	0.943	0.946

En cuanto a los resultados obtenidos de la prueba de flotación de MoS_2 realizada al adicionar 16 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo, el modelo de García y Zuñiga es el que mejor se ajusta a los datos de recuperación de Mo y Fe obtenidos en el laboratorio, mientras que el modelo que mejor se ajusta a la recuperación de Cu es el de Klimpel. El modelo de García y Zuñiga arrojó un R^2 de 0.987 para la recuperación acumulada de Mo y 0.961 para la recuperación acumulada de Fe, valores superiores a los R^2 obtenidos por Klimpel de 0.975 para la recuperación acumulada de Mo y 0.946 para la recuperación acumulada de Fe, en tanto para la recuperación acumulada de Cu el modelo de García y Zuñiga obtuvo un R^2 de 0.878 menor que el valor obtenido por Klimpel de 0.943.

De acuerdo a los resultados obtenidos al ajustar los datos de recuperación acumulada de Mo, Cu y Fe de cada una de las pruebas cinéticas realizadas en el laboratorio a los modelos de García y Zuñiga y Klimpel, se determinó un tiempo de flotación de 6.0 min.

5.2.8 Pruebas anexas

5.2.8.1 Ajuste del potencial óxido-reducción adicionando Anamol-D

Se realizaron 7 pruebas de flotación en laboratorio, donde cada test de flotación se realizó durante 6 minutos. Estas pruebas tienen la finalidad de determinar el efecto del potencial óxido-reducción en la flotación de MoS_2 utilizando el reactivo de planta, y comparar los consumos al agregar una cantidad específica y al ajustar el Eh. Las pruebas 1, 2, 4, 5 y 7

corresponden al ajuste de potencial por medio de la adición de Anamol-D y las pruebas 3 y 6 se agregó 11 y 13 kg de Anamol-D por cada TMS de concentrado colectivo.

Estas pruebas fueron realizadas con una pulpa de alimentación correspondiente a una muestra recolectada de concentrado Cu-Mo que descarga el espesador a la planta de molibdeno. En la tabla 5.8 se presenta el análisis químico de esta muestra.

Tabla 5.8: Análisis químico de Mo, Cu, Fe e insolubles de la muestra de alimentación a las pruebas de flotación adicionando Anamol-D.

Alimentación	% Mo	% Cu	% Fe	% Insolubles
	0.53	19.47	30.33	13.70

La variación de la recuperación de Mo, Cu y Fe obtenida a distintos tiempos de flotación se muestra en la Fig. 5.53, 5.54 y 5.55, respectivamente.

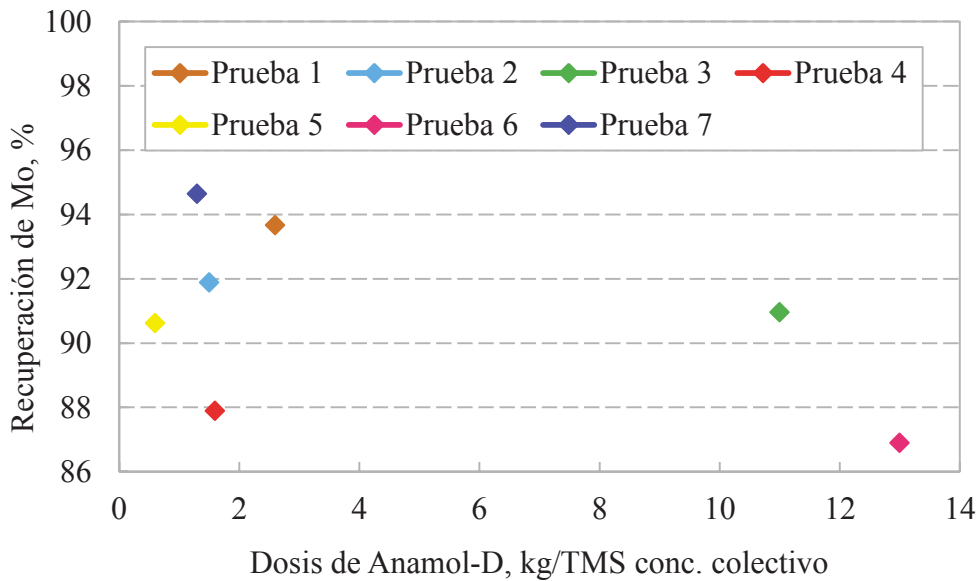


Figura 5.53: Efecto de la cantidad de Anamol- D agregada sobre la recuperación de Mo.

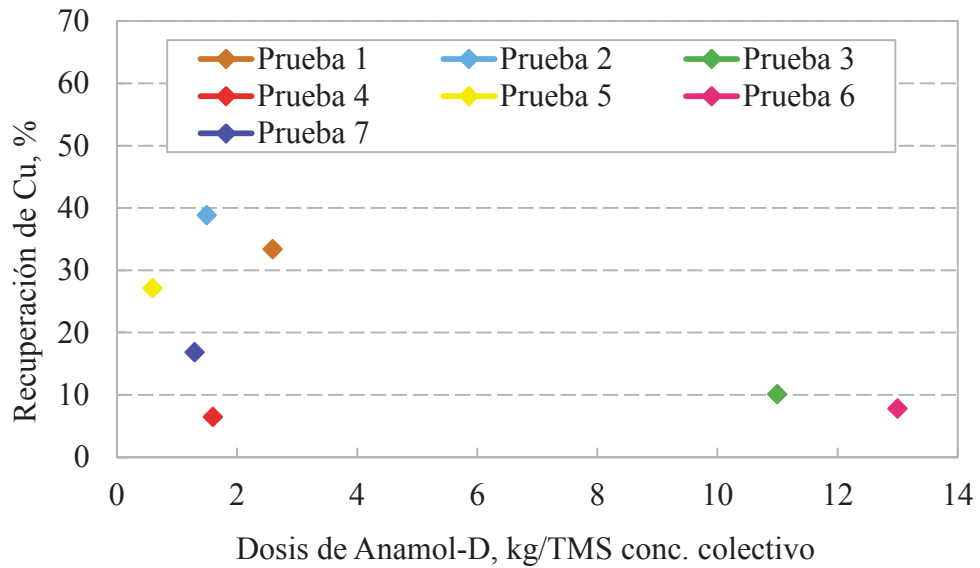


Figura 5.54: Efecto de la dosificación de Anamol- D sobre la recuperación de Cu.

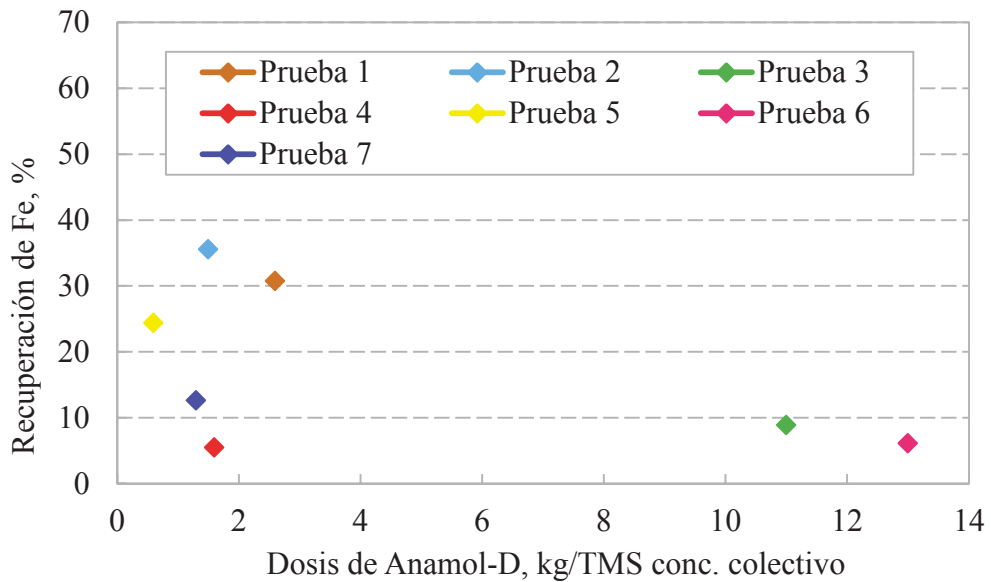


Figura 5.55: Efecto de la dosificación de Anamol- D sobre la recuperación de Fe.

Como se observa claramente en la Fig. 5.53 la recuperación de Mo aumenta al disminuir la dosis de Anamol-D adicionada, esto se produce por el control de potencial óxido-reducción a través de la adición de este reactivo depresante en las pruebas de flotación de MoS₂.

De los resultados obtenidos se tiene que la mejor recuperación de Mo fue de 94.64 % y se obtuvo al ajustar el Eh de la pulpa de alimentación a la prueba de flotación a un valor de -508.3 mV (prueba 7), pero este concentrado presentó una alta recuperación de Cu y Fe de 16.80 % y 12.59 %, respectivamente. Posteriormente al aumentar el Eh a -500.0 mV (prueba 1) se obtuvo una recuperación de Mo de 93.67 % y un incremento considerable en la recuperación de Cu y Fe, llegando a valores de 33.33 % de recuperación de Cu y 30.74 % de recuperación de Fe, seguidamente cuando el Eh se varía a -550.9 mV (prueba 2) se obtuvo recuperaciones de Mo, Cu y Fe de 91.88 %, 38.80 % y 35.50 %, respectivamente. Al mismo tiempo para un Eh de -583.7 (prueba 5) se alcanzó una recuperación de Mo de 90.62 %, de Cu de 27.10 % y de Fe de 24.38 %, mientras tanto en la prueba 4 se ajustó el Eh a -489.0 mV y se obtuvo un 87.89 % de recuperación de Mo, un 10.07 % de recuperación de Cu y un 8.84 % de recuperación de Fe.

Por otro lado, cuando se adicionó una cantidad específica de reactivo disminuyó notablemente la recuperación de Mo, tal como se aprecia en la Fig. 5.53 para una cantidad de 11 y 13 kg/TMS de concentrado Cu-Mo se obtuvo una recuperación de Mo de 90.96 % y 86.89 %, una recuperación de Cu de 10.07 % y 7.74 % y de Fe de 8.84 % y un 6.07%, respectivamente.

A continuación se presenta en la tabla 5.9 la cantidad de reactivo depresante agregado para ajustar el Eh óxido-reducción, en esta tabla se puede apreciar que el Eh no depende de la cantidad de reactivo depresante adicionado, pues esta cantidad también depende del Eh que tenga la pulpa de alimentación a las pruebas de flotación rougher de MoS_2 . Además, se observa que el consumo de reactivo se reduce notablemente al controlar la adición de reactivo a través de mediciones de Eh, no obstante este consumo es un poco mayor que cuando se ajusta el Eh con los reactivos depresantes NaHS o Tiofos 80:20.

Tabla 5.9: Cantidades de Anamol-D requerida para ajustar el Eh en cada prueba de flotación de MoS₂.

Prueba	Variable	Dosificación de reactivo depresante (kg /TMS de concentrado Cu-Mo)
1	-500.0 mV	2.6
2	-550.9 mV	1.5
3	11(kg /TMS de concentrado Cu-Mo)	11
4	-489.0 mV	1.6
5	-583.7 mV	0.6
6	13(kg /TMS de concentrado Cu-Mo)	13.0
7	-508.3 mV	1.3

De acuerdo a las pruebas realizadas ajustando Eh mediante la adición de Anamol-D se obtuvo los mejores resultados en la prueba 4 cuando se ajustó el concentrado Cu-Mo de alimentación a un Eh de -489.0 mV. En esta prueba se alcanzó un recuperación de Mo, Cu y Fe de 87.89 %, 6.43% y 5.54%, respectivamente. A pesar de que se obtuvo mejores resultados de recuperación de Mo en la prueba 1,2, 5 y 7, en la prueba 4 se alcanzó una recuperación de Cu y Fe mucho menor que estas pruebas, las que alcanzaron elevadas recuperaciones de Cu superiores a 16 % y de Fe por sobre 12 %. Con respecto a los resultados obtenidos en la prueba 3 y 6, se presentó una mejor recuperación de Mo y una similar recuperación de Cu y Fe a las recuperaciones obtenidas en la prueba 4, pero se adicionó una gran cantidad de este reactivo depresante de 11 y 13 kg/TMS de concentrado Cu-Mo, mientras que en la prueba 4 para ajustar el Eh se adicionó sólo 1.6 kg/TMS de concentrado colectivo.

5.2.8.2 Pruebas adicionales

A continuación, en la tabla 5.10 se muestran los detalles de las flotaciones realizadas en el laboratorio al ajustar Eh agregando NaHS o Tiofos 80:20, junto con esto se presentan las recuperaciones de Mo, Cu, y Fe obtenidas. Estas pruebas fueron realizadas con el concentrado Cu-Mo que ingresa al espesador de la planta de molibdeno y cada una de ellas se realizó

durante 6 min de flotación, con 1 min de acondicionamiento de reactivos y ajustando el valor de pH en 8.0 mediante la adición de H₂SO₄.

Tabla 5.10: Recuperación de Mo, Cu y Fe obtenida en pruebas de flotación adicionando NaSH y Tiofos 80:20.

Prueba	Reactivo	Ajuste de Eh (mV)	Recuperación (%)		
			Mo	Cu	Fe
1	NaHS	-520.4	94.52	10.15	9.63
2	Tiofos 80:20	-502.8	92.74	12.43	11.90

Basándose en los resultados mostrados en la tabla 5.10, se tiene que los mejores resultados en relación a las recuperación de Mo, Cu y Fe se obtuvo cuando se adicionó NaSH para ajustar el Eh en -520.4 mV. Se puede apreciar también que la recuperación de Mo aumentó y se alcanzó una mayor depresión de Cu y Fe al ajustar Eh por medio del reactivo depresante NaHS.

A continuación se expone en la tabla 5.11 y 5.12 la composición mineralógica de la alimentación, concentrado y relave de las dos pruebas realizadas en el laboratorio, adicionando NaHS y agregando Tiofos 80:20 para ajustar el Eh.

Tabla 5.11: Distribución de la composición mineralógica de las pulpas de la flotación realizada al adicionar NaHS.

Especie	Alimentación	Concentrado	Relave
	% en peso	% en peso	% en peso
Pirita	35.4	34.9	39.8
Calcopirita	48.3	32.2	44.9
Calcosina	5.0	2.7	4.4
Covelina	1.4	0.8	3.0
Molibdenita	6.8	26.3	0.2
Bornita	1.6	0.9	3.3
Ganga	1.5	0.3	0.8

Tabla 5.12: Distribución de la composición mineralógica de las pulpas de la flotación realizada al adicionar Tiofos 80:20.

Especie	Alimentación	Concentrado	Relave
	% en peso	% en peso	% en peso
Pirita	35.4	31.9	40.0
Calcopirita	48.3	36.6	42.7
Calcosina	5.0	2.7	4.9
Covelina	1.4	1.4	3.5
Molibdenita	6.8	24.4	0.2
Bornita	1.6	2.0	2.9
Ganga	1.5	0.8	1.7

A partir del análisis mineralógico realizado al concentrado y al relave de las pruebas de flotación selectiva, se observa que cuando se adicionó NaHS la cantidad de MoS_2 en el concentrado es mayor a cuando se agregó Tiofos 80:20. Estos valores se ven representados por un 26.3 % superior a un 24.4 % en peso de MoS_2 . En tanto, para el relave con ambos reactivos la cantidad de MoS_2 en esta muestra fue de 0.2 % en peso.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Los resultados de las pruebas de flotación de MoS_2 en el laboratorio indicaron que al incrementar la dosificación de reactivo depresante Anamol-D agregada a cada prueba, la recuperación de Mo aumenta. Sin embargo, para alcanzar una recuperación de Mo superior a 75 % se adicionó una gran cantidad de Anamol-D, superior a 10 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo.

Por otro lado, el uso de los reactivos depresantes NaSH y Tiofos 80:20 generó cambios positivos en las pruebas de flotación rougher de MoS_2 , presentando un efecto favorable en la recuperación de Mo y en la depresión de Cu y Fe. Además en comparación con Anamol-D, se requiere una menor cantidad de estos reactivos para alcanzar una mejor recuperación de Mo y una similar recuperación de Cu y Fe. Lo anterior se traduce en una disminución de aproximadamente un 60 % en el consumo de reactivo depresante al utilizar NaSH o Tiofos en vez de Anamol-D.

En cuanto a la adición de H_2SO_4 para disminuir el pH de flotación de cada prueba realizada, se observó que esta variable influye positivamente en la recuperación de Mo pero disminuye la depresión de Cu y Fe, es decir, al disminuir el pH hasta un valor de 8.0 se recuperó una mayor cantidad de Mo pero también una mayor cantidad de Cu y Fe en el concentrado.

El H_2SO_4 actúa sobre la superficie de la MoS_2 depresada por efecto de la cal que se adiciona en el proceso de flotación colectiva, este ácido limpia la superficie de la MoS_2 al provocar la disolución de la especie $\text{CaOH}_{2(s)}$ en las especies solubles tales como CaOH^+ y Ca^{2+} , y además reacciona con estas especies haciéndolas precipitar al estado de yeso coloidal $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de esta manera la superficie de la MoS_2 queda libre de especies de calcio mejorando su condición de flotabilidad. En cuanto al valor de pH que mejores resultados entregó fue de 8.3 para la mayoría de las pruebas realizadas.

Las pruebas desarrolladas al ajustar el potencial óxido-reducción de la pulpa a través de la adición por separado de Anamol-D, NaHS y Tiofos 80:20 mostraron que se reduce

significativamente el consumo de depresante, en más de un 40 % comparándolo con una cantidad específica de reactivo, alcanzando mejores o similares resultados de recuperación de Mo, Cu y Fe.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Se recomienda incluir un sistema de control automático de flujo para adicionar los reactivos depresores Anamol-D y NaCN en la planta de molibdeno y de esta forma los operadores de planta no serán los encargados de ajustar manualmente las válvulas que controlan la adición de estos flujos, por lo cual se evitaría agregar una cantidad errónea de reactivos.

Actualmente en planta se realizan las mediciones de potencial óxido-reducción de las pulpas contenidas en las celdas rougher, cortando una muestra y trasladándola al laboratorio metalúrgico en donde se realiza la medición, por lo que se debe considerar un sistema de medición automático de potencial óxido-reducción directamente en planta y de acuerdo a este valor agregar la óptima cantidad de reactivo depresante de Cu y Fe, es decir, a través de la adición de reactivo depresante ajustar el potencial de la pulpa en cada celda de flotación. Con esta medida de control se reduciría el consumo de Anamol-D en la planta de flotación selectiva de MoS₂.

Se plantea como cambio fundamental en la planta de molibdeno el uso de NaSH o Tiofos 80:20 como reactivos depresores de Cu y Fe en conjunto con H₂SO₄ para el ajuste de pH, por su mayor efectividad y bajo consumo específico en comparación con Anamol-D. Adicionando Tiofos 80:20 o NaHS se suprime inmediatamente la adición de NaCN sin necesidad de afectar el rendimiento de la flotación selectiva, la eliminación de este reactivo permite un ahorro significativo en los costos operacionales de la planta, mejora las condiciones de seguridad y ambientales para los trabajadores al descartar la posibilidad de emanación de gas cianhídrico (HCN).

Es recomendable además realizar pruebas de flotación selectiva de MoS₂ en laboratorio variando la proporción de la mezcla de los reactivos depresantes NaHS y Tiofos 80:20 debido a que en esta investigación se incluyó sólo una por falta de tiempo.

CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

- [1] **CODELCO.** División Salvador. “Informe oficial diciembre 2013”, Dirección Estratégica y Control Gestión. 2013.
- [2] **International Molybdenum Association.** “Molybdenum properties”. Disponible en Internet: <http://www.imoa.info/molybdenum/molybdenum-properties.php>. Visitada 24 de Septiembre, 2014.
- [3] **CODELCO.** “Molibdeno”. 2011. Disponible en Internet: http://www.codelco.com/molibdeno/prontus_codelco/2011-06-03/224147.html. Visitada 29 de Abril, 2013.
- [4] **Garay, V.** “Mercado Internacional del Molibdeno”, Cochilco. Febrero de 2013. Disponible en Internet: <http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/molibdeno/Molibdeno-2013-VF.pdf>. Visitada 29 de Abril, 2013.
- [5] **Sutulov, A.** “Molibdeno”, Prensas de Editorial Universitaria, S.A. 1961.
- [6] **Centro de Investigación Minera y Metalúrgica.** “Investigaciones Mineras y Metalúrgicas 1977”. Santiago de Chile, 1978.
- [7] **Muñoz, J y Garay, V.** “Mercado Internacional del Molibdeno”, Cochilco. Mayo de 2014. Disponible en Internet: http://www.cochilco.cl/Archivos/destacados/20140909153200_Mercado%20Internacional%20del%20Molibdeno%202014.pdf. Visitada 22 de Septiembre, 2014.
- [8] **Cochilco.** “Precios del Molibdeno”, Precios de los Metales. 2013. Disponible en Internet: <http://www.cochilco.cl/descargas/estadisticas/basedatos/preciosmetales/Molibdeno-1979-2013-mensual.xls>. Visitada 6 de Mayo, 2013.
- [9] **Southerland, K. y Wark, I.** “Principles of Flotation”. Melbourne, 1955.

- [10] **Sutulov, A.** “Flotación de Minerales”, Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Concepción, 1963.
- [11] **Bulatovic, S.** “Handbook of Flotation Reagents: Flotation of Sulfide Ores and Chemistry, Theory and Practice”, Volume 2. Abril de 2007.
- [12] **Martínez, N.** “Guías de Laboratorio de Flotación de Minerales”, Universidad Arturo Prat. Iquique, 2002.
- [13] **Castro, S.** “Flotación Fundamentos y Aplicaciones”, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción. 1983.
- [14] **Martínez, N.** “Apunte de Asignatura: Flotación de Minerales”, Universidad Arturo Prat. Iquique, 2007.
- [15] **Castro, S.** “Flotation of Molybdenite”, International Molybdenum Encyclopedia, Vol. II. Santiago de Chile, 1979.
- [16] **López, A., Madrid, I., Reyes, J., Sánchez, A. y Song, S.** “Propiedades de la Interfase Molibdenita/Solución Acuosa y su relación con la Flotabilidad del Mineral”, Area de Ingeniería de Minerales, Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México, 2006.
- [17] **Habashi, F.** “Handbook of Extractive Metallurgy”, Volume III. República Federal de Alemania, 1997.
- [18] **Gupta, C.** “Extractive Metallurgy of Molybdenum”, CRC Press. Enero, 1992.
- [19] **Solar, M.** “Obtención de Compuestos de Molibdeno por Vía Hidrometalúrgica”, Curso Internacional de Molibdeno y Elementos Representativos Química y Aplicaciones, Universidad de Santiago de Chile. 1986.
- [20] **Zuñiga, J. S.** “Estudio del Diagrama potencial-pH de Sistemas: Molibdenita, H₂O, y Oxidantes”, tesis de grado, Universidad de Santiago de Chile. 1982.

- [21] **Bustamante, A.** “Mejoramiento Recuperación de Molibdeno Planta Flotación Selectiva División El Teniente”, Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. 2007.
- [22] **León, I.** “Mecanismos de Reactivación con Ácido Sulfúrico de la Flotación de Molibdenita Depresada con Cal”, Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. Abril, 2009.
- [23] **López, A. y Reyes, J.** “Flotación de Calcopirita, Pirita y Molibdenita en Minerales de Cobre tipo Pórfidos”, X Simposio sobre Procesamiento de Minerales. Chillán, Chile, Noviembre, 2005.
- [24] **Chander, S. y Fuerstenau, D.** “On the Natural Floatability of Molybdenite”, Society of Mining Engineers.1972.
- [25] **Cytec.** “Manual de Productos Químicos para Minería”. 2002.
- [26] **Castro, S.** “Flotación Selectiva de Molibdenita en Minerales de Cobre Porfíricos”, Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. Santiago de Chile, 1977.
- [27] **Castro, S.** “Avances en Metalurgia Extractiva, Fenómenos Interfaciales”, Capítulo Flotación Selectiva de Molibdenita, Universidad de Concepción. Diciembre, 2003.
- [28] **Wark, J. y Cox, A.** “Technical Publication N° 659”, AIMME. 1936.
- [29] **Vartanian, K y Gomelaury, I.** “Depression of sulphides with sodium sulphide”. USSR, 1941.
- [30] **Crozier, R.** “Reactivos de Flotación aplicados a la Recuperación de Molibdenita con Minerales de Cobre Porfíricos”, Primer Congreso de Ingenieros del Cobre. Chuquicamata, Chile, 1978.
- [31] **Triffett, B., Veloo, C., Adair, B. y Bradshaw, D.** “An Investigation of the Factors Affecting the Recovery of Molybdenite in the Kennecott Utah Copper Bulk Flotation Circuit”, Elsevier Ltd. 2008.

- [32] **Salinas, L.** “Estudio de pérdida de Recuperación de Molibdeno en Flotación Selectiva Codelco Chile – División Andina”, Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. Agosto, 2010.
- [33] **Malhotra, D.** “Effect of Reagents on Molibdenite Flotation and its Optimisation: a Statistical Evaluation of Laboratory Data”, AIME Annual Meeting Atlanta. Georgia, Marzo, 1977.
- [34] **Paredes, S.** “Efecto Depresor del Calcio sobre la Flotación de la Molibdenita”, Informe de Memoria de título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. 1979.
- [35] **Beas, E.** “Molibdeno en la División el Teniente de CODELCO Chile”, Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Metalúrgica y Metales. 1990.
- [36] **Melani, P.** “Estudios Experimentales y Termodinámicos sobre el efecto del Ión Calcio en la Flotabilidad de la Molibdenita”, Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. 2009.
- [37] **Poorkani, M. y Banisi, S.** “Industrial use of Nitrogen in Flotation of Molibdenite at the Sarcheshmeh Copper complex”, Elsevier Ltd. 2004.
- [38] **Chander, S. y Fuerstenau, D.** “Electrochemical Flotation Separation of Chalcocite from Molybdenite”, Department of Materials Science and Mineral Engineering, University of California. 1982.

CAPITULO IX: ANEXOS

ANEXO A: MEMORIA DE CÁLCULOS

ANEXO B: TRABAJO EXPERIMENTAL

ANEXO C: HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DE REACTIVOS

ANEXO A
Memoria de cálculos

A.1 Cálculo recuperación acumulada

Tabla A.1: Ejemplo de cálculo de recuperación acumulada de prueba de flotación de MoS₂ con una dosis de 16 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo.

Flujo	Masa (g)	Leyes (%)			Finos parciales (g)			Finos Acumulados (g)			Recuperación Parcial (%)			Recuperación acumulada (%)			
		Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	
Conc. 1	0.5 min	53.90	6.86	16.80	24.00	3.70	9.06	12.94	3.70	9.06	12.94	45.21	3.20	3.07	45.21	3.20	3.07
Conc. 2	1.0 min	40.90	4.07	17.50	25.40	1.66	7.16	10.39	5.36	16.21	23.32	20.35	2.53	2.47	65.57	5.72	5.54
Conc. 3	1.5 min	11.90	3.66	16.80	24.70	0.44	2.00	2.94	5.80	18.21	26.26	5.33	0.71	0.70	70.89	6.43	6.24
Conc. 4	3.0 min	6.30	5.24	15.40	23.40	0.33	0.97	1.47	6.13	19.18	27.74	4.04	0.34	0.35	74.93	6.77	6.59
Conc. 5	6.0 min	5.20	4.26	15.90	26.00	0.22	0.83	1.35	6.35	20.01	29.09	2.71	0.29	0.32	77.64	7.06	6.91
Conc. 6	9.0 min	4.50	2.21	17.90	25.60	0.10	0.81	1.15	6.45	20.81	30.24	1.22	0.28	0.27	78.86	7.34	7.18
Alimentación		1403.60	0.55	19.9	29.5												
Relave		1280.90	0.14	20.5	30.5												

A.2 Cinética de flotación

Tabla A.2: Ejemplo de cálculo de ajuste de datos de recuperación acumulada según el modelo de García y Zuñiga y de Klimpel para prueba de flotación de MoS₂ con una dosis de 16 kg de Anamol-D/TMS de concentrado colectivo.

Flujo	Masa (g)	Recuperación parcial (%)			Recuperación acumulada (%)			Recuperación acumulada (%) Modelo de García y Zuñiga			Recuperación acumulada (%) Modelo de Klimpel			
		Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	
Conc. 1	0.5 min	53.90	45.21	3.20	3.07	45.21	3.20	3.07	45.02	2.42	3.41	47.91	3.76	3.63
Conc. 2	1.0 min	40.90	20.35	2.53	2.47	65.57	5.72	5.54	64.33	4.05	5.20	62.83	5.30	5.14
Conc. 3	1.5 min	11.90	5.33	0.71	0.70	70.89	6.43	6.24	72.62	5.13	6.14	68.99	6.03	5.87
Conc. 4	3.0 min	6.30	4.04	0.34	0.35	74.93	6.77	6.59	78.36	6.68	7.03	75.39	6.85	6.68
Conc. 5	6.0 min	5.20	2.71	0.29	0.32	77.64	7.06	6.91	78.85	7.28	7.18	78.59	7.26	7.10
Conc. 6	9.0 min	4.50	1.22	0.28	0.27	78.86	7.34	7.18	78.86	7.3	7.18	79.66	7.4	7.23
Alimentación		1403.60												
Relave		1280.90												

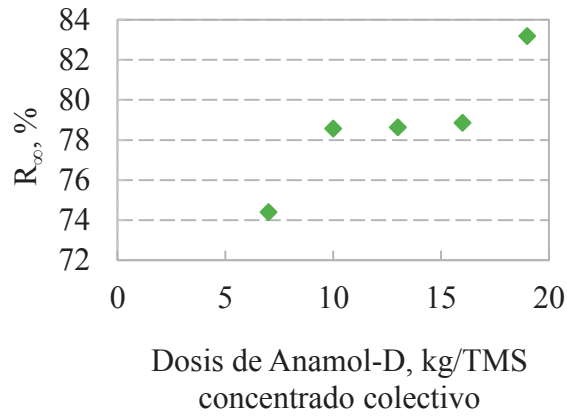
A.3 Cálculo análisis granulométrico

Tabla A.3: Ejemplo de cálculo de granulometría de una muestra de alimentación a las pruebas de flotación de MoS₂.

Malla Ty Tyler	Abertura (μm)	Media geométrica (μm)	Masa retenida (grs)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)
50	300	357	3.40	0.49	0.49	99.51
70	212	252	10.10	1.45	1.94	98.06
100	150	178	24.70	3.55	5.49	94.51
140	106	126	38.10	5.47	10.96	89.04
200	75	89	79.10	11.36	22.32	77.68
270	53	63	138.50	19.90	42.22	57.78
325	45	49	50.90	7.31	49.53	50.47
-325	38	41	351.30	50.47	100.00	0.00
TOTAL			696.10	100.00		

A.4 Efecto de Anamol-D en flotación de MoS₂

(A)



(B)

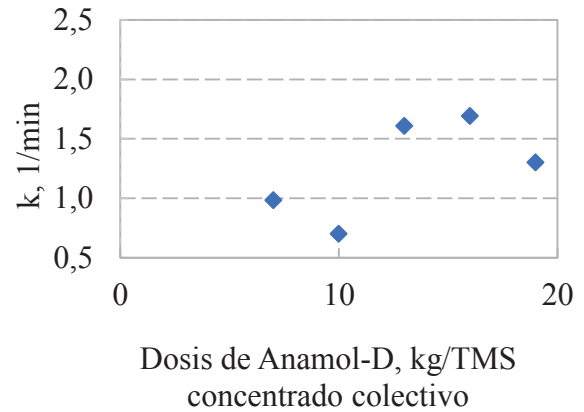


Figura 9.1: Efecto de la dosificación de Anamol-D en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas del modelo García y Zúñiga para Mo.

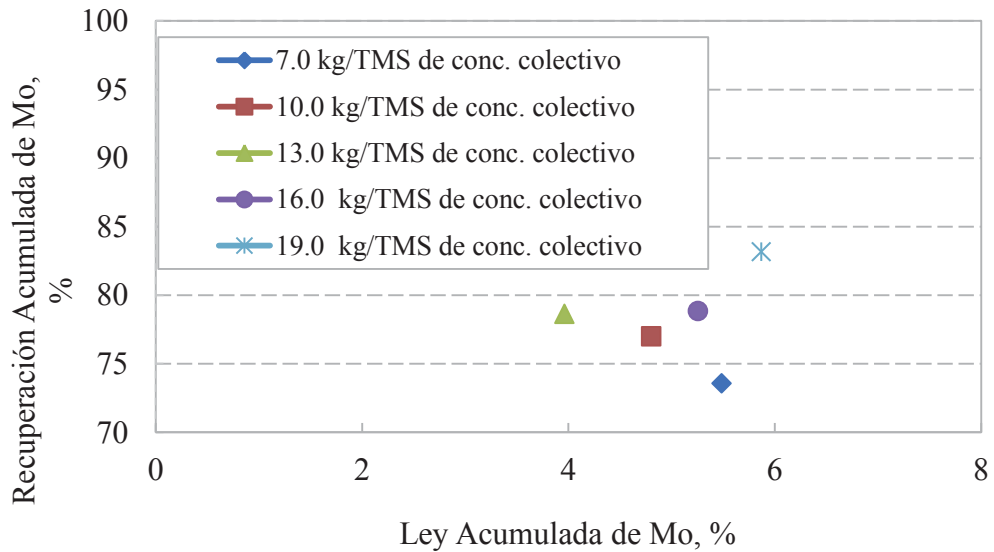
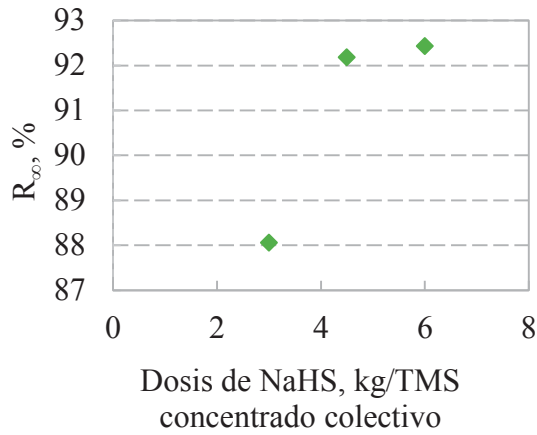


Figura 9.2: Efecto de la dosis de Anamol-D en recuperación y ley acumulada de Mo.

A.5 Efecto de NaHS en flotación de MoS_2

(A)



(B)

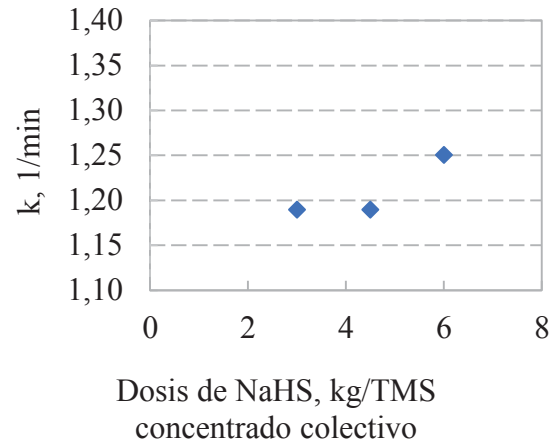


Figura 9.3: Efecto de la dosificación de NaHS en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

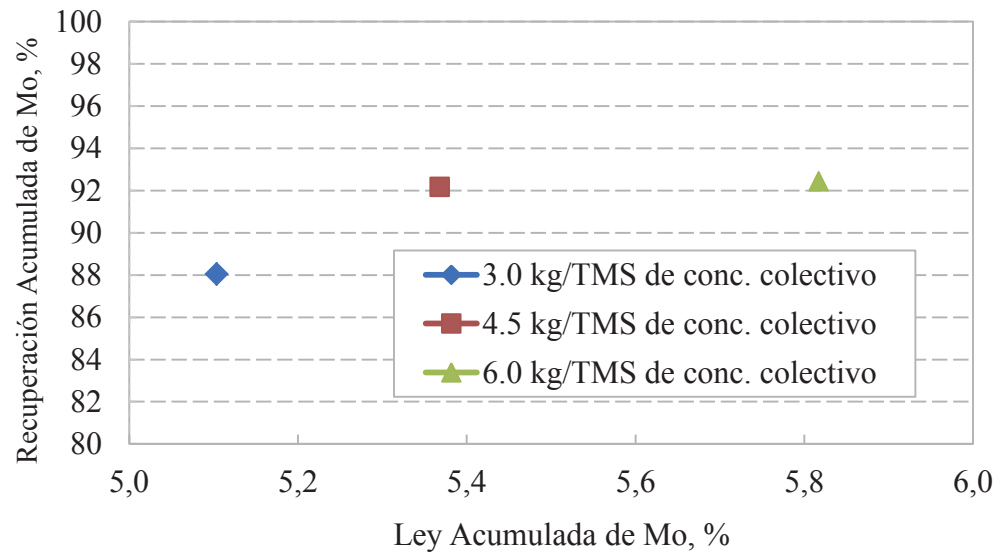


Figura 9.4: Efecto de la dosis de NaHS en recuperación y ley acumulada de Mo.

A.6 Efecto de Tiofos 80:20 en flotación de MoS₂

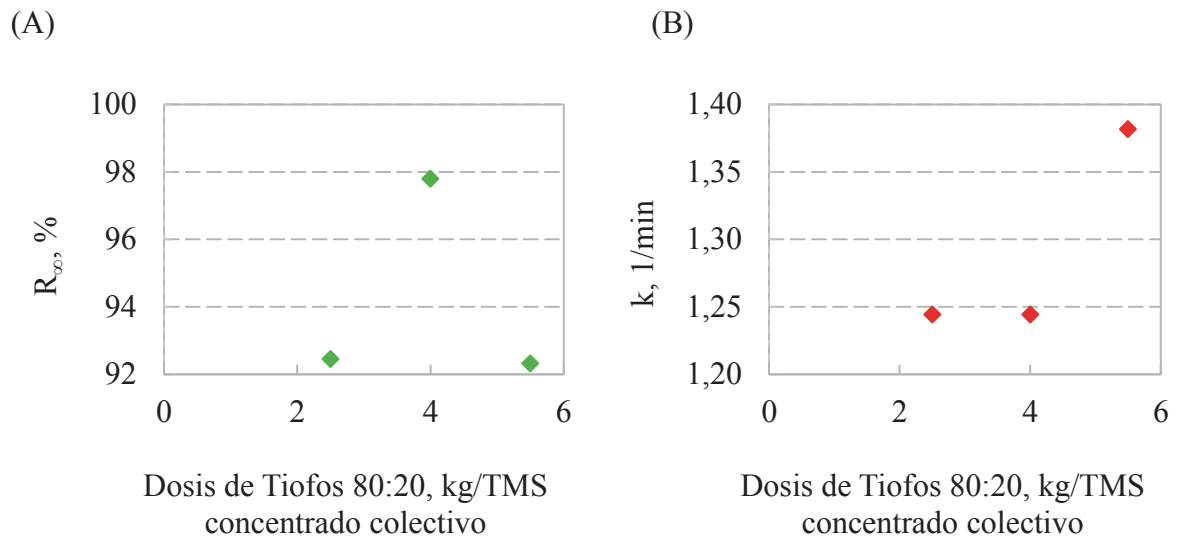


Figura 9.5: Efecto de la dosificación de Tiofos 80:20 en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

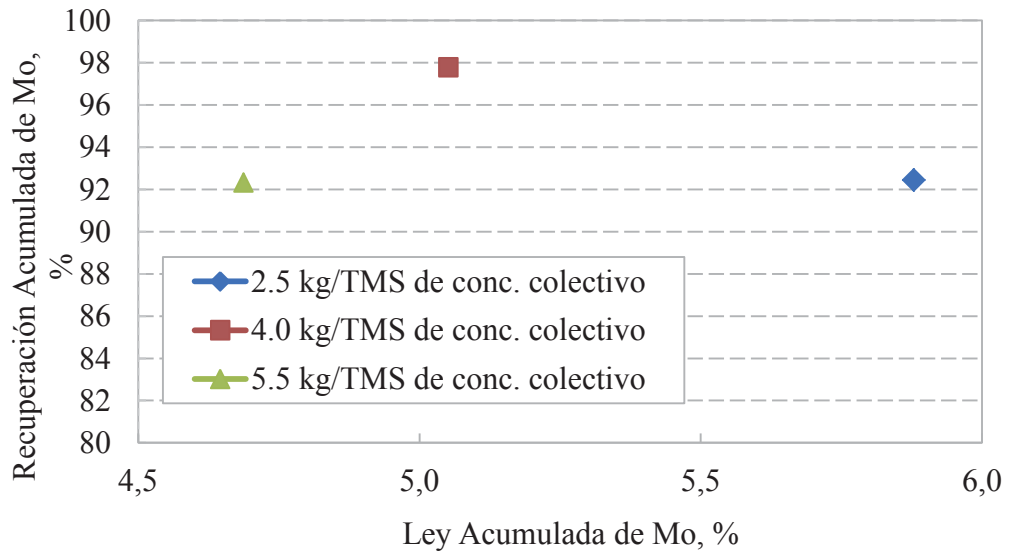


Figura 9.6: Efecto de la dosis de Tiofos 80:20 en recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7 Efecto de pH en flotación de MoS₂

A.7.1 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo

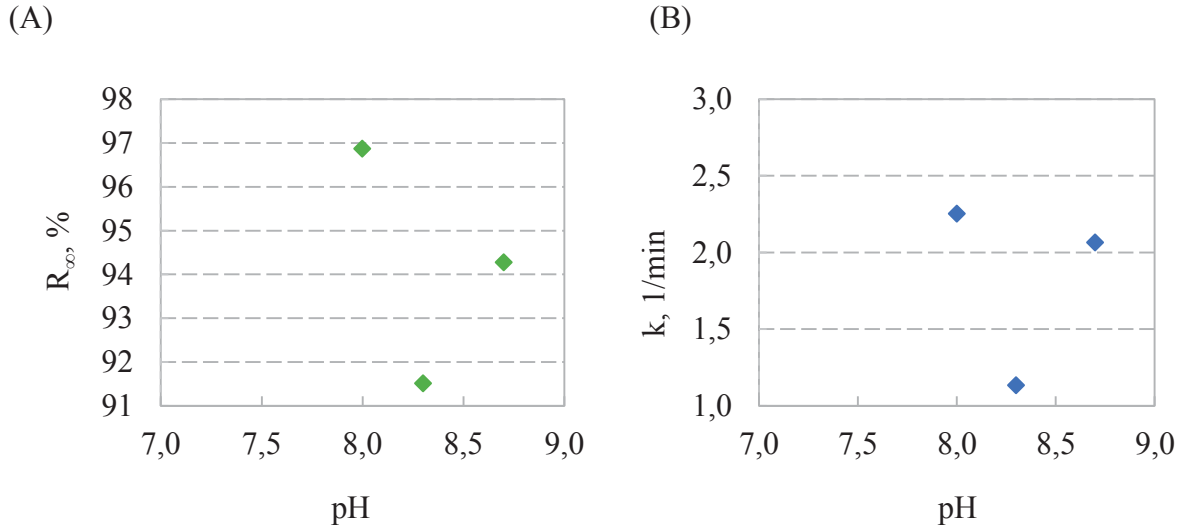


Figura 9.7: Efecto de pH y la dosificación de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación Infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

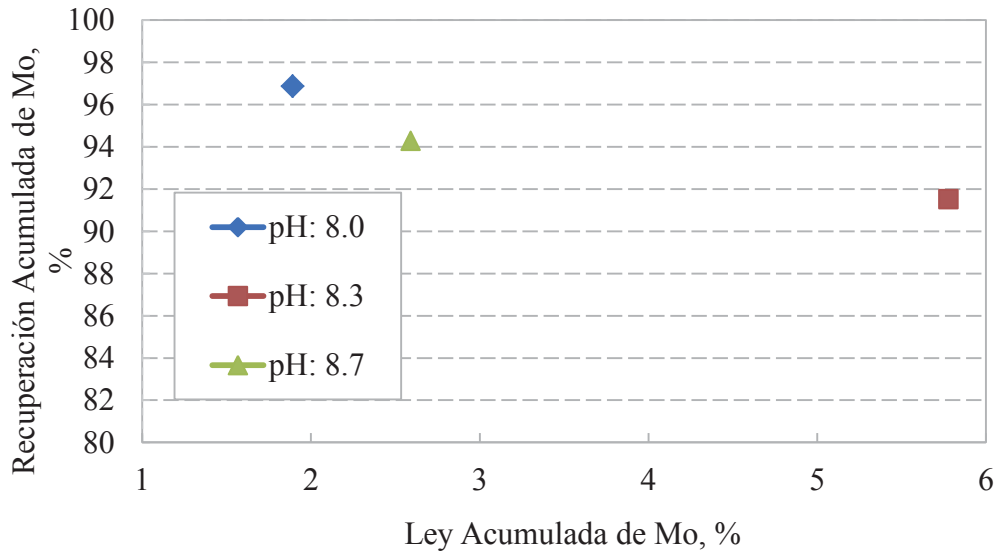


Figura 9.8: Efecto de pH y la adición de 3.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7.2 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo

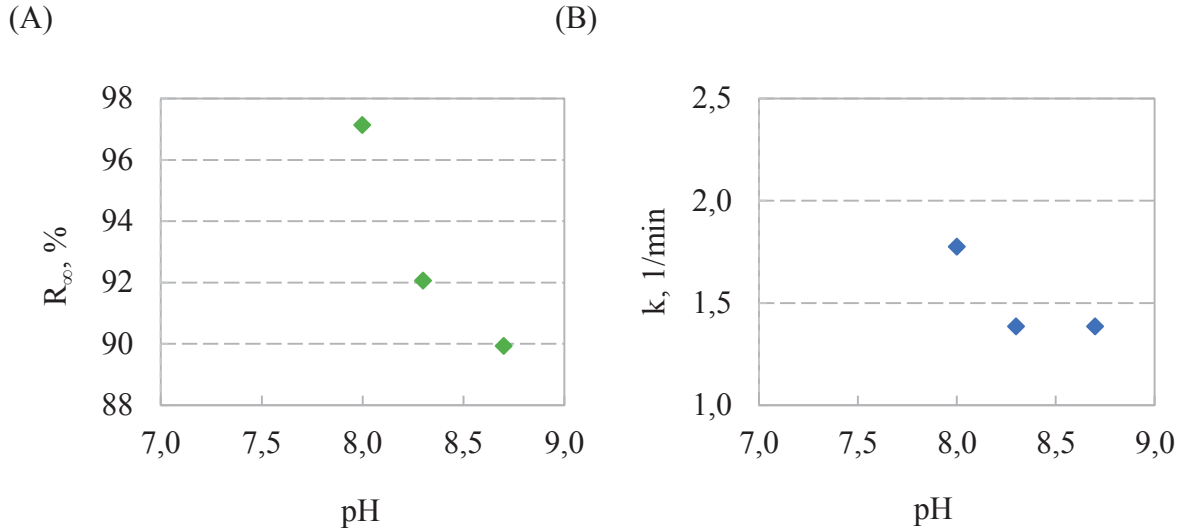


Figura 9.9: Efecto de pH y 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

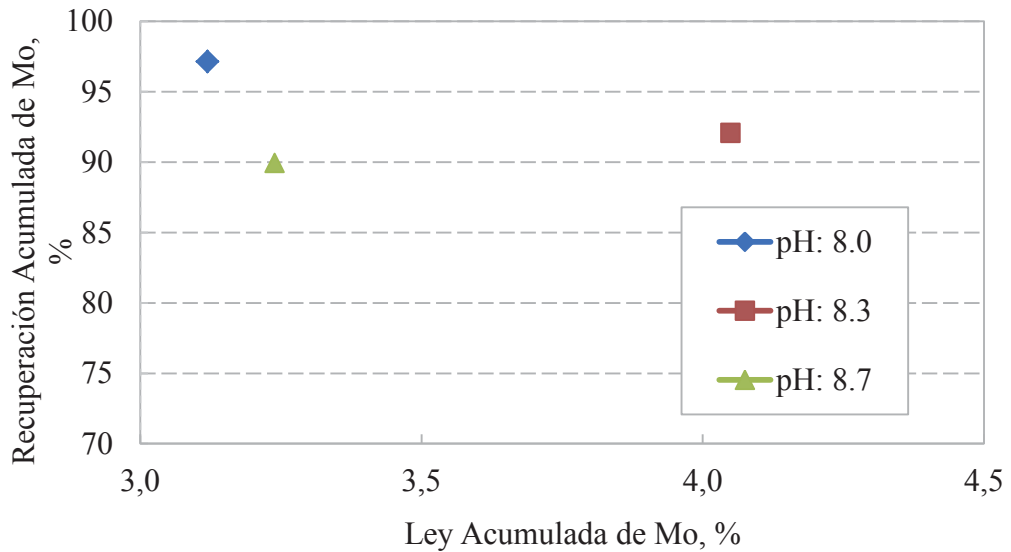


Figura 9.10: Efecto de pH y la adición de 4.5 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7.3 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo

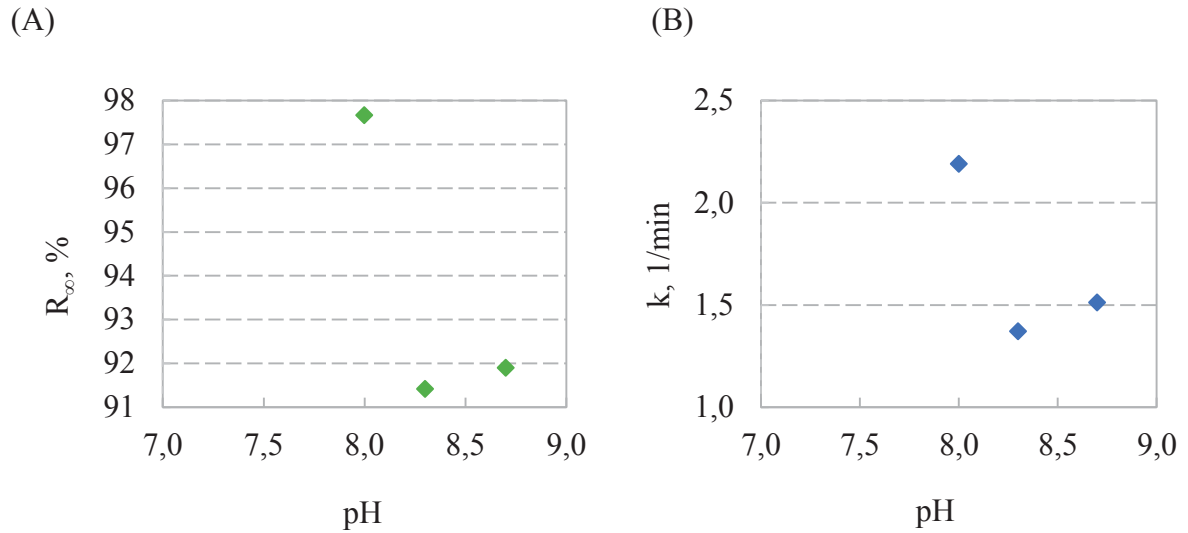


Figura 9.11: Efecto de pH y 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

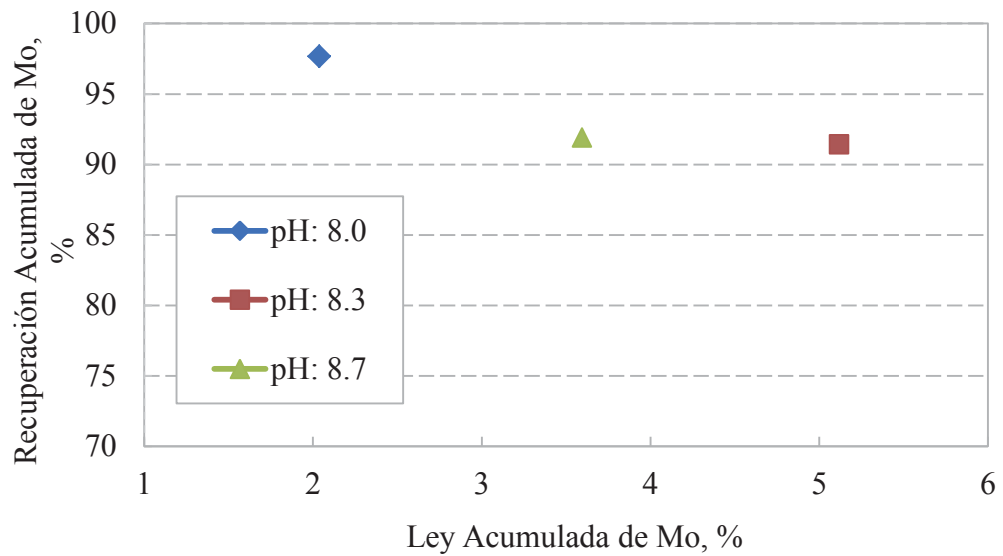


Figura 9.12: Efecto de pH y la adición de 6.0 kg de NaHS/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7.4 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo

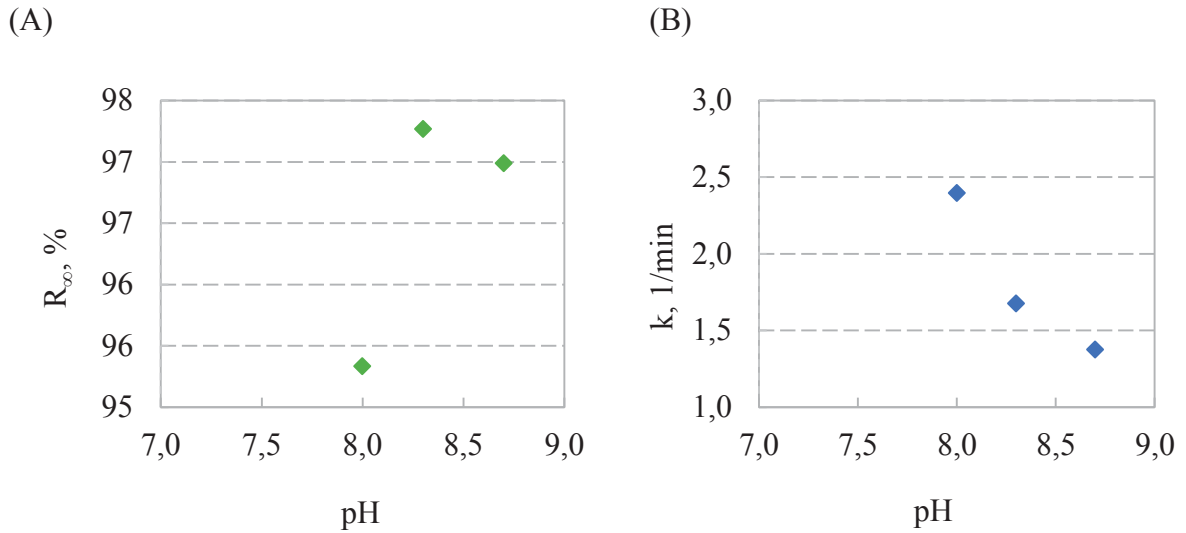


Figura 9.13: Efecto de pH y 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

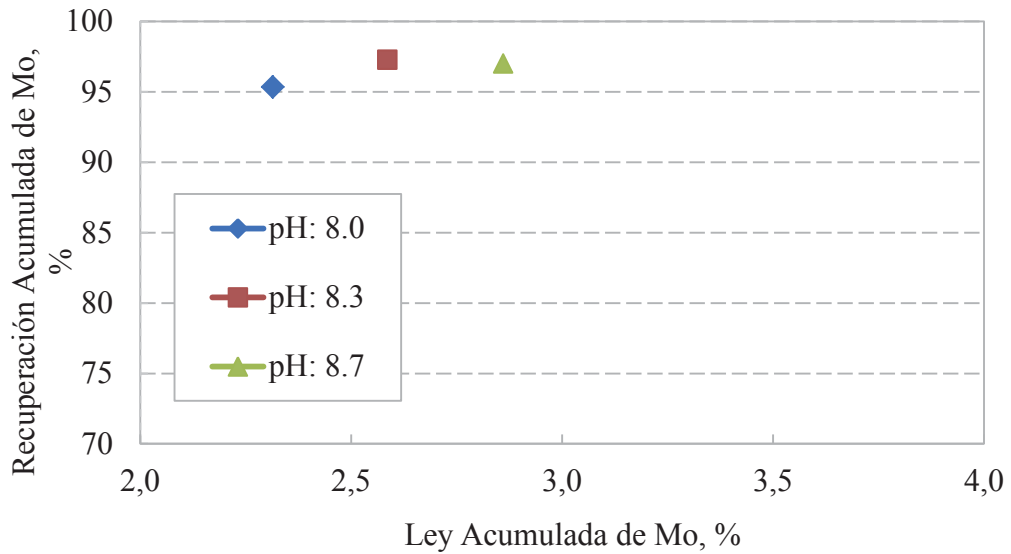


Figura 9.14: Efecto de pH y la adición de 2.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7.5 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo

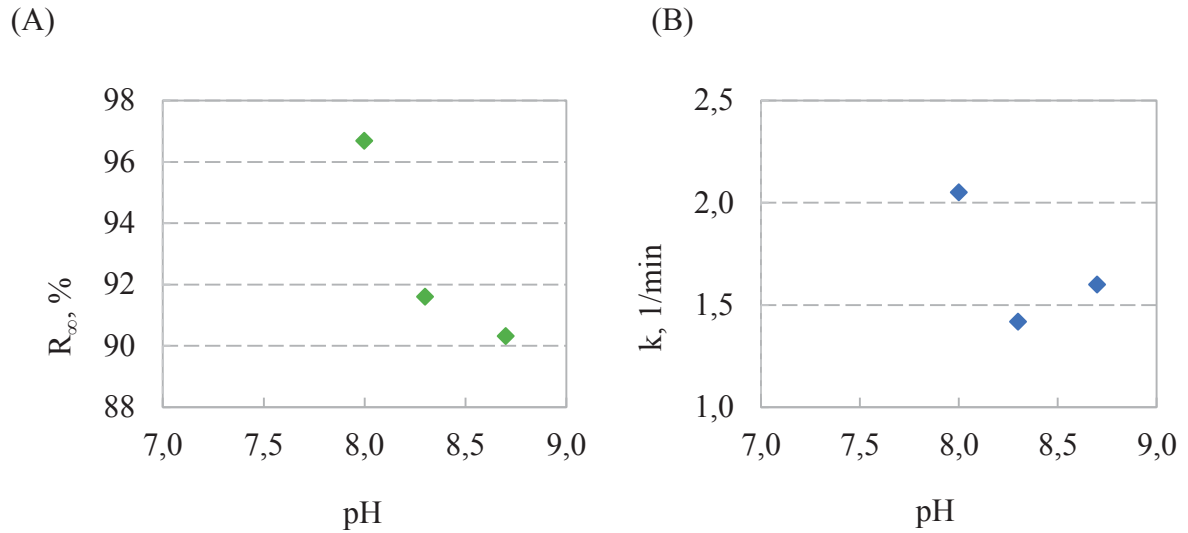


Figura 9.15: Efecto de pH y 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

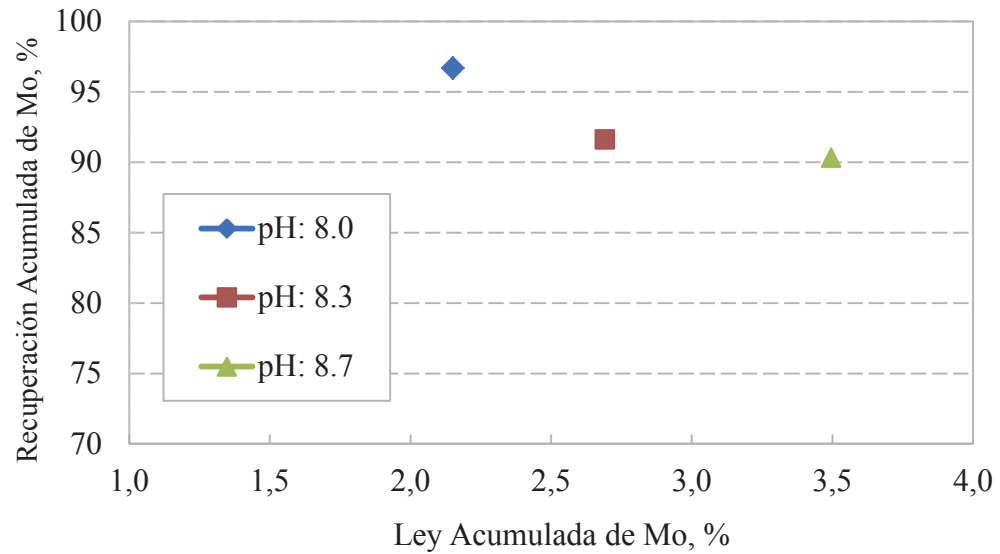


Figura 9.16: Efecto de pH y la adición de 4.0 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.7.6 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo

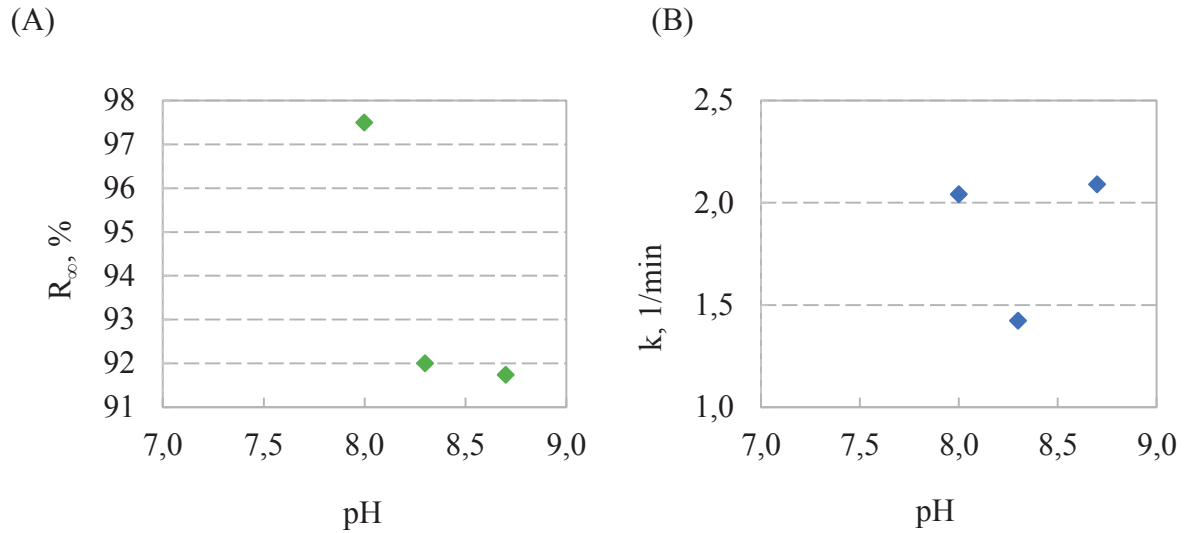


Figura 9.17: Efecto de pH y 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

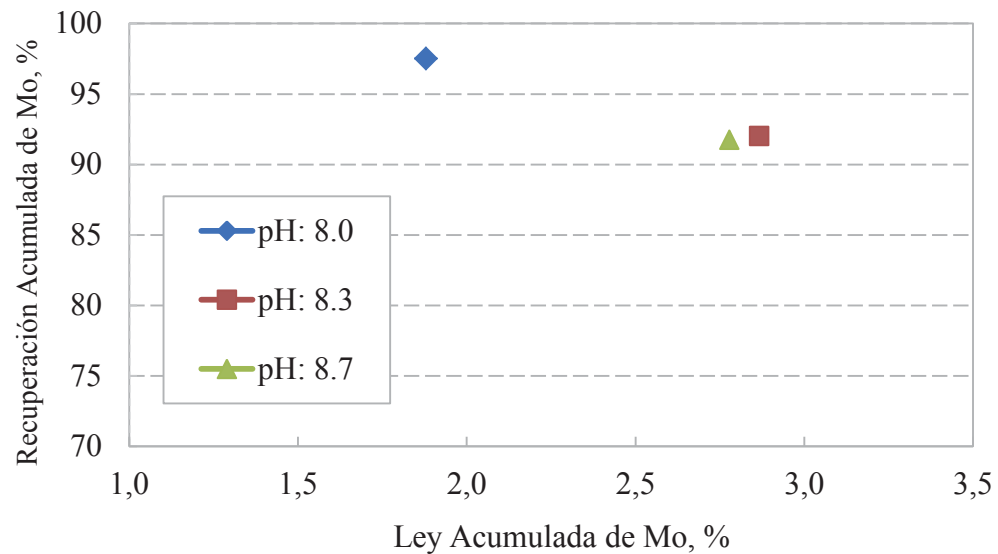


Figura 9.18: Efecto de pH y la adición de 5.5 kg de Tiofos 80:20/TMS de concentrado Cu-Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.8 Efecto de potencial electroquímico en flotación de MoS₂

A.8.1 Mediante adición de NaHS

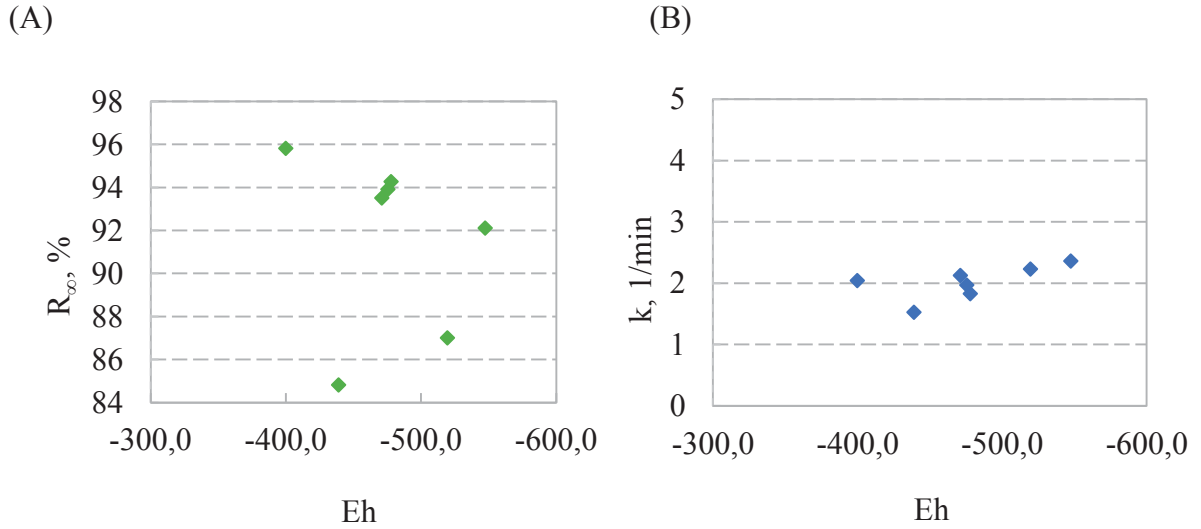


Figura 9.19: Efecto de Eh mediante la adición de NaHS en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

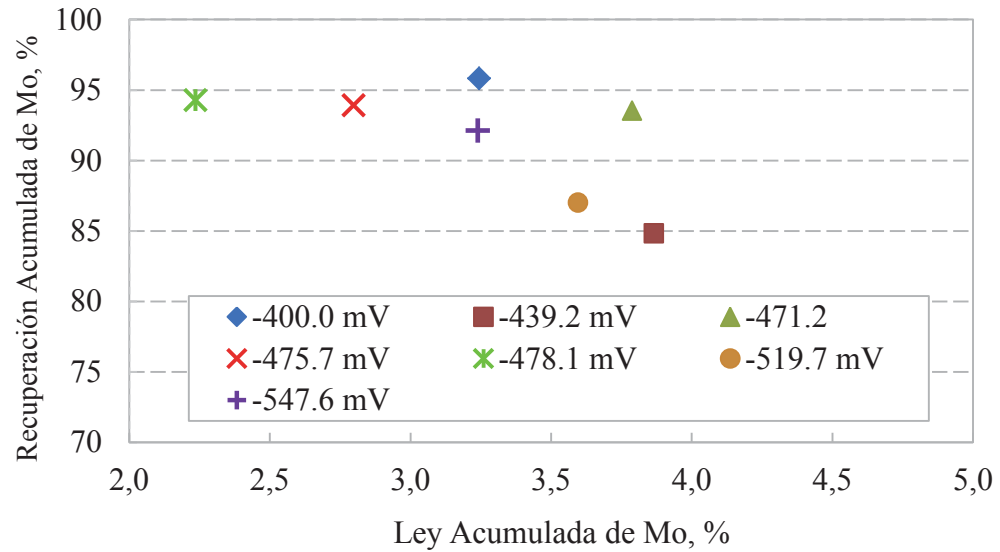


Figura 9.20: Efecto de Eh a través de la adición de NaHS Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

A.8.2 Mediante adición de Tiofos 80:20

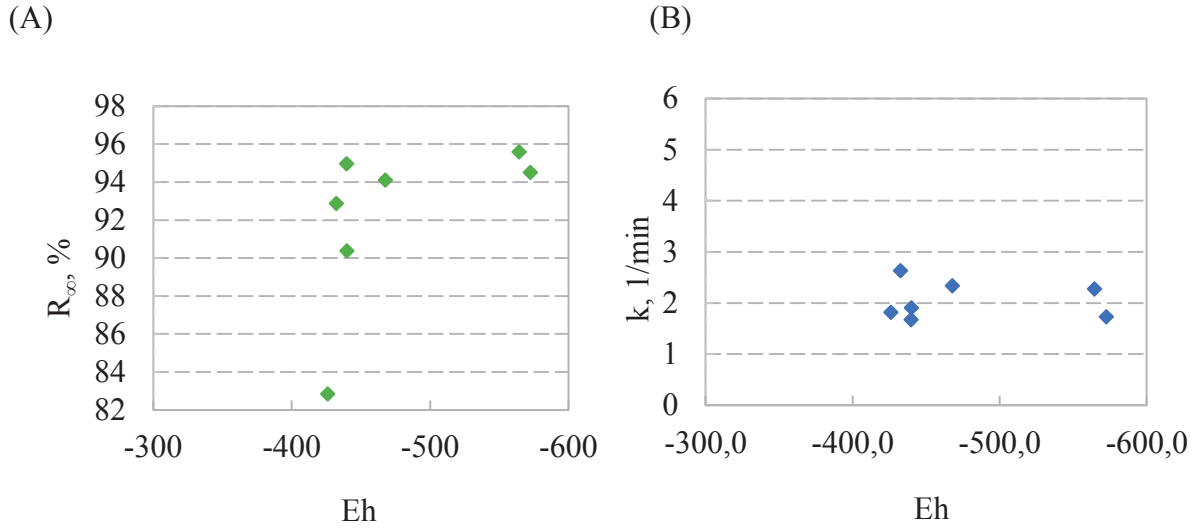


Figura 9.21: Efecto de Eh mediante la adición de Tiofos 80:20 en (A) recuperación infinita (R_{∞}) y en (B) constante cinética específica de flotación (k) obtenidas con modelo García y Zúñiga para Mo.

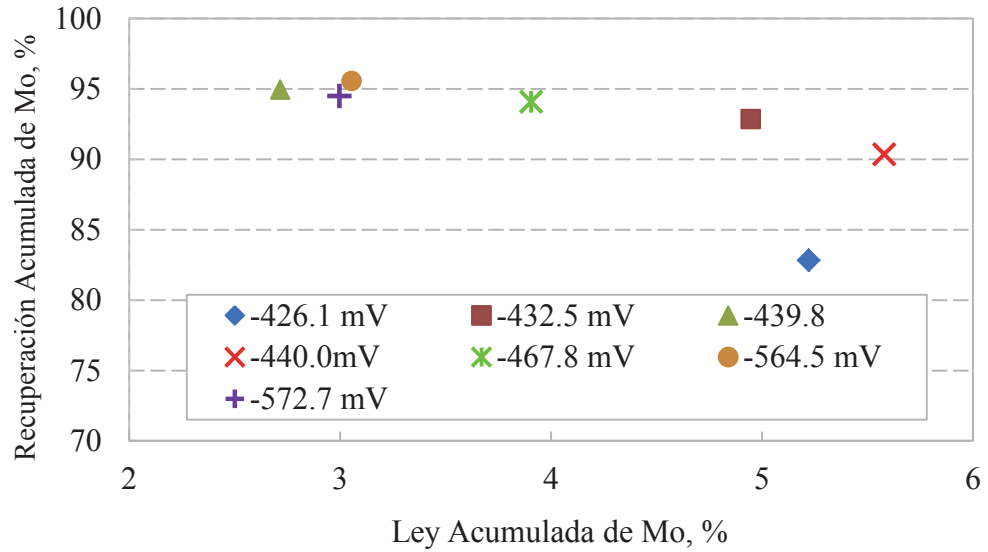


Figura 9.22: Efecto de Eh por medio de la adición de Tiofos 80:20 Mo en la recuperación y ley acumulada de Mo.

ANEXO B
Trabajo experimental

B.1 Fórmula de ajuste de sólidos

Para calcular la densidad del concentrado colectivo alimentado a cada prueba de flotación se tomó una muestra del concentrado colectivo y se vertió a una probeta previamente tarada enrasando hasta los 1000 ml y luego se pesó en la balanza. Finalmente se calculó la densidad de pulpa de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\rho_{pulpa} = \frac{\text{masa de pulpa(g)}}{\text{Volumen probeta(ml)}}$$

Conociendo la densidad de la pulpa (ρ) y su gravedad específica (SG), entonces se calculó el porcentaje de sólidos a través de la ecuación:

$$\% \text{ de sólidos} = \frac{\text{Densidad de la pulpa} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) - 1000}{\left(\frac{\text{SG de la pulpa} - 1}{\text{SG de la pulpa}}\right) * \text{Densidad de la pulpa} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)}$$

Donde 4.2 es la gravedad específica de la pulpa de alimentación utilizada en las pruebas de flotación de MoS₂.

Posteriormente para calcular la masa de mineral seco se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Masa de mineral seco} = \frac{\% \text{ de sólidos}}{100} * \text{Densidad de la pulpa} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) * \text{Volumen pulpa(l)}$$

Donde el volumen de la pulpa es equivalente al volumen que ocupa en la celda de flotación, el cual equivale a 2.6 litros.

B.2 Fórmula para el cálculo de volumen de reactivo depresante a utilizar

Para obtener el volumen de reactivo depresante a adicionar en cada prueba, excepto en las pruebas de ajuste de Eh óxido-reducción, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen en ml} = \frac{\text{Masa mineral seco(g)} * \text{Dosis de depresante} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}}\right) * \left(\frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}\right)}{\text{Concentración del reactivo depresante} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right) * \left(\frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}}\right)}$$

B.3 Procedimiento preparación reactivos

B.3.1 Identificación y control de riesgos en la preparación de reactivos

Tabla B.1: Peligros y medidas de control para preparación de reactivos.

Peligro	Medidas de control
Golpeado contra objetos estacionarios (mesones y estructuras en general del laboratorio).	Planificar tareas de trabajo. Atento a las condiciones del sector. Inspección visual del área de trabajo antes de iniciar las actividades. Uso de equipos de protección personal.
Golpeado por objeto que cae.	Correcta manipulación de objetos. Atento a las condiciones del sector. Caminar por las áreas de trabajo (no correr). Uso adecuado de los equipos de protección personal.
Abrasión por material extraño (polvo en suspensión, proyección de partículas, limpiar los ojos con manos u otro elemento contaminado).	Usar cantidades de sustancias determinadas por procedimiento. Uso de equipos de protección personal. Limpieza adecuada de áreas de trabajo. Lavar manos antes de limpiar los ojos.
Caídas a igual nivel	Planificar las tareas del trabajo. Inspección visual del área de trabajo antes de iniciar la actividad. Mantener pisos secos y herramientas en su lugar. Mantener área de trabajo limpia y despejada.
Contacto con energía eléctrica (balanza).	Inspección visual de conexiones eléctricas. No operar equipos defectuosos. No intervenir equipos energizados.
Contacto, manipulación y almacenamiento de reactivos depresantes.	Planificar tareas de trabajo Atento a las condiciones del sector.

	<p>Uso de equipos de protección personal.</p> <p>Conocer hojas de datos de seguridad.</p> <p>Sobrantes del reactivo volverlos a la planta de acuerdo a procedimiento.</p>
Intoxicación y envenenamiento por descomposición del depresante durante su preparación.	<p>El personal debe conocer los riesgos involucrados en la preparación del depresante.</p> <p>El personal debe contar con todo el equipo de protección personal requerido.</p> <p>No se debe fumar ni mantener llama abierta al preparar el reactivo.</p> <p>Uso de extractor de gases durante la preparación del reactivo.</p>
Ingestión de sustancias peligrosas.	<p>No comer dentro del laboratorio.</p> <p>Mantener orden y limpieza dentro del área.</p>
Exposición a polvos no clasificados (reactivos sólidos), a gases y vapores químicos.	<p>Uso obligatorio de respirador con filtros mixtos.</p>

B.3.2 Preparación de una solución de Anamol-D

B.3.2.1 Equipos, materiales e insumos

- Balanza electrónica
- Extractor de gases
- Vasos precipitados
- Espátulas
- 1 Matraz de aforo de 250 ml
- Vidrio de reloj
- Agitador magnético
- Agua destilada
- Termómetro
- Trióxido de Arsénico
- Sulfuro de sodio

B.3.2.2 Equipos de protección personal

- Lentes de seguridad
- Respirador con filtros mixtos
- Zapatos de seguridad
- Guantes de nitrilo
- Tenida antiácido

B.3.2.3 Procedimiento preparación de Anamol-D

- Realizar la hoja de planificación de tarea.
- Pesar en la balanza la cantidad de sulfuro de sodio según el volumen de solución que desea preparar, siempre manteniendo una proporción de 4:1 entre el sulfuro de sodio (Na_2S) y trióxido de arsénico (As_2O_3) y se debe preparar con una concentración de 200 g/l.
- A modo de ejemplo, para preparación de 250 ml de solución, se debe pesar en la balanza 40 g de Na_2S .
- Agregar el Na_2S a un vaso precipitado.
- Pesar el As_2O_3 y adicionar al vaso precipitado. Para preparar 250 ml de solución se necesitan 10 g de As_2O_3 .
- Agregar agua destilada al vaso precipitado que contiene los reactivos, controlar la temperatura y ubicar en el agitador magnético.
- Una vez homogenizada la mezcla, agregar al matraz de aforo y adicionar agua hasta alcanzar el volumen de aforo.
- Agitar la solución de Anamol-D contenida en el matraz de aforo e identificar la disolución almacenada en el matraz, indicando su nombre y fecha de preparación.
- Para efectos de pruebas no se debe usar un reactivo con más de 48 horas de preparación.
- Una vez finalizada la actividad, dejar limpia y ordenada el área de trabajo y los materiales utilizados.

B.3.3 Dilución de reactivos depresantes

La dilución es el procedimiento que se sigue para preparar una disolución menos concentrada a partir de una más concentrada. Para calcular el volumen de reactivo necesario para la dilución se utilizó la siguiente ecuación:

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde

C1, es la concentración inicial del reactivo depresante.

V1, es el volumen de la disolución de reactivo concentrado.

C2, es la concentración que se quiere obtener de la disolución del reactivo depresante.

V2, es el volumen de disolución menos concentrada.

B.3.3.1 Equipos, materiales e insumos

- Extractor de gases
- Vasos precipitados
- 2 Matraz de aforo de 250 ml
- Agua destilada
- Termómetro
- Probetas
- Pipetas
- Sulfhidrato de sodio
- Tiofos 80:20

B.3.3.2 Equipos de protección personal

- Lentes de seguridad
- Respirador con filtros mixtos
- Zapatos de seguridad
- Guantes de nitrilo
- Tenida antiácido

B.3.3.3 Procedimiento dilución NaHS

El procedimiento de dilución de una disolución de Sulfhidrato de Sodio para la preparación de 250 ml de disolución de NaHS se debe realiza los siguientes:

- Realizar la hoja de planificación de tarea.
- Tomar 132 ml de disolución concentrada de NaHS con una concentración de 530.8 g/l y verter a un vaso precipitado.
- Luego agregar 80 ml de agua destilada al mismo vaso precipitado e introducir el termómetro con una escala de medición de 0 a 100 °C, para ir controlando la temperatura de la reacción.
- Adicionar la disolución contenida en el vaso precipitado a un matraz y aforar hasta los 250 ml con agua destilada de modo de obtener una disolución con una concentración de 280 g/l.
- Identificar la disolución almacenada en el matraz, indicando su nombre y fecha de preparación.
- Para efectos de pruebas no se debe usar un reactivo con más de 48 horas de preparación.
- Una vez finalizada la actividad, dejar limpia y ordenada el área de trabajo y los materiales utilizados.

B.3.3.4 Procedimiento de dilución Tiofos 80:20

El procedimiento de dilución de una disolución de Tiofos 80:20 para la preparación de 250 ml de disolución de Tiofos 80:20 se debe realizar lo siguiente:

- Realizar la hoja de planificación de tarea.
- Tomar 182 ml de disolución concentrada de Tiofos 80:20 con una concentración de 276 g/l y verter a un vaso precipitado.
- Luego agregar 50 ml de agua destilada al mismo vaso precipitado e introducir el termómetro con una escala de medición de 0 a 100 °C, para ir controlando la temperatura de la reacción.

- Adicionar la disolución contenida en el vaso precipitado a un matraz y aforar hasta los 250 ml con agua destilada para obtener una disolución con una concentración de 200 g/l.
- Identificar la disolución contenida en el matraz, mostrando su nombre y fecha de preparación.
- No se debe usar un reactivo con más de 48 horas de preparación.
- Una vez finalizada la actividad, limpiar y ordenar el área de trabajo y los materiales utilizados.

B.4 Protocolo de flotación

B.4.1 Objetivo

Establecer un estándar de trabajo, para la ejecución de una adecuada operación de protocolo de flotación selectiva de MoS₂ de laboratorio, de tal manera de controlar riesgos inherentes y asociados a la operación.

Además realizar la tarea en forma planificada y segura controlando sus riesgos asociados. Se debe desarrollar la actividad bajo condiciones de eficiencia, calidad y seguridad, evitando incidentes que puedan dañar el recurso humano, del medio ambiente y material de la división.

B.4.2 Identificación y control de riesgos en las pruebas de flotación de MoS₂

Tabla B.2: Peligros y medidas de control en pruebas de flotación de MoS₂ a escala de laboratorio.

Peligro	Medidas de control
Golpeado contra objetos estacionarios (mesones y estructuras en general del laboratorio).	Planificar actividades a realizar. Atento a las condiciones del lugar. Inspección visual del área de trabajo antes de iniciar las actividades. Uso de equipos de protección personal.
Golpeado contra objetos en movimiento.	Planificar tareas de trabajo. Atento a las condiciones de trabajo. Precaución al manipular equipos de trabajo. Precaución al encender celda de flotación y

Golpeado por objeto que cae.	<p>a estanque agitador.</p> <p>No intervenir equipos en movimiento.</p> <p>Uso adecuado de equipos de protección personal.</p> <p>Correcta manipulación de objetos.</p> <p>Atento a las condiciones del sector.</p> <p>Caminar y no correr por las áreas de trabajo.</p> <p>Uso adecuado de los equipos de protección personal.</p>
Abrasión por material extraño (polvo en suspensión, proyección de partículas, limpiar los ojos con manos u otro elemento contaminado).	<p>Usar cantidades de sustancias determinadas por procedimiento.</p> <p>Uso de equipos de protección personal.</p> <p>Limpieza adecuada de áreas de trabajo.</p> <p>Lavar manos antes de limpiar los ojos.</p>
Caídas a igual nivel o a distinto nivel.	<p>Planificar las tareas del trabajo.</p> <p>Atento a las condiciones del sector.</p> <p>Inspección visual del área de trabajo antes de iniciar la actividad.</p> <p>Mantener pisos secos y herramientas en su lugar.</p> <p>Mantener área de trabajo limpia y despejada.</p>
<p>Contacto con energía eléctrica (agitador mecánico, celda de flotación, balanzas, pulverizador, etc.)</p> <p>Contacto con sustancias peligrosas.</p>	<p>Inspección visual de conexiones eléctricas.</p> <p>No operar equipos defectuosos.</p> <p>No intervenir equipos energizados.</p> <p>Realizar hoja de planificación de tarea.</p> <p>Atento a las condiciones del sector.</p> <p>Uso de equipos de protección personal.</p> <p>Conocer hojas de datos de seguridad de reactivos.</p> <p>Sobrantes del reactivo volverlos a la planta</p>

Explosión de tuberías y recipientes a presión.	de acuerdo a procedimiento. Inspección visual y auditiva de tuberías, mangueras y válvulas de aire comprimido. Buen armado de filtros a presión.
Intoxicación y envenenamiento por descomposición del depresante durante el proceso de flotación.	El personal debe conocer las hojas de datos de seguridad de cada reactivo. El personal debe contar con todo el equipo de protección personal requerido. Uso de extractor de gases durante cada prueba de flotación.
Sobre esfuerzo por carga o postura al trasladar de baldes con muestras, al levantar peso en postura inadecuada, al realizar un movimiento o fuerza en posición inadecuada y al manipular herramientas en forma incorrecta.	No cargar ni manipular más del peso establecido. Adoptar postura adecuada en la manipulación de cargas. Mantener vista en dirección de desplazamiento. Caminar y no correr por el área de tránsito.
Exposición a polvos no clasificados, a gases y vapores químicos.	Uso obligatorio de respirador con filtros mixtos. Uso del extractor de gases.
Peatón golpeado por vehículo o equipo móvil al dirigirse a retirar muestra.	Precaución al transitar por caminos. Uso de chaleco reflectante. Uso adecuado de equipos de protección personal.

B.4.3 Equipos, materiales e insumos

- Baldes previamente identificados
- Cortadores de muestras
- Balanza Marcy
- Celda de flotación
- pH metro
- Medidor de Eh

- Termómetro
- Bandejas
- Pipetas
- Piseta
- Probeta
- Vasos precipitados
- Estanque agitador
- Filtro a presión con conexión a red de aire
- Horno de secado
- Balanza electrónica
- Extractor de gases
- Pulverizador
- Espátula
- Brochas
- Agua recuperada
- Trióxido de Arsénico
- Sulfuro de sodio
- Sulfhidrato de sodio
- Tiofos 80:20
- Ácido Sulfúrico
- Cilindro de nitrógeno
- Hoja de datos de seguridad de reactivos a utilizar

B.4.5 Equipos de protección personal

- Lentes de seguridad
- Respirador con filtros mixtos
- Zapatos de seguridad
- Guantes de nitrilo y de Cabritilla
- Tenida antiácido
- chaleco reflectante
- Casco de seguridad

- Protector auditivo

B.4.6 Procedimiento de flotación selectiva de MoS₂ en laboratorio

Una vez planificada la actividad y desarrollada la hoja de planificación de tarea, se debe limpiar, ordenar y despejar el área de trabajo. Además, verificar que los materiales e insumos, herramientas y accesorios a utilizar se encuentren en correcto estado y que los equipos a utilizar se encuentren operativos. Si no es así se debe comunicar al supervisor. El uso del equipo de protección personal es indispensable en todo momento por posibles proyecciones de pulpa con reactivo cuando se está flotando.

La actividad consiste en determinar la recuperación de los elementos de interés y calidad del producto siguiendo las siguientes instrucciones:

- Lavar la celda de flotación, las bandejas de acero inoxidable y rotor de la máquina de flotación asegurándose que no queden residuos de flotaciones anteriores.
- Previo a realizar el muestreo de concentrado colectivo para ejecutar la flotación se debe chequear que el cilindro de N₂ tenga la cantidad suficiente para realizar este procedimiento.
- Comunicar a la sala de control el inicio de la actividad de muestreo.
- Tomar muestra representativa de concentrado colectivo Cu-Mo con un cortador de en forma de abanico desde el ducto y vaciar a balde hasta tener la cantidad necesaria. El punto de muestreo va a depender del tipo de prueba planificada, y puede ser desde el flujo que alimenta el espesador de la planta de molibdeno o desde el flujo que descarga este espesador. Antes de tomar las muestras se debe medir el % de sólidos.
- La muestra tomada se trasladará hasta el laboratorio, se filtrará y se recuperará el agua y el sólido se agregará a un estanque con un agitador mecánico y se homogenizará hasta que no se visualice pulpa sedimentada en el fondo del estanque.
- De la pulpa debidamente agitada tomar muestra en probeta previamente tarada, enrasando hasta 1000 ml y pesar dicha probeta.
- Anotar los datos obtenidos para el cálculo de la densidad de pulpa y porcentaje de sólidos.
- El sólido se debe ajustar hasta lograr un valor desde 38 % a 40 % de sólido.

- Una vez ajustado el porcentaje de sólidos, cortar muestra y rotularla como “Muestra de Alimentación de Flotación Selectiva”, con su respectivo número de prueba y fecha.
- Luego cortar 2.6 l de pulpa desde el estanque agitador y adicinarla a la celda de flotación.
- Ubicar la celda bajo la máquina de flotación, instalar el agitador y ajustar la velocidad de operación a 600 RPM.
- Iniciar la agitación mecánica en la celda y medir pH y Eh.
- En caso de requerir ajuste de pH en la prueba se debe acondicionar la pulpa en agitación adicionando H_2SO_4 con una pipeta, hasta alcanzar el valor de pH establecido para cada prueba. Medir Eh luego de adicionar el H_2SO_4 .
- A continuación adicionar el reactivo depresante a la celda de flotación utilizando pipeta. Según la prueba planificada se agregará una dosis específica de depresante o se controlará el Eh por medio de la adición de reactivo. Durante la adición del depresante de Cu y Fe, medir o controlar el potencial de la pulpa y medir el pH.
- En el momento de agregar el reactivo considerar tiempo cero y acondicionar la pulpa por el tiempo determinado en cada prueba antes de flotar.
- Instalar bandeja de acero inoxidable bajo el labio de la celda.
- Pasado el tiempo de acondicionamiento, iniciar el flujo de N_2 posicionando el flotador del flujometro en valor previamente estipulado.
- Flotar durante el tiempo estipulado en cada prueba, con paleteos a una frecuencia de 10 seg y adicionando agua recuperada para mantener el nivel de la celda.
- Al finalizar la flotación selectiva de MoS_2 , cortar el suministro de nitrógeno.
- Medir pH y Eh y después detener la máquina de flotación.
- Los productos de esta flotación son concentrado de Mo y relave correspondiente al concentrado de Cu. Estos productos junto con la muestra de alimentación tomada al comienzo del procedimiento son filtradas y se disponen en bandejas rotuladas adecuadamente para ser llevadas al horno de secado.
- El horno de secado no debe exceder los $105^\circ C$, a fin de evitar la sublimación de algunos elementos, especialmente el azufre.
- Una vez secas las muestras se realiza la preparación mecánica para análisis químico.
- Comunicar el término de la actividad al Supervisor del laboratorio.

- Recoger todos los residuos industriales generados al realizar la actividad y dejar el área limpia y ordenada.

ANEXO C

Hojas de datos de seguridad de reactivos

C.1 Hoja de datos de seguridad de Sulfuro de Sodio



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **SULFURO DE SODIO ESCAMAS**
Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: SULFURO DE SODIO ESCAMAS – Na₂S
Número CAS: 1313-82-2
Sinónimos: Sulfuro disódico

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala: +502 6628 5858
El Salvador: +503 2251 7700
Honduras: +504 2540 2520
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú: +511 614 65 00
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina +54 115 031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

SULFURO DE SODIO	CAS: 1313-82-2	60 %
AGUA	CAS: 7732-18-5	40%

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 2 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Peligro es altamente tóxico (50-100 ppm en el aire), contiene sulfuro de hidrógeno que puede acumularse en espacios cerrados debido a la descomposición del sulfuro de sodio o de su reacción con los ácidos. Los síntomas incluyen conjuntivitis dolorosa, dolor de cabeza, náuseas, mareos, tos y, en casos extremos, edema pulmonar y posible muerte.

Ingestión: Corrosivo, tóxico. El sulfuro de sodio es una base fuerte y puede causar quemaduras graves en la membrana mucosa. Las emisiones de sulfuro de hidrógeno producen hidrólisis por jugos gástricos tóxicos. Los síntomas y los efectos son similares a los de la inhalación.

Contacto con la piel: Irritante. El contacto con la piel puede producir quemaduras graves cáusticas con inflamación dolorosa y posible destrucción de tejido.

Contacto con los ojos: Irritante. Inflamación, desgarro y el dolor se puede esperar. Puede causar la destrucción de los tejidos.

Agravación de condiciones pre-existentes: Las personas con desordenes cutáneos ya existentes o problemas oculares, de función hepática, renal o respiratoria pueden ser más susceptibles a los efectos de la sustancia.

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Sacar a la víctima al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Obtener atención médica inmediatamente.

Ingestión: Si se ingiere, NO inducir el vómito. Dé grandes cantidades de agua. No dar nada por la boca a una persona inconsciente. Obtener atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel: Lavar la piel inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Obtener atención médica inmediatamente. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Limpie completamente los zapatos antes de volver a usarlos.

Contacto con los ojos: Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para asegurar la remoción del químico. Obtener atención médica inmediatamente.

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Riesgos en caso de incendio: Substancia no combustible. En caso de fuego circundante, el calor lo puede descomponer en ácido sulfhídrico, gas inflamable que a su vez por combustión pasa a ser anhídrido sulfuroso, gas tóxico.

Agentes de extinción adecuados: Apagar el fuego con agentes adecuados al fuego circundante.

Equipo de protección personal: Usar máscara "todo rostro" con filtro adecuado. De prolongarse el incendio, protegerse con equipo de respiración autónomo.

Otras recomendaciones: Alejar el producto de las llamas y chispas.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Precauciones personales: Usar equipo de protección personal.

Precauciones medio ambientales: Evitar que alcance a los desagües o cauces públicos. En caso contrario diluir con gran cantidad de agua.

Manipulación de los derrames: Recoger el producto derramado evitando la formación de polvo. Limpiar los últimos restos con abundante agua o bien con una solución diluida de agua oxigenada (peróxido de hidrógeno).

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manipulación: Evitar la formación y dispersión del polvo.

Almacenamiento: Mantener los envases cerrados y almacenados en área seca, limpia y fresca. Almacenarlo alejado de materias incompatibles.

Materiales compatibles: Acero inoxidable AISI 304-L o AISI 316-L, polietileno, polipropileno, PVC, vidrio y caucho

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de exposición:

TLV/TWA del producto: sin determinar.

TLV/TWA del ácido sulfhídrico gas: 10 ppm

Protección respiratoria: Usar máscara "todo rostro" con filtro adecuado o equipo de respiración autónomo en caso de presencia de gas sulfhídrico. La inhalación de este gas a niveles altos de concentración, adormece el sentido del olfato pudiendo causar la muerte. Su umbral olfativo es de 0,0047 ppm.

Protección de las manos: Usar guantes de plástico o caucho.

Protección de ojos: Usar gafas de seguridad cerradas. Dotar de instalaciones lavaojos.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto: Escamas delicuescentes de color rosa salmón.

Olor: Ligero olor a huevos podridos.

pH solución acuosa 5 %: 13,6 a 20 ° C

Temperatura de ebullición: 174 ° C

Temperatura de fusión: 2 ° C

Temperatura de inflamación: No aplicable.

Temperatura de autoignición: No aplicable.

Presión de vapor: 2 mm Hg.

Densidad aparente: 1850 kg/m³

Solubilidad en agua: 1,17 gr/ml.

Higroscopicidad: Ligeramente higroscópico.

Tamaño típico escamas:

- Tamiz 4 mm: aprox. 60 %
- Tamiz 2 mm: aprox. 28 %
- Tamiz 0,2 mm: aprox. 11 %
- Finos: aprox. 1 %

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Condiciones a evitar: Alejar de la humedad y fuentes de calor.

Materiales incompatibles: Con los agentes oxidantes reacciona violentamente. Con los ácidos libera ácido sulfhídrico gas. Es corrosivo para los metales: aluminio, cobre y zinc. Ataca al cemento.

Productos peligrosos de descomposición: Ácido sulfhídrico, gas muy tóxico e inflamable.

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Inhalación: Sin datos experimentales.

Ingestión: Toxicidad aguda LD50 (oral, rata) = 425 mg/kg. ; LD50: < 340 mg/kg conejo.

Contacto con la piel: Irritación de la piel, conejo: irritante.

Contacto con los ojos: Irritación de ojo, conejo: muy irritante

Sensibilización: Sin datos experimentales.

Carcinogenicidad: Experimentado como no cancerígeno.

Mutagenicidad: No incluido en las listas de mutágenos.

Toxicidad a la reproducción: Sin efectos sobre la reproducción.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Consideraciones generales: El producto no es acumulativo ni persistente en el medio ambiente. Expuesto al aire se degrada a tiosulfato sódico, sulfato sódico y carbonato sódico.

Comportamiento en el medio acuático: Consume oxígeno en las aguas naturales y en las instalaciones de purificación biológica de aguas residuales.

Toxicología acuática:

- Tóxico para la flora y fauna acuática.
- Toxicidad aguda, peces: LC50 (96h): 1,64 mg/l (Netropis cornutus).
- Toxicidad aguda, crustáceos: EC50 (24h): 7,10 mg/l (Daphnia magna).

SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos: Tratar según legislación vigente

Eliminación de envases: Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Nombre para transporte: Sulfuro de Sodio en Escamas

No. ONU: 1849

Grupo embalaje: II

Clase: 8

Etiqueta: 8

SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

CONTROL DE REVISIONES Y CAMBIOS DE VERSIÓN:

Agosto 2014. Se actualizan las secciones 1, 15 y 16.

C.2 Hoja de datos de seguridad de Trióxido de Arsénico



INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
COMITÉ DE BIOSEGURIDAD
HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Trióxido de arsénico

SECCION I. DATOS GENERALES DE LAS HDS Proveedor: Teléfono: Emergencias: Centro de atención y respuesta a emergencias (55)-21-22-16-59 SETIQ 01-800-00-214-00		
SECCION II. DATOS DE LA SUSTANCIA QUIMICA PELIGROSA -Formula química: As_2O_3 -Nombre químico: Trióxido de arsénico Sinónimos: No hay		
SECCION III. IDENTIFICACION DE SUSTANCIA QUIMICA PELIGROSA No. CAS: 1327-53-3 No. ONU: 1561 LMPE-PPT, LMPE-CT y LMPE-P: DL50 Oral humano: 14.6 mg/Kg IPVS(IDLH): S/D RIESGO A LA SALUD: 4 Inhalación: Puede ser nocivo si se inhala. Provoca una irritación del tracto respiratorio. Piel: Nocivo si es absorbido por la piel. Provoca irritación de la piel. Ojos: provoca irritación de ojos. Ingestión: Nocivo por ingestión RIESGO DE INFLAMABILIDAD: 0 RIESGO DE REACTIVIDAD: 1 -Corrosivo -Disolución exotérmica con agua ligera -Valido en general para sustancias y preparaciones orgánicas combustibles: en caso de división fina, en estado arremolinado, debe contarse en general con peligro de explosión COMPONENTES RIESGOSOS		
SECCION IV. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS -Peso molecular: 197.84g/mol -Temperatura de ebullición: 461 °C		

FECHA DE ELABORACION: MAYO 2013

FECHA DE ACTUALIZACIÓN:

ELABORO:

AUTORIZO: COMITÉ DE BIOSEGURIDAD

Fuente: Merck KgaA *64271 Darmstadt *Alemania



<p>-Temperatura de fusión: 315 °C -Temperatura de inflamación: No reportado -Temperatura de ignición:- -Densidad: 4.9 g/cm³ (25°C) -Ph: 4 -Estado físico: Sólido -Color: blancos -Olor: indoloro -Solubilidad en agua: 400g/l (20°C)</p>	
<p>SECCION V. RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION -Equipo de protección especial de lucha contra incendios: Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada. -Recomendaciones para el personal en caso de incendio: permanezca en el área de riesgo solo con sistemas de respiración independientes al ambiente</p>	<p>-Condiciones que producen otro riesgo especial: reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción del fuego. Productos de descomposición: monóxido y dióxido de carbono.</p>
<p>SECCION VI. REACTIVIDAD Peligro: Corrosivo, oxidante. Almacenar en frascos de vidrio firmemente cerrado, en un almacén frío y bien ventilado. Evitar el contacto con fuentes de ignición calientes o flamables. COLOR DE CODIGO DE ALMACENAMIENTO: Amarillo En caso de incendio: No utilizar polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono. Use agua solamente. ESTABILIDAD: Sí, en condiciones óptimas. INCOMPATIBILIDAD: Por ser un material fuertemente ácido y un agente oxidante poderoso puede reaccionar violentamente con calor, pentóxido de fósforo, anhídrido acético y algunos materiales orgánicos. PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION TERMICA: Oxígeno, COx Colocar GABINETE EN CONTRA DE EXPLOSIVOS</p>	
<p>SECCION VII. RIESGOS A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS Según Vía de Ingreso al Organismo: -Ingestión: Nocivo, hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos) -Inhalación: Nocivo Aire fresco, si ha parado de respirar dar respiración artificial. -Contacto con la piel: Provoca irritación cutánea. Aclarar con abundante agua. Eliminar la ropa contaminada. -Contacto con ojos: Provoca irritación ocular grave. Aclarar con abundante agua, llamar inmediatamente al oftalmólogo.</p>	

FECHA DE ELABORACION: MAYO 2013

FECHA DE ACTUALIZACIÓN:

ELABORO:

AUTORIZO: COMITÉ DE BIOSEGURIDAD

Fuente: Merck KgaA *64271 Darmstadt *Alemania



<p>Sustancia Química Considerada como: -Mutagenica: No Otros Riesgos o Efectos para la Salud -Efectos irritantes, conjuntivitis, tos, insuficiencia respiratoria, náusea, dolor de cabeza y vértigo Antídotos: S/D</p>
<p>SECCION VIII.INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES Procedimiento y precaucione inmediatas -Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar el contacto con la sustancia, evitar la inhalación del polvo, asegúrese una ventilación apropiada, evacue el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia y consulte con los expertos</p>
<p>SECCION IX. PROTECCION ESPECIAL ESPECIFICA PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA -Protección de los ojos /cara: Gafas de seguridad -Protección de las manos sumersión: Guante de caucho nitrilo de 0.11mm de espesor tiempo de perforación de >480min -Protección respiratoria: Mascarilla con un filtro recomendado P 2</p>
<p>SECCION X. INFORMACION SOBRE TRANSPORTACION -ADR/RID: Transporte terrestre. Transportar de acuerdo al reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos y las normas oficiales mexicanas NOM-003-SCT2-1994, NOM-004-SCT2-1994 y NOM-005-SCT2-1994.</p>

<p>SECCION XI. INFORMACION SOBRE ECOLOGIA De acuerdo con la SEMARNAP en Materia de agua, aire, suelo y residuos peligrosos -Toxicidad: 1.-Oral aguda DL50 rata: 14.6 mg/Kg Síntomas, nauseas. 2.-Inhalación aguda: Síntomas, irritación de las mucosas. 3.-piel: Irritación de la misma 4.-Ojo: Irritación ocular -Persistencia y degradabilidad: Biodegradabilidad, no es fácilmente biodegradable -Potencial de bioacumulación: coeficiente de reparto n-octano/agua log pow:-0.49 (calculado) no es de esperar una bioacumulación -Movilidad en el suelo: S/D -Resultados de la valoración PBT y mPmB: No se Ha realizado. -otra información importante: La descarga en el ambiente debe ser evitada</p>
<p>SECCION XII. PRECAUCIONES ESPECIALES</p>

FECHA DE ELABORACION: MAYO 2013

FECHA DE ACTUALIZACIÓN:

ELABORO:

AUTORIZO: COMITÉ DE BIOSEGURIDAD

Fuente: Merck KgaA *64271 Darmstadt *Alemania



INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
COMITÉ DE BIOSEGURIDAD
HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Trióxido de arsénico

Para su Manejo, Transporte y Almacenamiento

-Manejo: Evítese el contacto con los ojos y piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer una extracción adecuada en aquellos lugares donde se forma polvo. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. No fumar. Tomar medidas para impedir la acumulación de cargas electrostáticas.

-Almacenamiento Seguro: Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco, a 4°C.

FECHA DE ELABORACION: MAYO 2013

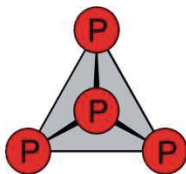
ELABORO:

FECHA DE ACTUALIZACIÓN:

AUTORIZO: COMITÉ DE BIOSEGURIDAD

Fuente: Merck KgaA *64271 Darmstadt *Alemania

C.3 Hoja de datos de seguridad de Sulfhidrato de Sodio



FOSFOQUIM S.A.

AV. GENERAL O'HIGGINS N° 2165 - PADRE HURTADO - TALAGANTE - CHILE

TEL.: (56-2) 355 78 00 FAX: (56-2) 355 78 50

Página Web: www.fosfoquim.cl e-mail: fosfoquim@fosfoquim.cl

Hoja De Datos De Seguridad Productos Químicos

NCh 2245. Of.2003

Fecha de vigencia: Febrero de 2008

SULFHIDRATO DE SODIO

Sección 1: Identificación del Producto y del Proveedor

Nombre del producto	SULFHIDRATO DE SODIO
Código Interno de la sustancia química	
Proveedor / fabricante / comercializador	Fosfoquim S.A.
Dirección	Av. General O'Higgins 2165, Padre Hurtado
Teléfono	(56-2) 355 7800
Fax	(56-2) 355 7850
e-mail	fosfoquim@fosfoquim.cl
Teléfono de emergencia en Chile	(56-2) 3557850 (56-9) Lunes a Viernes de 8:00 a 18:00 hr. (56-9) 8878067, (56-9) 6791188. CITUC: (56-2) 6353800.

Sección 2: Información sobre la Sustancia o Mezcla

Nombre químico (IUPAC)	SULFHIDRATO DE SODIO
Fórmula química	NaHS
Sinónimos	Hidrogeno Sulfuro de Sodio, Bisulfuro de Sodio.
N° CAS	16721-80-5
N° NU	2949

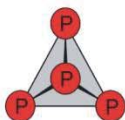
Sección 3: Identificación de los Riesgos

Marca en etiqueta NCh 2190	CORROSIVO SALUD: 3 INFLAMABILIDAD: 1 REACTIVIDAD: 1
a) Riesgos para la salud de las personas: Efectos de una sobre-exposición Aguda (por una vez)	El mayor peligro de este producto está constituido por la exposición a los gases de ácido Sulhídrico que se desprenden de él. Es un irritante severo. El contacto prolongado puede causar quemaduras. En el caso de NaSH sólido la aspiración del polvo puede irritación del tracto respiratorio superior
Inhalación	La inhalación de los vapores causa dolor de cabeza, náuseas, vómitos e irritación del tracto respiratorio y membranas mucosas. La exposición continua a estos gases puede llevar a la pérdida de la conciencia.



DIRECTOR GERENTE : DR. FRANZISKUS HORN FEJA

Página 1 de 6
Vigencia:



	parálisis respiratoria y muerte
Contacto con la piel	Causa irritación grave. Un contacto prolongado puede causar quemaduras químicas que deriven en dermatitis.
Contacto con los ojos	Causa una irritación grave provocando una fuerte irritación ocular, con posibles daños en la comea de carácter irreparable que empañaran la visión
Ingestión	Causa quemaduras graves y corrosión de todo el tracto gastrointestinal, dolor en la garganta y abdomen, náuseas y vómitos seguidos de diarrea. En los casos más graves puede esperarse pérdida de conciencia, colapso y parálisis respiratoria. El contacto del material con el ácido del estómago causa la liberación de gas Sulfuro de Hidrogeno el que es altamente tóxico.
Efectos de una sobre-exposición Crónica (largo plazo)	No se conocen efectos por exposición prolongada al producto.
Condición médicas que se verán Agravadas con la exposición al producto	Las personas con afecciones respiratorias crónicas no deben exponerse a los vapores del producto.
b) Riesgos para el medio ambiente	En altas concentraciones puede ser peligroso para la vida acuática. El producto reacciona con el aire y puede provocar incendios por desprendimiento de Gas Sulfhídrico. Peligroso si entra a cursos de agua.
c) Riesgos especiales del producto	El mayor peligro está en que el producto no debe entrar en contacto con ácidos, debido a que se produce la liberación inmediata de gas Sulfhídrico, de efectos letales rápidos.

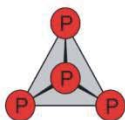
Sección 4: Medidas de Primeros Auxilios

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con Inhalación	Tome a la persona afectada y llévela al aire libre. Si la respiración es débil o nula proporcione respiración artificial. Consulte asistencia médica de forma inmediata.
Contacto con la piel	Retire la ropa y calzado contaminado. Lave la zona afectada con abundante agua corriente. Si persiste la irritación consulte asistencia médica.
Contacto con los ojos	Lave inmediatamente con abundante agua por un mínimo de 15 minutos. Lleve inmediatamente al afectado a la asistencia médica. En el transcurso, mantenga al afectado en oscuridad y con compresas de hielo en los ojos y la frente
Ingestión	Si la persona esta consciente, de a beber agua. No induzca al vomito. Consulte asistencia médica de forma inmediata.
Notas para el médico tratante	No hay antídoto específico. Tratamiento sintomático.

Sección 5: Medidas para Lucha Contra el Fuego

Agentes de extinción	En caso de incendio se puede utilizar agua en forma de rocío, espuma, arena seca o dióxido de carbono.
Procedimientos especiales para combatir el fuego	El Sulfhidrato de Sodio en sí no es inflamable. Sin embargo si es sometido a calor o ácidos desprende gases de ácido Sulfhídrico el cual es altamente inflamable. Para combatir el fuego se debe usar grandes cantidades de agua, arena o tierra seca para ahogarlo. Refrigere los envases contenedores expuestos al fuego cuidando que no mojar los envases que se encuentren abierto.
Equipo de protección personal para el combate del fuego	Utilice equipo de respiración autónoma, guantes de protección química, detector de gases (H ₂ S)





Sección 6: Medidas para Controlar Derrames o Fugas

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	Al área afectada debe entrar personal debidamente capacitado y equipado con detector de gases de Acido Sulfhídrico. Mantenga en un lugar cercano el equipo de respiración autónoma. Cubra con tierra o arena el material derramado, recójalo y guárdelo en contenedores tapados para luego disponerlos en lugares autorizados.
Equipo de protección personal para atacar la emergencia	Mascara de rostro completo con filtro de gases combinado, botas de Neopreno, guantes de protección química, traje de PVC y detector de gases (H ₂ S).
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	Si el derrame se produce en la tierra haga un dique alrededor del vertido para contenerlo y recoja el material derramado con la mayor rapidez posible. Evite a toda costa que el derrame alcance cursos de agua o alcantarillas.
Métodos de limpieza	Los restos de producto derramado deben ser absorbidos con material absorbente para luego ser dispuestos en contenedores abiertos para fomentar su desactivación.
Métodos de eliminación de desechos	Los desechos deben ser dispuestos en lugares autorizados para tal efecto.

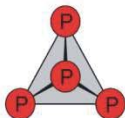
Sección 7: Manipulación y Almacenamiento

Recomendaciones técnicas	Si el producto almacenado no se está utilizando, mantenga el recipiente cerrado y alejado de las posibles fuentes de ignición.
Precauciones a tomar	Evitar el contacto directo con el producto.
Recomendaciones sobre manipulación segura, específicas	Evite en todo momento el contacto del producto con ácidos fuertes o soluciones acidificadas.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en recipientes herméticamente cerrados en lugar fresco y seco debidamente rotulados. No exponerlos a la radiación solar directa.
Embalajes recomendados y no adecuados por el proveedor	No almacenar en envases de Zinc, Cobre o Aluminio.

Sección 8: Control de Exposición / Protección Especial

Medidas para reducir la posibilidad de exposición.	Los lugares de trabajo en los cuales se expone el Sulfhidrato de Sodio deben contar con una adecuada ventilación natural o forzada
Parámetros para control	Para H ₂ S. LPA: 20 ppm (28 mg/m ³). LLP: 10 ppm (14 mg/m ³).
Límites permisibles ponderado (LPP), absoluto (LPA) y temporal (LPT)	No regulado
Protección respiratoria	En condiciones normales no precisa protección respiratoria. Cuando se requiera utilice mascara de rostro completo con filtro de gases combinados aprobados por NIOSH/MSHA.
Guantes de protección	Utilice guantes de protección química de Acrilo.
Protección de la vista	Utilice lentes de seguridad
Otros equipos de protección	Botas de neopreno, traje de PVC cuando se manipule NaSH en escamas.
Ventilación	Debe existir natural o forzada en los lugares de trabajo del Sulfhidrato de Sodio.





Sección 9: Propiedades Físicas y Químicas

Estado físico	Líquido.
Apariencia y olor	Amarillo oro o verde oscuro. Por lo general olor a huevo podrido.
Concentración	40 – 44 % p/p en Solución.
pH concentración y temperatura	11,5 – 12,5
Punto de inflamación	LFL : 4% UFL : 44%
Límites de inflamabilidad	
T° de autoignición	No aplicable
Peligros de fuego o explosión	A medida que se aumenta la temperatura el Sulfhidrato de Sodio puede generar Sulfuro de Hidrogeno, gas inflamable.
Presión de vapor a 30 °C	17 mmHg a 68°F.
Densidad de vapor	1,17
Densidad a 20 °C	1,282
Solubilidad en agua y otros solventes	Completa.

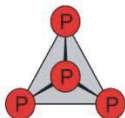
Sección 10: Estabilidad y Reactividad

Estabilidad	Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento.
Condiciones que se deben evitar	Evitar al contacto con ácidos fuerte, Cobre, Zinc, Aluminio o aleaciones. Evitar el calor excesivo.
Incompatibilidad (materiales que se deben evitar)	Cobre, Zinc, Aluminio y sus aleaciones.
Productos peligrosos de la descomposición	Al ser sobrecalentado se descompone produciendo humos tóxicos de anhídrido sulfuroso (SO ₂) y Oxido de Sodio (Na ₂ O)
Productos peligrosos de la combustión	El calor genera desprendimiento de gas ácido Sulfhídrico altamente toxico.
Polimerización peligrosa	No.

Sección 11: Información Toxicológica

Toxicidad a corto plazo	(LD ₅₀) : 0,5 – 5 g/Kg.
Toxicidad a largo plazo	No se conoce antecedentes.
Efectos locales o sistémicos	Irritación en piel y mucosas causadas por corrosividad.
Sensibilización alérgica	No se conoce antecedentes.





Sección 12: Información Ecológica

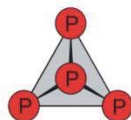
Inestabilidad	Estable.
Persistencia / degradabilidad	No se conoce antecedentes.
Bio-acumulación	No se conoce antecedentes.
Efectos sobre el medio ambiente	Peligroso para la vida acuática.

Sección 13: Consideraciones sobre Disposición Final

Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para disponer de la sustancia, residuos, desechos	Los contenedores con restos de producto deben ser dispuestos en vertederos autorizados para tal efecto.
Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para eliminación de envases / embalajes contaminados	Pueden quemarse en instalaciones destinadas para tal efecto.

Sección 14: Información sobre Transporte

Terrestre por carretera o ferrocarril	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Solución de Sulfhidrato de Sodio.
	GRUPO DE EMPAQUE	II
Vía marítima	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Solución de Sulfhidrato de Sodio.
	GRUPO DE EMPAQUE	II
	PAGINA IMDG	
Vía aérea	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Solución de Sulfhidrato de Sodio.
	INSTRUCCIONES CAO	
	GRUPO DE EMPAQUE	II
Distintivos aplicables NCh 2190		
Nº NU.	2949	



Sección 15: Normas Vigentes

Normas internacionales aplicables	IMO / UN : Clase 8 / 2949
Normas nacionales aplicables	N Ch 382; N Ch 2190; D.S. 298; NCh 2245
Marca en etiqueta	<u>CORROSIVO</u>

Sección 16: Otras Informaciones

Uso específico	Reactivo utilizado en procesos de minería, pulpa de papel, fabricación de colorantes, desulfurización de rayón y celofán; aplebrado y blanqueado de cuero
Frases de riesgo (R)	Sustancia Corrosiva Peligrosa.
Frases de seguridad (S)	No mezclar el producto con soluciones aciduladas.

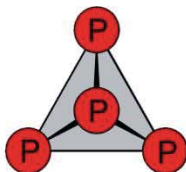
Nota: Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en el es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos esta fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

FOSFOQUIM S.A.



C.4 Hoja de datos de seguridad de Tiofos 80:20



FOSFOQUIM S.A.

AV. GENERAL O'HIGGINS N° 2165 - PADRE HURTADO - TALAGANTE - CHILE

TEL.: (56-2) 355 78 00 FAX: (56-2) 355 78 50

Página Web: www.fosfoquim.cl e-mail: fosfoquim@fosfoquim.cl

Hoja De Datos De Seguridad Productos Químicos

NCh 2245. Of.2003

Fecha de vigencia: Enero de 2008

REACTIVO TIOFOS 80-20

Sección 1: Identificación del Producto y del Proveedor

Nombre del producto	Reactivo Tiofos 80-20
Código Interno de la sustancia química	
Proveedor / fabricante / comercializador	Fosfoquim S.A.
Dirección	Av. General O'Higgins 2165, Padre Hurtado
Teléfono	(56-2) 355 7800
Fax	(56-2) 355 7850
e-mail	fosfoquim@fosfoquim.cl
Teléfono de emergencia en Chile	(56-2) 3557850 (56-9) Lunes a Viernes de 8:00 a 18:00 hr. (56-9) 8878067, (56-9) 6791188. CITUC: (56-2) 6353800.

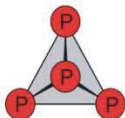
Sección 2: Información sobre la Sustancia o Mezcla

Composición	Este reactivo es una solución de Hidróxido de Sodio, Sulfuro de Sodio y Tiofosfato de Sodio, este último es un producto no restringido.
Nombre químico (IUPAC)	Sulfuro de Sodio
Fórmula química	Na ₂ S
Sinónimos	
N° CAS	1313-82-2
N° NU	1849
Nombre químico (IUPAC)	Hidróxido de Sodio
Fórmula química	NaOH
Sinónimos	Soda Cáustica
N° CAS	1310-73-2
N° NU	1824



DIRECTOR GERENTE : DR. FRANZISKUS HORN FEJA

Página 1 de 7
Vigencia:



Nombre químico (IUPAC)	Tiofosfato de Sodio.
Fórmula química	Na ₂ PSO ₃ + Na ₃ PS ₂ O ₂ + Na ₃ PS ₃ O + Na ₃ PS ₄
Sinónimos	
Nº CAS	
Nº NU	

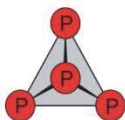
Sección 3: Identificación de los Riesgos

Marca en etiqueta NCh 2190	CORROSIVO SALUD: 3 INFLAMABILIDAD: 1 REACTIVIDAD: 1
a) Riesgos para la salud de las personas: Efectos de una sobre-exposición Aguda (por una vez)	No hay datos disponibles.
Inhalación	La inhalación de los vapores causa dolor de cabeza, náuseas, vómitos e irritación del tracto respiratorio y membranas mucosas.
Contacto con la piel	Causa irritación grave. Un contacto prolongado puede causar quemaduras químicas que deriven en dermatitis. Puede ocurrir absorción de NaSH por la piel.
Contacto con los ojos	Causa una irritación grave provocando una fuerte irritación ocular, con posibles daños en la córnea de carácter irreparable que empañaran la visión.
Ingestión	Causa quemaduras graves y corrosión de todo el tracto gastrointestinal, dolor en la garganta y abdomen, náuseas y vómitos seguidos de diarrea. En los casos más graves puede esperarse pérdida de conciencia, colapso y parálisis respiratoria. El contacto del material con el ácido del estómago causa la liberación de gas Sulfuro de Hidrogeno el que es altamente tóxico.
Efectos de una sobre-exposición Crónica (largo plazo)	No se conocen efectos por exposición prolongada al producto.
Condición médicas que se verán Agravadas con la exposición al producto	Las personas con afecciones respiratorias crónicas o con alteraciones al SNC no deben exponerse a los vapores del producto.
b) Riesgos para el medio ambiente	En altas concentraciones puede ser peligroso para la vida acuática. Peligroso si entra a cursos de agua.
c) Riesgos especiales del producto	El mayor peligro está en que el producto no debe entrar en contacto con ácidos, debido a que se produce la liberación inmediata de gas Sulfhídrico, de efectos letales rápidos. Puede reaccionar con agentes oxidantes; exposición al aire lo oxidará a Fosfato y Sulfato de Sodio.

Sección 4: Medidas de Primeros Auxilios

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con Inhalación	Tome a la persona afectada y llévela al aire libre. Si la respiración es débil o nula proporcione respiración artificial. Consulte asistencia médica de forma inmediata.
Contacto con la piel	Retire la ropa y calzado contaminado. Lave la zona afectada con abundante agua corriente. Si persiste la irritación consulte asistencia médica.
Contacto con los ojos	Lave inmediatamente con abundante agua por un mínimo de 15 minutos incluyendo bajo los párpados. Lleve inmediatamente al afectado a la asistencia médica.
Ingestión	Si la persona esta consciente, de a beber agua. No induzca al vomito. Consulte asistencia médica de forma inmediata.
Notas para el médico tratante	No hay antídoto específico. Tratamiento sintomático.





Sección 5: Medidas para Lucha Contra el Fuego

Agentes de extinción	En caso de incendio se puede utilizar agua en forma de rocío, espuma, arena seca, dióxido de carbono o extintor químico.
Procedimientos especiales para combatir el fuego	El reactivos Tiofos 80-20 en sí no es inflamable. Sin embargo si es sometido a calor o ácidos desprende gases de ácido Sulhídrico el cual es altamente inflamable. Para combatir el fuego se debe usar grandes cantidades de agua o arena o tierra seca para ahogarlo. Refrigere los envases contenedores expuestos al fuego cuidando que no mojar los envases que se encuentren abierto. Nunca neutralice el reactivo Tiofos 80-20 con ácido
Equipo de protección personal para el combate del fuego	Utilice equipo de respiración autónoma, guantes de protección química, detector de gases (H ₂ S) y trajes protectores apropiados.

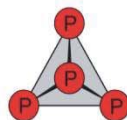
Sección 6: Medidas para Controlar Derrames o Fugas

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	Notifique inmediatamente a la brigada de emergencia del derrame. Remover las fuentes de calor e ignición. Proporcione una ventilación adecuada. No tocar el material derramado. Cubra con tierra o arena el material derramado, recójalo y guárdelo en contenedores tapados para luego disponerlos en lugares autorizados.
Equipo de protección personal para atacar la emergencia	Máscara de rostro completo con filtro de gases combinado, botas de Neopreno, guantes de protección química, traje de PVC y detector de gases (H ₂ S).
Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente	Si el derrame se produce en la tierra haga un dique alrededor del vertido para contenerlo y recoja el material derramado con la mayor rapidez posible. Poner en envases adecuados para su posterior recuperación o desecho Evite a toda costa que el derrame alcance cursos de agua o alcantarillas.
Métodos de limpieza	Los restos de producto derramado en la tierra deben ser absorbidos con material absorbente para luego ser dispuestos en contenedores abiertos para fomentar su desactivación. Los desechos del reactivo Tiofos 80-20 pueden ser enterrados en sitios autorizados o retirados por personal contratista autorizado. Ríjase por las regulaciones de los organismos normadores locales, estatales y municipales que correspondan.
Métodos de eliminación de desechos	Los desechos deben ser dispuestos en lugares autorizados para tal efecto.

Sección 7: Manipulación y Almacenamiento

Recomendaciones técnicas	Si el producto almacenado no se esta utilizando, mantenga el recipiente cerrado y alejado de las posibles fuentes de ignición. Mantenga ventilación adecuada.
Precauciones a tomar	Evitar el contacto directo con el producto utilizando guantes de protección química, lentes de seguridad, botas y trajes de goma.
Recomendaciones sobre manipulación segura, específicas	Evite en todo momento el contacto del producto con ácidos fuertes o soluciones acidificadas.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en recipientes herméticamente cerrados en lugar fresco y seco debidamente rotulados. No exponerlos a la radiación solar directa. Mantener el área de almacenamiento bien ventiladas ya sea natural o forzada.
Embalajes recomendados y no adecuados por el proveedor	No almacenar en envases de Zinc, Cobre o Aluminio.





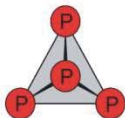
Sección 8: Control de Exposición / Protección Especial

Medidas para reducir la posibilidad de exposición.	Los lugares de trabajo en los cuales se expone el reactivo Tiofos 80-20 deben contar con una adecuada ventilación natural o forzada
Parámetros para control	Para H ₂ S. LPA: 20 ppm (28 mg/m ³). LLP: 10 ppm (14 mg/m ³).
Límites permisibles ponderado (LPP), absoluto (LPA) y temporal (LPT)	No regulado
Protección respiratoria	En condiciones normales no precisa protección respiratoria. Cuando se requiera utilice mascara de rostro completo con filtro de gases combinados aprobados por NIOSH/MSHA.
Guantes de protección	Utilice guantes de protección química de Acrilo.
Protección de la vista	Utilice lentes de seguridad.
Otros equipos de protección	Botas de neopreno, traje de PVC cuando se manipule NaSH en escamas.
Ventilación	En lo posible debe existir ventilación natural o forzada en los lugares de trabajo del Sulfhidrato de Sodio.

Sección 9: Propiedades Físicas y Químicas

Estado físico	Líquido.
Apariencia y olor	Líquido amarillo café.
Concentración	276 gr/l. a 20° C.
pH	13,2
Temperaturas específicas y/o intervalos de temperatura (ebullición).	103 °C. (Presión atm.)
Punto de inflamación	No tiene. Solución incombustible.
Límites de inflamabilidad	
T° de autoignición	260 °C (Para H ₂ S).
Peligros de fuego o explosión	El H ₂ S no es explosivo.
Presión de vapor a 30 °C	App. 13 mmHg.
Densidad de vapor	Dato no disponible.
Densidad a 20 °C	1,168 gr/cc.
Solubilidad en agua y otros solventes	Soluble en agua





Sección 10: Estabilidad y Reactividad

Estabilidad	El reactivo Tiofos 80-20 es una mezcla compleja, compuesta principalmente de diferentes Tiofosfatos de Sodio, Hidróxido de Sodio y Sulfuro de sodio, los cuales al entrar en contacto con ácidos, se genera H ₂ S que es un gas altamente tóxico con olor característico a huevo podrido. $\text{Na}_2\text{S} \xrightarrow{\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})} \text{NaHS} \xrightarrow{\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})} \text{H}_2\text{S}$
Condiciones que se deben evitar	Medios ácidos, agentes oxidantes, exposición al aire, fuente de calor y ignición.
Incompatibilidad (materiales que se deben evitar)	Cobre, Zinc, Aluminio y sus aleaciones.
Productos peligrosos de la descomposición	Se puede generar sulfuro de Hidrogeno gas altamente tóxico e inflamable.
Productos peligrosos de la combustión	El calor puede generar sulfuro de Hidrogeno gas altamente tóxico e inflamable
Polimerización peligrosa	No ocurre.

Sección 11: Información Toxicológica

Toxicidad a corto plazo	Peces (truchas) 450 u/1/8 horas, mortalidad.
Toxicidad a largo plazo	Mutación en microorganismos, Salmonella, Typhimurium.
Efectos locales o sistémicos	NaSH, en ratas 18 mg/kg. NaSH oral LD ₅₀ humano 30 mg/Kg.
Sensibilización alérgica	NaSH, en ratas, LD ₅₀ 200 mg/Kg; 67.500. ug/Kg/3 días.

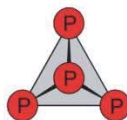
Sección 12: Información Ecológica

Inestabilidad	En presencia de ácidos puede liberar Sulfuro de hidrógeno gas tóxico e inflamable.
Persistencia / degradabilidad	El producto es degradado por la oxidación del aire a Fosfatos y Sulfato de Sodio.
Bio-acumulación	No tiene.
Efectos sobre el medio ambiente	El producto es tóxico para la vida acuática y peces, si es derramado en ríos o lagos.

Sección 13: Consideraciones sobre Disposición Final

Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para disponer de la sustancia, residuos, desechos	No botar los residuos al alcantarillado. Los residuos se pueden eliminar primeramente oxidando el Sulfhidrato de Sodio con Peróxido de Hidrogeno al 3 %, y luego neutralizar lentamente con ácido.
Métodos recomendados y aprobados por la normativa chilena para eliminación de envases / embalajes contaminados	Realizar previamente un triple lavado con agua y finalmente un lavado con peróxido de Hidrogeno al 1%.





Sección 14: Información sobre Transporte

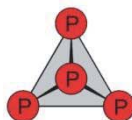
Terrestre por carretera o ferrocarril	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Reactivo TIOFOS 80-20.
	GRUPO DE EMPAQUE	II
Vía marítima	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Reactivo TIOFOS 80-20.
	GRUPO DE EMPAQUE	II
	PAGINA IMDG	
Vía aérea	CLASE DE RIESGO	8
	NOMBRE DE EMBARQUE	Reactivo TIOFOS 80-20.
	INSTRUCCIONES CAO	
	GRUPO DE EMPAQUE	II
Distintivos aplicables NCh 2190		
N° NU.	1849	

Sección 15: Normas Vigentes

Normas internacionales aplicables	IMO / UN : Clase 8 / 1849
Normas nacionales aplicables	N Ch 382; N Ch 2190; D.S. 298, NCh 2245
Marca en etiqueta	CORROSIVO

Sección 16: Otras Informaciones

Uso específico	El reactivo TIOFOS 80-20 es una solución de Hidróxido de Sodio y Sulfuro de Sodio, por lo cual en caso de emergencia debe ser considerado bajo el número UN 1849 .
Frases de riesgo (R)	Sustancia Corrosiva Peligrosa.
Frases de seguridad (S)	No mezclar el producto con soluciones aciduladas.



Nota: Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en el es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos esta fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

FOSFOQUIM S.A.

C.5 Hoja de datos de seguridad de Ácido Sulfúrico



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **ACIDO SULFURICO**
Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



ONU:
UN:1832



NFPA

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: ACIDO SULFURICO – H₂SO₄
Número CAS: 7664-93-9
Sinónimos: Acido de vitriolo, Acido fertilizante, Sulfato de Hidrogeno, Acido de batería.

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala: +502 66285858
El Salvador: +503 22517700
Honduras: +504 2540 2520
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
Costa Rica: +506 25370010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá: +507 5126182 – Emergencias 9-1-1
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú: +511614 65 00
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina +54 115031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

H ACIDO SULFURICO 7664-93-9 98% Acido Puro

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8, Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 2

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Por exposición aguda:

Inhalación: Es picante, produce irritación de la garganta, ojos, nariz, insuficiencia respiratoria, edema pulmonar con posibles severas consecuencias.

Ingestión: Es corrosivo, puede provocar quemaduras de la boca y traquea, perforación del esófago o estómago, erosión de los dientes, náuseas y vómito, erosión de los tejidos sanguíneos y posible muerte.

Contacto con los ojos: Es altamente corrosivo, puede provocar enrojecimiento, ardor, visión borrosa y quemaduras severas que resultan en shock y colapso.

Contacto con la piel: (contacto y absorción) Es corrosivo, produce enrojecimiento, ardor y quemaduras severas.

Información Complementaria: TLV/TWA: 1 mg/m³
IDLH: 80 mg/m³.

SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto Ocular:	Lave bien los ojos inmediatamente con abundante agua al menos durante 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente. Busque atención médica inmediata.
Contacto Dérmico:	Lave la piel inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos mientras se retira la ropa y zapatos contaminados. Busque atención médica inmediata.
Inhalación:	Trasladar a la víctima al aire fresco. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno. (Precaución: la respiración boca a boca puede exponer al que la da, al contacto con la sustancia presente en los pulmones y vómito de la víctima). Buscar atención médica inmediata.
Ingestión:	Administre grandes cantidades de agua si la víctima está consciente. No induzca al vómito. Busque atención médica inmediata.

SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Medio de extinción de incendios: El ácido reacciona violentamente con agua. En caso de usarse aplicarla en forma de neblina de agua.

Equipo de protección personal: El equipo debe evitar cualquier posibilidad de contacto de este producto con los ojos o la piel. Esto incluye botas, careta, goggles y ropa resistente a ácidos. Evitar el posible contacto con vapores de alta concentración en el aire. Para concentraciones desconocidas (50mg/m³) usar equipo de aire autónomo, mascarilla, canister.

Procedimientos y precauciones especiales en el combate de incendio: Use equipo antiácido completo y protección respiratoria. Combátalo a distancia o desde lugares protegidos. Evite usar chorro de

agua directo (puede salpicar y reacciona violentamente). Sólo use agua para mantener fríos los contenedores cercanos al fuego. De ser posible evite que el líquido alcance drenajes, ríos, etc., formando diques de arena o tierra.

Condiciones que conducen a otro riesgo especial: Fuentes de ignición cercanas. Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos generando calor.

Productos de la combustión nocivos para la salud: Vapores de combustión altamente tóxicos. Emite SO_2 y SO_3 . En contactos con metales genera H_2 , el cual es altamente explosivo.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Proceda con precaución, restrinja el área cercana al derrame. Use equipo de protección personal. Conténgalo con diques, pueden ser de tierra o de arena, evitando que alcance drenajes, ríos, etc. Manténgase a favor del viento. No se toque directamente. Opere con equipo de protección personal completo (ropa antiácida y equipo de protección respiratoria). El contacto con metales produce gas hidrogeno, el cual es potencialmente inflamable y explosivo. Trasvase de ser posible para su posterior disposición o neutralícelo con cal u otro material alcalino, hágalo con precaución, puede reaccionar violentamente.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Almacene en lugares frescos, manteniendo buena ventilación, sepárelo de combustibles o materiales reactivos, cloratos, fulminatos, nitratos, metales, explosivos. Es importante mantenerlo resguardado con diques de ladrillo antiácido; para contención se almacena en recipientes de acero al carbón. Use su equipo de protección respiratoria y ropa antiácido cuando opere con él. En caso de reparaciones en tanques de acero al carbón que hayan contenido ácido sulfúrico, efectuar la prueba de explosividad, usando el explosímetro especial para gas hidrógeno, ya que éste gas puede estar presente y causar explosión.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

Protección respiratoria: Mascarilla para vapores ácidos / línea de aire respirable.

Protección de los ojos y rostro: Goggles, careta facial con lentes o capucha antiácida completa.

Protección de la piel: Guantes de neopreno o PVC.

Otros: Botas de hule, equipo completo antiácido. A concentraciones desconocidas o arriba de 50 mg/m^3 , en caso de incendio, utilice equipo de respiración autónomo.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Temperatura de Ebullición:	330 °C
Temperatura de Inflamación:	No es inflamable
Temperatura de Autoignición:	No aplica
Densidad relativa (agua = 1):	1.84
Densidad de vapor (aire = 1):	No registrado
Peso molecular:	98.1

Color:	Incoloro
Olor:	Irritante característico
Solubilidad en el agua:	Muy soluble
Presión de vapor (mm Hg) a 20 °C:	0.001 Puede emitir humos
Limites de inflamabilidad:	No es explosivo

Otros datos: Líquido viscoso, incoloro, higroscópico. Este ácido es un fuerte oxidante, reacciona violentamente con combustible. Cuando se disuelve en agua es un ácido fuerte que reacciona violentamente con las sustancias caústicas y es corrosivo. Reacciona con muchos metales formando gas inflamable (Hidrógeno). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos generando calor, ataca la ropa, madera y otros materiales (carbonizándolos).

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Sustancia:	Estable
Condiciones a Evitar:	Contacto con todos los metales, oxidantes, álcalis fuertes, cloratos, nitratos, acetocianhidrina, acetona y otros compuestos orgánicos.

SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).
TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).

SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE

Movilidad o Dispersión:	Producto altamente soluble en agua.
Persistencia / Degradabilidad:	Producto mineral reactivo / no degradable
Bioacumulación:	No bioacumulable
Ecotoxicidad:	En general pH de 5 o menos es mortal.

SECCION 13 :CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos:	Tratar según legislación vigente
Eliminación de envases:	Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 :INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

ONU
UN: 1832
Corrosivo

SECCION 15 :INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto Nº 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200


SECCION 16 :INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

CONTROL DE REVISIONES Y CAMBIOS DE VERSIÓN:

Agosto 2014. Se actualizan las secciones 1, 15 y 16.

C.6 Hoja de datos de seguridad de Nitrógeno

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
	N° 004

1.- IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

PRODUCTO	PROVEEDOR:	Linde Gas Chile S.A.
NITROGENO GASEOSO	CONSULTA DE EMERGENCIA	☎ 800 800 242
	CONTACTO:	Fax 56-2-5311447 callcenter@linde-gas.com

2.- COMPOSICION / INGREDIENTES

Nombre del Producto:	NITROGENO GASEOSO	 
Nombre químico:	Nitrógeno	
Fórmula química:	N ₂	
Sinónimo:	Nitrógeno Comprimido / GAN	
NU:	1066	
CAS:	7727-37-9	

3.- IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta	Clasificación de riesgo del producto
GAS COMPRIMIDO NO-INFLAMABLE	2.2
A. PELIGROS PARA LA SALUD DE LAS PERSONAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Efectos de una sobre exposición aguda: Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de O₂ • Inhalación: Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de O₂ • Contacto con la piel: No existe peligro (salvo por salida de gas a alta presión) • Contacto con los ojos: No existe peligro (salvo por salida de gas a alta presión) • Ingestión: No aplicable • Efectos de una sobre exposición crónica: No aplicable • Condiciones médicas que se agravan con exposición al producto: Personas que tengan enfermedades que puedan ser agravadas debido a la exposición de nitrógeno gaseoso, no deben estar autorizadas para trabajar con él. 	
B. PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE: No aplicable	
C. PELIGROS ESPECIALES DEL PRODUCTO: Gas inerte, desplaza el oxígeno.	

4.- PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Refirar a la persona a un lugar bien ventilado, si es necesario aplicar respiración artificial.

Contacto con la piel: No aplicable

Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua tibia. Trasladar a Centro Asistencial.

Ingestión: No aplicable

Nota para el médico tratante: Asfixia es debido a insuficiencia de oxígeno.

5.- MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA EL FUEGO

Agente de extinción: No aplicable

Procedimientos especiales para combatir el fuego: En el caso de incendio, enfriar los cilindros con abundante agua desde un lugar protegido, ya que existe riesgo de sobrepresión. Contactar al proveedor.

Equipo de protección personal para combate del fuego: No aplicable

6.- MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medida de emergencia si hay derrame: Evacuar al personal del área, si es posible cortar el suministro principal. Contactar al proveedor.

Equipo de protección personal para emergencia: Equipo de respiración autónoma o línea de aire comprimido.

Precauciones para evitar daños en el ambiente: No aplicable

Métodos de limpieza: No aplicable

Método de eliminación: No aplicable

7.- MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Recomendaciones técnicas: Almacenar en cilindros autorizados.

Precauciones a tomar: Utilizar producto en áreas bien ventiladas, no permitir que la temperatura ambiente sobrepase 52°C. Evitar que los cilindros queden almacenados por mucho tiempo sin utilización. Devolver con presión residual de 25 psi.

Recomendaciones sobre manipulación: Los cilindros deben ser operados de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Usar equipamiento compatible con el producto. No remover caperuzas fijas.

Condición de almacenamiento: Almacenar separadamente los cilindros llenos y vacíos. Proteger contra daños físicos. Mantener los cilindros amarrados.

Embalajes recomendados y no adecuados: Solamente cilindros autorizados por el proveedor.

8.- CONTROL DE EXPOSICION/PROTECCION ESPECIAL

Medidas para reducir la posible exposición: Evitar fugas en equipos. Ubicar en área ventilada

Parámetro para control: Porcentaje de oxígeno presente > 18%

Límites permisibles ponderados y absoluto: No aplicable

Protección respiratoria: Equipo de respiración autónoma o línea de aire comprimido para situaciones de emergencia en lugares confinados.

Guantes de protección: Guantes de cuero.

Protección de la vista: Careta facial o lentes con protección lateral.

Otros equipos de protección: Zapatos de seguridad con punta de acero.

Ventilación: Ventilación adecuada en área de trabajo y almacenamiento.

9.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	:	Gaseoso
Apariencia y olor	:	Inodoro e incoloro
Concentración	:	99,8% mínimo
pH	:	No aplicable
Temperatura de descomposición	:	No aplicable
Punto de inflamación	:	No aplicable
Temperatura autoignición	:	No aplicable
Propiedades explosivas	:	No aplicable
Peligro de fuego o explosión	:	No aplicable
Velocidad de propagación de la llama	:	No aplicable
Presión de vapor a 20°C	:	No aplicable
Densidad del gas 21°C/1 atm.	:	1.161 Kg/m ³
Solubilidad en agua	:	0,023 (a 0°C)

10.- ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	:	Estable
Condiciones que deben evitarse	:	No aplicable
Incompatibilidad, materiales que deben evitarse	:	No aplicable
Productos peligrosos de la descomposición	:	No aplicable
Productos peligrosos de la combustión	:	No aplicable
Polimerización peligrosa	:	No aplicable

11.- INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda	:	No aplicable
Toxicidad crónica y de largo plazo	:	No aplicable
Efectos locales	:	No aplicable
Sensibilidad alérgica	:	No aplicable

12.- INFORMACION ECOLOGICA

Inestabilidad	:	Estable
Persistencia/degradabilidad	:	No aplicable
Bio-acumulación	:	No aplicable
Efectos sobre el ambiente	:	No aplicable

13.- CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION FINAL

Método de eliminación del producto (residuos)	:	Sólo el proveedor está autorizado para eliminar producto (residuos).
Eliminación envases/embalajes contaminados	:	Devolver el envase claramente identificado. Sólo el proveedor está autorizado para eliminar envases, embalajes contaminados.

14.- INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

NCh 2190, marcas aplicables	:	Gas Comprimido No Inflamable
N° NU	:	1066

15.- NORMAS VIGENTES

Normas nacionales aplicables	:	NCh 1025.Of90 – NCh 1411/4 .Of78 – NCh 2190.Of2003 – NCh 2120/2.Of2004 – NCh 2245.Of93 – NCh 2169.Of91
Marca en etiqueta	:	Gas Comprimido No Inflamable

16.- OTRAS INFORMACIONES

Código de Riesgo de NFPA: Salud: 3, Inflamabilidad: 0, Reactividad: 0, Riesgos Especiales: No Hay

Los datos consignados en esta Hoja Informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en él es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.