

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y Motivación	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Solución del problema.....	2
1.4. Objetivos	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos específicos	2
1.5. Alcances.....	3
1.6. Metodologías y Herramientas utilizadas	3
2. DESARROLLO DEL TEMA	4
2.1. Marco Teórico	4
2.2. Metodología	20
Equipos	20
Materiales	24
Procedimiento	26
2.3. Resultados y Análisis	36
2.4. Discusiones	56
3. CONCLUSIONES.....	59
4. REFERENCIAS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Esquema de un circuito típico de lixiviación en pilas de sulfuro de cobre (Petersen, 2015).	4
Figura 2. 2 Comparación de la percolación de la solución en mineral aglomerado frente a mineral no aglomerado (Dhawan et al., 2012).	5
Figura 2. 3 Pequeñas cantidades de aglomerante mantienen unidos a los aglomerados permitiendo que tanto las soluciones como los gases se filtren a través del mineral (Eisele et al., 2004).....	6
Figura 2. 4 Características importantes en la aglomeración de estuco de partículas finas de mineral en la superficie de una partícula de mineral gruesa, (A) estado inicial de partículas de mineral y reactivos, (B) mezcla de partículas de mineral, solución ácida y estuco con formación de puente líquido, (C) aglomerado metaestable, y (D) estructura de aglomerado estable final formada por la hidratación de las partículas de aglomerante de estuco (Dhawan et al., 2012).....	6
Figura 2. 5 Tambor aglomerador industrial (Bouffard, 2015).	10
Figura 2. 6 Aglomeración en cintas (Kawatra & Lewandowsky, 2009a).	10
Figura 2. 7 Aglomeración de disco (Kawatra & Lewandowsky, 2009a)	11
Figura 2. 8 Valores de k en cm/seg. (Angelone et al., 2006) (Elaboración propia).	14
Figura 2. 9 Tipos de aglomerados (Kodali et al., 2011).	15
Figura 2. 10 Mecanismos de unión física y química típica asistidas por aglomerantes químicos (Wang, 2020).	17
Figura 2. 11 Fuerzas de Van der Waals (Creación propia).....	18
Figura 2. 12 Un ejemplo de enlace de hidrógeno entre dos moléculas de agua (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).	19
Figura 2. 13 Tamizadora Ro-Tap RX 29-10 (Fuente: Amazon, 2020).....	21
Figura 2. 14 Tambor aglomerador (Kodali et al., 2011).	21
Figura 2. 15 Multímetro (Fuente: Amazon, 2020).....	22
Figura 2. 16 Permeámetro (Fuente: Gruposait, 2020).	22
Figura 2. 17 Separador de rifles y poruña (Peña, 2019).	23
Figura 2. 18 Imagen referencial de criba vibratoria (Directindustry, 2021).....	24
Figura 2. 19 Columnas de acrílico utilizadas en los ensayos (Peña, 2019).	25

Figura 2. 20 Soporte de madera y columna de PVC (Peña, 2019).....	25
Figura 2. 21 Distribución del tamaño de partícula del alimento para experimentos de aglomeración (Kodali, 2010).....	29
Figura 2. 22 Esquema de la prueba de Permeabilidad (Kodali, 2010).....	30
Figura 2. 23 Columnas cargadas con los aglomerados (Kodali, 2010).....	31
Figura 2. 24 Estrategia de mezclado.....	32
Figura 2. 25 Procedimiento experimental de prueba de remojo (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).	34
Figura 2. 26 Resultados de distribución de tamaño de partículas de los aglomerados (Kodali et al., 2011).	37
Figura 2. 27 Efecto del contenido de agua sobre el tamaño de los aglomerados (Kodali et al., 2011).	38
Figura 2. 28 Resultados de la prueba de permeabilidad (Kodali et al., 2011).....	38
Figura 2. 29 Concentraciones de cobre en PLS en función del tiempo para la lixiviación en columnas de aglomerados sin aglomerantes y aglomerados de estuco (Kodali et al., 2011).	39
Figura 2. 30 Comparación de recuperaciones de cobre de lixiviación en columnas de aglomerados (Kodali et al, 2011).....	40
Figura 2. 31 Resultado prueba de permeabilidad de la muestra M-1 en medio no saturado (Peña, 2019).	41
Figura 2. 32 Resultado prueba de permeabilidad de la muestra M-1 en medio saturado (Peña, 2019).	42
Figura 2. 33 Gráfico de dispersión extracción de cobre total versus permeabilidad (Peña, 2019).	44
Figura 2. 34 Análisis granulométrico.....	45
Figura 2. 35 Resultados de la prueba de remojo utilizando una gama de productos con carga iónica variable, categorizados según el rendimiento (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).....	47
Figura 2. 36 Resultados de prueba de remojo, categorizados según el rendimiento (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).....	48
Figura 2. 37 Resultados de la prueba de remojo utilizando una gama de productos de poliacrilamida con carga variable, categorizados según el rendimiento (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).....	48
Figura 2. 38 Ejemplo de ubicaciones de donantes de enlaces de hidrógeno en una cadena de poliacrilamida (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).....	49
Figura 2. 39 Ejemplo de la falta de ubicaciones donantes de enlaces de hidrógeno en una cadena de acetato de polivinilo (Kawatra & Lewandowsky, 2009b).....	50

Figura 2. 40 Efecto del tiempo de curado sobre la migración de finos utilizando varios agentes químicos (Eisele et al., 2010).....	51
Figura 2. 41 Conductividad hidráulica para los aglomerantes de mejor rendimiento (Eisele et al., 2010)	52
Figura 2. 42 Recuperaciones de cobre de columnas de lixiviación a largo plazo (Eisele et al., 2010).	53
Figura 2. 43 Distribución de tamaño de aglomerados a base de mineral de cobre de baja ley con varios contenidos de metacaolín (Chen et al., 2020).....	54
Figura 2. 44 Migración de finos para aglomerados a base de mineral de cobre de baja ley en diversos contenidos de metacaolín (Chen et al., 2020).....	54
Figura 2. 45 Tasas de permeabilidad de alimento, aglomerados y lecho mineral de grano grueso durante la lixiviación en columnas (Chen et al., 2020).....	55
Figura 2. 46 Extracciones de cobre de alimento, aglomerados y lecho mineral de grano grueso durante la lixiviación en columnas (Chen et al., 2020).....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Mineralogía de la muestra de alimento del mineral de cobre utilizado para los experimentos de aglomeración (Kodali et al., 2011) (Elaboración propia).....	29
Tabla 2. 2 Distribución del tamaño del mineral de cobre utilizado en experimentos (Kawatra & Lewandowsky, 2009b) (Elaboración propia).....	33
Tabla 2. 3 Resultados mineralógicos de una muestra de mineral de cobre ((Kawatra & Lewandowsky, 2009b)(Elaboración propia).....	33
Tabla 2. 4. Composición química del cobre (Chen et al., 2020).....	35
Tabla 2. 5 Condiciones de preparación de aglomerados a base de mineral de cobre (Chen et al., 2020).	36
Tabla 2. 6. Tiempo en función de la altura de la muestra M-1 en medio no saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	40
Tabla 2. 7 Parámetros prueba de permeabilidad de la muestra M-1 en medio no saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	41
Tabla 2. 8 Tiempo en función de la altura de la muestra M-1 en medio saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	42
Tabla 2. 9 Parámetros de prueba de permeabilidad de la muestra M-1 en medio saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	42
Tabla 2. 10 Valores de k y R de la muestra M-1 en medio saturado y no saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	43
Tabla 2. 11 Valores de k y K de la muestra M-1 en medio saturado y no saturado (Peña, 2019). (Elaboración propia).....	43
Tabla 2. 12 Leyes de RCC y RSC en los sondajes.....	45
Tabla 2. 13 Leyes para la pila 70/30.....	45
Tabla 2. 14 Conductividad Hidráulica.....	45
Tabla 2. 15 Tasa de curado y recuperación de cobre.....	46