



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERIA DE MINAS

“EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO Y GRANULOMETRÍA EN LA EXTRACCIÓN DE COBRE POR LIXIVIACIÓN DE UN MINERAL OXIDADO DE LA ZONA CERRO CORONA - CAJAMARCA 2016”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Almanzor Salazar Villanueva
Bach. Jesús Salvador Carmona Mantilla

Asesor:

Mg. Ing. Gary C. Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú
2016

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Limitaciones	14
1.5. Objetivos	15
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	15
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases Teóricas	18
2.2.1. <i>Estado natural del cobre</i>	18
2.2.1.1. <i>Mineral oxidado</i>	18
2.2.1.2. <i>Mineral sulfurado</i>	18
2.2.1.3. <i>Propiedades y usos del cobre</i>	18
2.2.2. <i>Lixiviación</i>	19
2.2.2.1. <i>Concepto de lixiviación</i>	19
2.2.2.2. <i>Métodos de lixiviación</i>	20
2.2.2.3. <i>Reactivos utilizados en la lixiviación</i>	20
2.2.2.4. <i>Química de la lixiviación de minerales de cobre</i>	21
2.2.2.5. <i>Principales reacciones químicas</i>	22
2.2.2.6. <i>Termodinámica de la lixiviación</i>	24
2.2.2.7. <i>Cinética de la lixiviación</i>	28
2.2.2.8. <i>Influencia de las características de las partículas</i>	29
2.2.3. <i>Lixiviación en Medio Ácido Sulfúrico</i>	29
2.2.4. <i>Granulometría</i>	31
2.2.4.1. <i>Propiedades de la granulometría</i>	32

2.2.4.2.	<i>Difusión hacia la superficie del sólido.</i>	34
2.2.5.	<i>Lixiviación por agitación</i>	36
2.2.6.	<i>Electro-deposición del Cobre.</i>	37
2.2.6.1.	<i>Electro-obtención</i>	37
2.2.6.2.	<i>Descripción General del Proceso</i>	38
2.2.6.3.	<i>Características del Diseño de Electrodo y Celdas.</i>	39
2.2.6.4.	<i>Parámetros Operacionales y Factores del Proceso.</i>	40
2.3.	Hipótesis.	41
CAPÍTULO 3. GENERALIDADES.		42
3.1.	Ubicación y accesos:	42
3.2.	Historia:	43
3.3.	Geología Regional	43
3.4.	Litología	44
3.5.	Tipos de Alteraciones en Cerro Corona	44
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA		45
4.1.	Operacionalización de las variables.	45
4.2.	Tipo de diseño de investigación.	46
4.3.	Material	47
4.3.1.	<i>Población.</i>	47
4.3.2.	<i>Muestra.</i>	47
4.3.4.	<i>Unidad de estudio.</i>	47
4.4.	Métodos	47
4.4.1.	<i>Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.</i>	47
4.4.2.	<i>Instrumentos para la investigación:</i>	48
4.4.3.	Preparación de la solución lixiviante	48
4.4.4.	<i>Tratamiento de datos:</i>	51
CAPÍTULO 5. RESULTADOS		52
5.1.	Resultados de las pruebas de Laboratorio Universidad Nacional de Trujillo.	52
5.2.	Resultados de las pruebas mediante lixiviación por agitación:	55

5.3.	Resultados del análisis variando las concentraciones de ácido sulfúrico y granulometría...	83
5.4.	Resultados de Análisis de Varianza (ANVA) de la Recuperación de Cobre	92
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN		94
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES		97
APÉNDICE.....		98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		103
ANEXOS.....		105

ÍNDICE DE TABLAS

Ídem	Pág.
Tabla 1. Composición de los minerales de cobre y su solubilidad Datos termodinámicos de las especies consideradas en el diagrama potencial -	22
Tabla 2. pH del sistema Cu - H ₂ O.	25
Tabla 3. Resumen de equilibrios químicos y electroquímicos considerados en el diagrama E - pH.	27
Tabla 4. Principales especies minerales de cobre de importancia económica, agrupadas según su ubicación aproximada en el yacimiento, con su composición química más frecuente	30
Tabla 5. Granulometría de las partículas sólidas	31
Tabla 6. Permeabilidad de los residuos mineros	33
Tabla 7. Variables generales de operación en EW	39
Tabla 8. Operacionalización de las variables independientes y dependientes.	45
Tabla 9. Plantilla de pruebas	46
Tabla 10. Condiciones de la prueba, malla 100 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	55
Tabla 11. Réplica N° 1. Información de la prueba. Malla 100 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	55
Tabla 12. Réplica N° 2. Información de la prueba. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	56
Tabla 13. Réplica N° 3. Información de la prueba. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	56
Tabla 14. Condiciones de la prueba, malla # 100 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %.	58
Tabla 15. Réplica N° 1. Información de la prueba. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	58
Tabla 16. Réplica N° 2. Información de la prueba. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	59
Tabla 17. Réplica N° 3. Información de la prueba. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	59
Tabla 18. Condiciones de la prueba. Malla # 100 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.	61
Tabla 19. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.	61
Tabla 20. Réplica N° 2, información de la prueba, granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.	62
Tabla 21. Réplica N° 3, información de la prueba, granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.	62
Tabla 22. Condiciones de la prueba, malla # 140 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	64
Tabla 23. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	64
Tabla 24. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	65
Tabla 25. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	65
Tabla 26. Condiciones de la prueba, malla # 140 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	67
Tabla 27. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	67

	Pág.
Ídem	
Tabla 28. Réplica N° 2, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	68
Tabla 29. Réplica N° 3, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	68
Tabla 30. Condiciones de la prueba, malla # 140 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	70
Tabla 31. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	70
Tabla 32. Réplica N° 2, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	71
Tabla 33. Réplica N° 3, información de la prueba, granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	71
Tabla 34. Condiciones de la prueba, malla # 200 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	73
Tabla 35. Réplica N° 1, Información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	73
Tabla 36. Réplica N° 2, Información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	74
Tabla 37. Réplica N° 3, Información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %	74
Tabla 38. Condiciones de la prueba, malla # 200 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	76
Tabla 39. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	76
Tabla 40. Réplica N° 2, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	77
Tabla 41. Réplica N° 3, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %	77
Tabla 42. Condiciones de la prueba, malla # 200 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	79
Tabla 43. Réplica N° 1, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	79
Tabla 44. Réplica N° 2, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	80
Tabla 45. Réplica N° 3, información de la prueba, granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %	80
Tabla 46. Síntesis de resultados	82
Tabla 47. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 100	83
Tabla 48. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 100	83
Tabla 49. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 100	83
Tabla 50. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 100	84
Tabla 51. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 100	84
Tabla 52. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 100	84
Tabla 53. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 100	85
Tabla 54. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 100	85
Tabla 55. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 100	85
Tabla 56. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 140	86
Tabla 57. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 140	86

Ídem	Pág.
Tabla 58. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 140	86
Tabla 59. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 140	87
Tabla 60. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 140	87
Tabla 61. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 140	87
Tabla 62. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 140	88
Tabla 63. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 140	88
Tabla 64. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 140	88
Tabla 65. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 200	89
Tabla 66. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 200	89
Tabla 67. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 1 % y granulometría malla # 200	89
Tabla 68. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 200	90
Tabla 39. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 200	90
Tabla 70. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 3 % y granulometría malla # 200	90
Tabla 71. Réplica N° 1. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 200	91
Tabla 72. Réplica N° 2. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 200	91
Tabla 73. Réplica N° 3. Concentración de ácido sulfúrico 5 % y granulometría malla # 200	91
Tabla 74. Recuperación de Cobre (%)	92
Tabla 75. Sumatorias de Ácido Sulfúrico y Granulometría	92
Tabla 76. Variables Análisis ANVA	92
Tabla 77. Suma de Cuadrados	93
Tabla 78. Análisis de Varianza ANVA para recuperación de Cobre	93
Tabla 79. Valores según de Fisher	93
Tabla 80. Resultado de Hipótesis	93
Tabla 81. Extracción de Cobre tratado a diferentes Concentraciones de Ácido sulfúrico y Granulometrías en pruebas de lixiviación por agitación.	99
Tabla 82. Sumatorias Y_i , Y_j y Y_{ij}	99
Tabla 83. Cuadro de resumen del análisis de varianza para la extracción de Cobre.	102
Tabla 84. Cuadro de cálculo de puntos porcentuales	102
Tabla 85. Tabla de distribución de Fisher	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Ídem	Pág.
Figura 1. Representación del equilibrio químico $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}_0$ ($[\text{Cu}^{2+}]=1 \text{ M}$)	26
Figura 2. Inestabilidad del ion Cu^+ por reacción de dismutación	26
Figura 3. Diagrama E-pH del sistema $\text{Cu} - \text{H}_2\text{O}$	27
Figura 4. Partícula reaccionando con difusión a través de una capa de productos	35
Figura 5. Mapa de Ubicación de cerro corona	42
Figura 6. Mapa de Geología Regional	43
Figura 7. Diagrama de bloques para el proceso de lixiviación	51
Figura 8. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %.....	57
Figura 9. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %.....	60
Figura 10. Granulometría 100 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.....	63
Figura 11. Granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %.....	66
Figura 12. Granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %.....	69
Figura 13. Granulometría 140 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.....	73
Figura 14. Granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 1 %.....	75
Figura 15. Granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 3 %.....	78
Figura 16. Granulometría 200 y Concentración de ácido sulfúrico 5 %.....	81
Figura 17. Concentración de Ácido Sulfúrico vs Recuperación de Cobre.	82

RESUMEN

Esta tesis pretende evaluar el efecto de la concentración de ácido sulfúrico y granulometría en la extracción de cobre por lixiviación a partir de un mineral oxidado de la zona Cerro Corona”. La Hipótesis a mayor concentración de ácido sulfúrico y menor granulometría, se obtendrá una mayor recuperación de Cobre mediante el proceso de lixiviación ácida por agitación; el tipo de estudio empleado es “experimental”.

Se eligió el diseño experimental bifactorial realizándose 3 niveles de Concentración de Ácido Sulfúrico (%): 1, 3 y 5 con tres niveles de Granulometría: #100, #140, #200, se realizó 3 réplicas para cada interacción; la presente tesis considera una población de mineral oxidado con alta ley de Cobre de la zona Cerro Corona; así mismo la muestra se tomó de diferentes puntos del cono que descarga el volquete, tanto de gruesos, semigruesos y finos, realizándose con la pala desde abajo hacia arriba hasta obtener una muestra aproximada de 100 Kg; esta muestra es triturada en una chancadora de mandíbula el mineral chancado se mezcla para asegurar su uniformidad de las partículas valiosas luego es extendido y se procede a cuartear, formando un círculo que se divide en cuatro partes iguales, de los cuales se toman dos cuartos opuestos al azar y los otros dos no tomados se descartan. Los dos cuartos que se han quedado se vuelven a cuartear hasta obtener una muestra final de que debe estar en 250 – 500 gr. Para la lixiviación por agitación.

Se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos: información secundaria (tesis, informes especializados, anuarios de empresas); para los análisis de datos se utilizó la carta geológica del INGEMMET; muestro aleatorio, se aplicó ensayos físicos y químicos en los laboratorios de la Universidad Nacional de Trujillo.

Como resultado principal se logró determinar los parámetros óptimos para la mayor recuperación de cobre, estos son una granulometría malla #140 y una concentración de ácido sulfúrico de 5 %, en la cual se obtuvo un valor de 94.40 %.

Se comprueba que la interacción de Concentración de Ácido sulfúrico y la Granulometría **si afecta** la recuperación de Cobre (Hipótesis Alterna).

Como resultado general de este estudio se determinó que el efecto de la concentración de ácido sulfúrico y la granulometría en la extracción de cobre por la técnica de lixiviación de un mineral oxidado de la zona Cerro Corona, el parámetro óptimo de concentración de ácido sulfúrico de 5%, y el parámetro óptimo de la granulometría es la malla # 140

ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the effect of sulfuric acid concentration and particle size in the extraction of copper leaching from an oxide ore zone Cerro Corona ". Hypothesis the higher the concentration of sulfuric acid and smaller particle size, higher copper recovery will be achieved by acid leaching process by stirring; the type of study used is "experimental".

1, 3 and 5 three levels of Grit: performing the experimental design bifactorial 3 levels of sulfuric acid concentration (%) chose # 100, # 140, # 200, 3 replicates for each interaction was performed; this thesis considers a population of high grade oxide ore Copper Cerro Corona area; likewise the sample was taken from different parts of the cone unloading trucks, both thick, semigruesos and fine, performing with the shovel from the bottom up until a sample of approximately 100 Kg; this sample is crushed in a jaw crusher the crushed ore is mixed to ensure uniformity of the valuable particles is then extended and proceeds to cuartear, forming a circle divided into four equal parts, of which two opposite quarters are taken random and not taken the other two are discarded. The two rooms have been re-quartering to obtain a final sample should be 250-500 gr. For agitation leaching.

The following data collection techniques were used: secondary information (thesis, specialized reports, yearbooks companies); for geological data analysis was used INGEMMET letter; random sampling, physical and chemical tests applied in the laboratories of the National University of Trujillo.

The main result was possible to determine the optimum parameters for the highest recovery of copper; these are a mesh particle size # 140 and a sulfuric acid concentration of 5 %, in which a value of 94.40% was obtained.

It is found that the interaction of sulfuric acid concentration and the particle size does affect the recovery of copper (Alternate Hypothesis).

As a result of this study it was determined that the effect of sulfuric acid concentration and the grain size in the copper extraction by leaching technique of oxide ore zone Cerro Corona, the optimum parameter sulfuric acid concentration of 5 %, and the optimum parameter is the grain size # 3 %esh

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas, G. C. (04 de septiembre de 2007). *slide share*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/JoseMiguelAliaga/hidrometalurgia-14225553>
- Beckel, J. (21 de mayo de 2000). El proceso hidrometalurgico de lixiviacion en pilas y el desarrollo de la minera cuprifera en chile. "MINERIA, LOCALIZACION INDUSTRIAL, CONCENTRACION INDUSTRIAL, ANALISIS INSUMO PRODUCTO, INNOVACIONES INDUSTRIALES, EXPLOTACION DE RECURSOS, INVESTIGACION Y DESARROLLO", 61.
- Broggi, I. (21 de abril de 2015). *Blog de Hidrometalurgia y lixiviación*. Obtenido de <https://hydrometallurgyperu.wordpress.com/2015/04/21/hidrometalurgia-del-cobre/>
- Chang, R. (210). *quimica*. MEXICO: Mgraw Hill.
- Cortez, f. (18 de 01 de 2013). *Introduccion-de-catodos-mediante-la-aplicacion-de-la-tecnologia-actual-para-extraccion. lixiviacion de cobre*. Recuperado el 20 de 07 de 2016, de <http://docplayer.es/9526071-Introduccion-de-catodos-mediante-la-aplicacion-de-la-tecnologia-actual-para-extraccion.html>
- Mihovilović, E. M. (2001). *HIDROMETALURGIA "Fundamentos procesos y aplicaciones"*. ISBN: Andros Impresores Ltda., 2001.
- Ortíz, A. (2012). *Lixiviación ácida de minerales oxidados de cobre (Crisocola) con poca disolución de Fe al utilizar KHSO4*. México D.F.: Universidad Autónoma Nacional de México.
- Ralfaro. (03 de 09 de 2008). *Conceptos_de_lixiviación_de_minerales. proceso de lixiviacion de minerales de cobre*. Recuperado el 20 de 07 de 2016, de academia: https://www.academia.edu/6896709/Conceptos_de_lixiviaci%C3%B3n_de_minerales
- Sordonez. (23 de setiembre de 2003). *Microsoft Word - 15.0 Hidrometalurgia.doc*.
- Surco, M. (2012). *Optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Sutulov, A. (1963). *Flotación De Minerales*. Concepción, Chile.