



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE MINERAL OXIDADO Y CONCENTRACIÓN DEL LIXIVIANTE EN EXTRACCIÓN DE ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN EN COLUMNA, SAYAPULLO - LA LIBERTAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. JEANPIERRE JHANMARCO ALAYA MISAHUAMÁN

Asesor:

Mg. JUAN ANTONIO VEGA GONZÁLEZ.

Cajamarca – Perú

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	IX
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE ANEXOS	X
INDICE DE IMAGENES	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases teóricas.....	17
<i>Minerales.....</i>	<i>17</i>
<i>Hidrometalurgia.....</i>	<i>20</i>
<i>Lixiviación.....</i>	<i>22</i>
<i>Cianuro.....</i>	<i>31</i>
<i>Cianuro libre.....</i>	<i>35</i>
<i>Efecto del pH en la cianuración de oro.....</i>	<i>36</i>
<i>Complejos de cianuro.....</i>	<i>37</i>
<i>Cinética de la lixiviación:.....</i>	<i>38</i>
<i>Mecanismo de la Cianuración.....</i>	<i>38</i>
<i>Efecto del Oxígeno.....</i>	<i>39</i>
<i>Efecto del tamaño de partícula en la disolución del oro.....</i>	<i>40</i>
<i>Efecto de la Concentración de Cianuro.....</i>	<i>40</i>
<i>Efecto del potencial electrodo (Eh) y el pH.....</i>	<i>41</i>
<i>Dstrucción del cianuro.....</i>	<i>42</i>
<i>Métodos para la Degradación del Cianuro.....</i>	<i>42</i>
<i>Sandioss.....</i>	<i>43</i>
2.3. Definición de términos básicos	45
2.4. Hipótesis	47
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	48
3.1. Operacionalización de variables	48

3.2.	Diseño de investigación	49
	<i>Según el propósito: Aplicada</i>	<i>49</i>
	<i>Según el diseño de investigación: Experimental.</i>	<i>49</i>
	<i>Según el diseño de investigación experimental: Experimental pura</i>	<i>49</i>
3.3.	Unidad de estudio	51
3.4.	Población	51
3.5.	Muestra	51
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	51
	<i>Técnica de recolección de datos</i>	<i>51</i>
	<i>Instrumentos y materiales.</i>	<i>52</i>
	<i>Procedimiento de recolección de datos</i>	<i>55</i>
3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	61
	<i>Métodos.....</i>	<i>61</i>
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....		65
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....		102
CONCLUSIONES.....		105
RECOMENDACIONES.....		106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107
ANEXOS.....		108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido de HCN en función del pH.....	35
Tabla 2: Elementos de Complejos de Cianuro y Rango de Concentración.....	37
Tabla 3: Operacionalización de las variables independientes y dependientes.	48
Tabla 4: Variables del diseño experimental.	50
Tabla 5: Factores y niveles de diseño experimental.....	50
Tabla 6: Diseño experimental trifactorial para el porcentaje de extracción de oro	50
Tabla 7: Variable paramétricos de las pruebas de lixiviación en columna	62
Tabla 8: Orden de prueba del diseño experimental trifactorial	63
Tabla 9: Resultado de ensayo al fuego y análisis de cobre, del mineral estudiado tipo óxido.....	65
Tabla 10: Resultados de la matriz de un diseño trifactorial para el porcentaje de extracción de oro	65
Tabla 11: Resultados de la prueba de lixiviación en botellas con cianuro de sodio que cada cierta hora se iba acumulando.	66
Tabla 12: Condiciones en la cual se traba la prueba para lixiviación en botella del lixivante cianuro de sodio	66
Tabla 13: Resultado de consumo de reactivos de la prueba de lixiviación en botella del lixivante cianuro de sodio.	67
Tabla 14: Resultado de extracción de oro de las pruebas en botellas del tipo de lixivante cianuro de sodio	67
Tabla 15: Resultados de la prueba de lixiviación en botellas con sandioss que cada cierta hora se iba acumulando	68
Tabla 16: Condiciones en la cual se trabaja la prueba para lixiviación en botella del lixivante sandioss	68
Tabla 17: Resultado de consumo de reactivos de la prueba de lixiviación en botella del lixivante sandioss.....	69
Tabla 18: Resultado de extracción de oro de las pruebas en botellas del tipo de lixivante sandioss	69
Tabla 19: Parámetros de prueba y los datos de columna para desarrollar la prueba de lixiviación en columna con un tipo lixivante cianuro de sodio a una concentración de 700 ppm	70
Tabla 20: Resultados de la prueba de lixiviación en columna a una concentración de 700 ppm del tipo lixivante cianuro de sodio.....	71
Tabla 21: Resultados del consumo de reactivo y la extracción de Au de la granulometría, de la lixiviación en columna a una concentración de 700 ppm del tipo lixivante cianuro de sodio	72
Tabla 22: Parámetros de prueba y datos de columna para desarrollar la prueba de lixiviación en columna con un tipo lixivante cianuro de sodio a una concentración de 500 ppm	74
Tabla 23: Resultados de la prueba de lixiviación en columna a una concentración de 700 ppm del tipo lixivante cianuro de sodio.....	75

Tabla 24: Resultados del consumo de reactivo y la extracción de Au por granulometría, de la lixiviación en columna a una concentración de 500 ppm del tipo lixivante cianuro de sodio	76
Tabla 25: Parámetros de prueba y datos de columna para desarrollar la prueba de lixiviación en columna con un tipo lixivante sandioss a una concentración de 500 ppm	78
Tabla 26: Resultados de la prueba de lixiviación en columna a una concentración de 500 ppm del tipo lixivante sandioss.....	79
Tabla 27: Resultados del consumo de reactivo y la extracción de Au por granulometría, de la lixiviación en columna a una concentración de 500 ppm del tipo lixivante sandioss.....	80
Tabla 28: Parámetros de prueba y datos de columna para desarrollar la prueba de lixiviación en columna con un tipo lixivante sandioss a una concentración de 700 ppm	82
Tabla 29: Resultados de la prueba de lixiviación en columna a una concentración de 700 ppm del tipo lixivante sandioss.....	83
Tabla 30: Resultados del consumo de reactivo y la extracción de Au por granulometría, de la lixiviación en columna a una concentración de 700 ppm del tipo lixivante sandioss.....	84
Tabla 31: Resultados después de haber realizado las pruebas a diferente tamaño de partícula de mineral, a diferente concentración de lixivante y a diferente tipo de lixivante.....	86
Tabla 32: Porcentaje de extracción de Au a diferente tamaño de partícula de mineral.....	87
Tabla 33: Porcentaje de extracción de Au a diferente concentración de tipo.....	88
Tabla 34: Porcentaje de extracción de oro a diferente tipo lixivante.....	89
Tabla 35: Análisis de consumo de reactivo para los lixivante NaCN y Sandioss	90
Tabla 36: Consumo de reactivo a diferente concentración de lixivante.....	91
Tabla 37: Consumo de reactivo a diferente tamaño de partícula.....	92
Tabla 38: Consumo de cal a diferentes tipos de lixivante	93
Tabla 39: Consumo de cal a diferente tamaño de partícula de mineral	94
Tabla 40: Consumo de cal a diferente concentración de lixivante.....	95
Tabla 41: Porcentaje de extracción de Au a diferente concentración de lixivante y tipo de lixivante	96
Tabla 42: Porcentaje de extracción de Au a diferente tipo de lixivante y a diferente tamaño de partícula.....	97
Tabla 43: Porcentaje de extracción de Au a diferente concentración de lixivante y diferente tamaño de partícula de mineral.....	98
Tabla 44: Interacción en el porcentaje de extracción de oro a diferentes variables.....	99
Tabla 45: Interacción en el consumo de lixivante en la extracción de Au a diferentes variables.....	100
Tabla 46: Interacción en el consumo de cal en la extracción de Au a diferentes variables.....	101
Tabla 47: Costos comparativos entre los tipos de lixivante cianuro de sodio y sandios	127

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: Consumo de cianuro de sodio acumulado Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante cianuro de sodio a 700 ppm	72
Gráfico 4-2: Extracción de Au acumulado Vs tiempo acumulado en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante cianuro de sodio a 700 ppm	73
Gráfico 4-3: Consumo de cianuro de sodio acumulado Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante cianuro de sodio a 500 ppm	76
Gráfico 4-4: Extracción de Au acumulado Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante cianuro de sodio a 500 ppm	77
Gráfico 4-5: Consumo de sandioss acumulado Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante sandioss a 500 ppm.....	80
Gráfico 4-6: Extracción de Au acumulado Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante sandioss a 500 ppm.....	81
Gráfico 4-7: Consumo de sandioss Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante sandioss a 700 ppm	84
Gráfico 4-8: Extracción de Au Vs tiempo en la lixiviación en columna usando tipo de lixivante sandioss a 700 ppm	85
Gráfico 4-9: Porcentaje de extracción de Au a diferente tipo de granulometría para un mineral oxidado	87
Gráfico 4-10: Porcentaje de extracción de Au a diferente concentración de lixivante (ppm) para un mineral oxidado	88
Gráfico 4-11: Porcentaje de extracción de Au a diferente tipo lixivante para un mineral oxidado..	89
Gráfico 4-12: Consumo de reactivo a diferente tipo lixivante para un mineral oxidado.....	90
Gráfico 4-13: Consumo de reactivo a diferente tipo de concentración lixivante para un mineral oxidado.....	91
Gráfico 4-14: Consumo de reactivo a diferente tipo de granulometría para un mineral oxidado. ...	92
Gráfico 4-15: Consumo de cal a diferente tipo de lixivante para un mineral oxidado.....	93
Gráfico 4-16: Consumo de cal a diferente granulometría para un mineral oxidado	94
Gráfico 4-17: Consumo de cal a diferente concentración de lixivante para un mineral oxidado. ...	95
Gráfico 4-18 :Influencia de la concentración de lixivante y tipo de lixivante en la extracción de Au para un mineral oxidado.....	96
Gráfico 4-19: Influencia del tipo de lixivante y tamaño de partícula de mineral en la extracción de Au	97
Gráfico 4-20: Influencia de la concentración lixivante y tamaño de partícula de mineral	98
Gráfico 4-21: Resumen de los resultados del porcentaje de extracción de Au en diferentes variables.	99
Gráfico 4-22: Resumen de los resultados del consumo de lixivante en la extracción de Au a diferentes variables.	100

Gráfico 4-23: Resumen de los resultados del consumo de cal en la extracción de Au a diferentes variables.	101
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama: Secuencia de etapas físico – químicas de la Hidrometalurgia.	20
Figura 2: Gráfico de porcentaje de extracción en función al tiempo.....	23
Figura 3: Gráfico de Porción de la producción mundial del cianuro y utilización en minería	32
Figura 4: Gráfico del Equilibrio CN ⁻ y HCN en función del pH	36
Figura 5: Gráfico de representación esquemática de la disolución de oro en cianuro	39
Figura 6: Gráfico de Eh – pH para el sistema CN ⁻ - H ₂ O a 25°C	41
Figura 7: Diagrama Eh – pH para el sistema oro y aurocianuros	42
Figura 8: Diagrama de bloques de proceso o procedimiento experimental	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 (informe N° 156-2015-SUNAT/6C2000)	108
Anexo 2: MSDS cianuro de sodios según la empresa Barrick	110
Anexo 3: MSDS SANDIOSS	115
Anexo 4: Ubicación del distrito Sayapullo	121
Anexo 5: Ubicación de la Compañía Minera Sayapullo S.A.	121
Anexo 6: Cotización del precio de oro en un año.	122
Anexo 7: Cotización de sandios vía telefónica.....	123
Anexo 8: Cotización de costos del lixivante cianuro de sodio y transporte	124
Anexo 9: Cotización de costos de la cal y transporte.	125
Anexo 10: Imágenes de las descripciones de la elaboración de la investigación.	128

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: 200 kg de mineral a una granulometría de $\leq \frac{1}{4}$ ", de la mina Sayapullo	128
Imagen 2 : Realizando el cuarteo para un análisis de ensayo al fuego.....	128
Imagen 3: Cuarteando en la máquina de jones	129
Imagen 4: Espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP – OES).	129
Imagen 5: Prueba de percolación.	130
Imagen 6: Botellas con sandioss y cianuro de sodio, testigos y sacrificios	130
Imagen 7: Agregando rodamina.....	131
Imagen 8: Solución cambiada a color grosella ligeramente	131
Imagen 9: Recipiente con los sólidos luego de vaciar las botellas	132
Imagen 10: Luego de haber eliminado la húmeda.....	132
Imagen 11: Agregando cal y combinándolo con el mineral	133

Imagen 12: Solución agregada para iniciar el riego por goteo.	133
Imagen 13: Inicio del riego de cada columna.....	134
Imagen 14: Esperando que caiga la solución rica en los baldes.	134
Imagen 15: Extracción de 15 ml de cada solución rica de diferentes concentraciones y diferente lixivante.	135
Imagen 16: Se están secando los sólidos de las columnas luego de extraerlos la solución rica..	135
Imagen 17: Secando la aglomeración hecha de dos columnas.	136

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo mejorar la extracción de oro en un proceso de lixiviación por percolación, en este caso en columnas, utilizando la técnica de investigación experimental trifactorial, evaluando parámetros de lixivante, concentración de lixivante y la granulometría en la extracción de oro de un mineral oxidado de la de la Compañía Minera Sayapullo S.A., caserío de Huancajanga, distrito de Sayapullo, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad.

El lixivante Sandioss se presenta como una alternativa en la industria de la minería, es por lo cual se está utilizando este lixivante, lo cual ofrece una extracción similar a la extracción de oro tradicional por cianuro de sodio, lo que se puede afirmar que es el lixivante que reemplazará al cianuro de sodio.

La hipótesis de esta investigación es: A mayor tamaño de partícula de mineral y a mayor concentración de lixivante se obtendrá una mayor extracción de oro mediante lixiviación en columna, lo cual en los resultados obtenidos se tiene que a mayor concentración de lixivante y a la mayor granulometría la extracción de oro es más alta, que para los diferentes casos de concentración y tamaño de granulometría.

Las diferentes variables influyen den la extracción de oro, por ejemplo, los resultados obtenidos nos muestran que a 700 ppm la extracción es más alta, alcanzando a 92.12% y por ende el tipo lixivante también influye, en esta investigación los resultados al extraer oro son muy similar al trabajar con diferente tipo de lixivante.

Además, se logra hacer un cuadro comparativo de costos utilizando estos dos tipos de lixivante para extraer oro, la cual ustedes lo podrán lograr ver y analizar, pues en este resultado que se obtiene, el lixivante sandioss es más económico y es más amigable con el medio ambiente.

ABSTRACT

The aim of this research is about the improvement of the gold extraction by a column leaching process through percolation. In this case, we will use three – factors technique, testing the leaching parameters, leaching concentration and granulometry in the extraction of gold in oxidized mineral that was found in "Sayapullo" mining company S.A. It's located at Huancajanga village, Sayapullo town, in La Libertad city.

"Sandioss" leaching is shown as an alternative in the mining industry, that's why we are using this leaching which offers a similar extraction as the traditional extraction of the gold by sodium cyanide. So we can say that this leaching can replace the Sodium Cyanide.

The hypothesis of this research is: the bigger size of the particle and the higher concentration of leaching, the higher extraction of gold you have through column leaching. As a result of this, the higher concentration of leaching, the higher granulometry of gold extraction you have.

The different variables have influence on the extraction of the gold, for example, the obtained results show 700 ppm extraction is higher, reaching 92.12 %, therefore, the kind of leaching affects as well. To conclude, the results of gold extraction are similar to the use of different kind of leaching.

In addition, we made a comparative chart about costs between these kinds of leaching to extract gold, so you will be able to see and analyze, since this obtained result, the "Sandioss" leaching is cheaper and environmentally friendly.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá Cruz, E. B., Flores Corrales, A., & Beltran Alfonso, A. (s.f.). *manual de entrenamiento en concentración de minerales*.
- Aylmore, M. G., & Muir, D. M. (diciembre de 2001). Thiosulfate leaching of gold-a review. En M. G. Aylmore, & D. M. Muir, *minerals Engineering 14* (págs. 135 - 134). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/251460902>
- Chahuayo Meza, E. K., & Alejandro Marquez, A. B. (2012). *Estudio de optimización para mejorar la lixiviación cianurante de un mineral refractario de oro y plata conteniendo antimonio de la zona de Huampar Lima*. Huancayo.
- Chuquipoma Misari, F. S. (2010). *Metalúrgia del Oro*. Lima.
- Cianuro y procesos del oro*. (s.f.). Obtenido de Barrick: <http://barricklatam.com/cianuro-y-procesos-del-oro/barrick/2012-07-12/132039.html>
- Cotización de oro*. (30 de julio de 2017). Obtenido de commodities gold: <https://es.investing.com/commodities/gold-historical-data>
- Gaviria C., A. C., Restrepo B., O. J., & Bustamante R., M. O. (2007). *Hidrometalurgia Aplicada*. Medellín.
- Giudice, C. A., & Pereyra, A. M. (s.f.). *Protección de materiales*.
- González de Prada, R. (2013). *Clasificación de los Minerales Según su Composición*.
- INACAP. (s.f.). *Fundamentos de la Hidrometalurgia*.
- InterMet, C. (s.f.). *Minerales oxidados*.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. I. (2001). El manejo del cianuro en la extracción de oro. *Concejo Internacional de Metales y Medio Ambiente*.
- Mudder, T. I., Botz, M. M., & A. S. (1991). *Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes*.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *resolución Directoral N° 402 - 2014 - OEFA/DFSAI*. Lima.
- Pachón, J. C. (s.f.). *Protección Catódica*.
- Padierna León, J. C., & Zegarra Esquivel, Y. A. (2016). *RECUPERACIÓN DE ORO UTILIZANDO "SANDIOSS" COMO ALTERNATIVA AL "CIANURO DE SODIO" EN LA LIXIVIACIÓN ALCALINA POR AGITACIÓN DE MINERALES TIPO ÓXIDO, SULFURO Y CARBONÁCEO*. Trujillo.
- Procesos Hidrometalurgico en la Minería de oro, plata, cobre y uranio. (s.f.).
- Reyero, C., Morcillo, J. G., & Mercedes, C. (2004). *Los minerales*. Obtenido de Portal de Ciencias Experimentales: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/programas/minerales/index.htm>
- Ruiz, M. (2007). *Hidrometalurgia*. Chile: Departamento de Hidrometalurgia.
- sandioss*. (2013). Obtenido de <http://www.sandioss.com/xiwen/about.asp>
- Scott, J., & Ingles, J. (1981). *An Overview of Cyanide Treatment Methods*.
- Vega González, J. A. (2015). *Reporte de prueba metalurgica lixiviacion en botellas - 300 ppm Sandioss*. Trujillo.