



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DE LA FUERZA DE CIANURO EN LA SOLUCIÓN DE RIEGO Y LA SOLUCIÓN DE DRENADO DEL MINERAL PARA MANTENER CONSTANTE LA REPOSICIÓN DIARIA DE CIANURO DE SODIO EN EL PAD LIXIVIACIÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniería de Minas

Autores:

Iris Nohely Salazar Cacho  
Roxana Vanesa Pacheco Ccapa

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

La presente tesis la dedico con todo mi amor, cariño y admiración a mis padres Erasmo y Nancy, quienes son el pilar fundamental y fortaleza de mi vida; a mis hermanos Ericka e Italo, quienes son mi inspiración y modelo a seguir; a mis abuelas, que con todo su cariño y amor incondicional me enseñaron el valor de la vida. Dedicarles este tan anhelado trabajo es para mí la más grande satisfacción.

Iris

Dedico la presente tesis a mis padres Cleofé y Obdulio, por su incondicional apoyo en todo momento de la carrera, por sus palabras, su esfuerzo y sobre todo por creer siempre en mí. Adicionalmente a mis hermanos: Pedro Luis, por su atención, sus alientos y su transparente mirada que causa gran motivación en mí, que es el de continuar; a Jonathan porque gracias a su forma de ser, siempre me impulsó a seguir creciendo. En resumen dedico mi tesis a mi familia.

Roxana

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme culminar una meta más en mi vida profesional. Agradezco a mis padres por todo el apoyo, consejos, amor y fortaleza que me brindan día a día. A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, brindándome consejos y soporte para continuar en cada meta trazada. A mi asesor, Ing. Víctor E. Álvarez León, por el apoyo brindado, por su valiosa orientación y asesoría que permitieron hacer posible este proyecto. A mis profesores, quienes compartieron sus valiosos conocimientos con sus alumnos, y así aportar a nuestro desarrollo profesional.

Iris

En primer lugar agradezco a Dios, por brindarme salud y bienestar, a mis padres por su infinito amor y comprensión, quienes desde un principio me apoyaron con la decisión de estudiar y residir en Cajamarca, a mis hermanos por su confianza. A la vez agradecer a mis compañeros de estudio que se volvieron mis amigos y con quienes compartí diversas experiencias gratas llenas de aprendizaje; a los docentes, decirles gracias por su paciencia y buen humor, y finalmente agradecer a la Universidad Privada del Norte, por integrarme y permitirme concretar ésta carrera universitaria.

Roxana

## Tabla de contenidos

|  |           |
|--|-----------|
| DEDICATORIA.....   | 2         |
| AGRADECIMIENTO.....  | 3         |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | 5         |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | 6         |
| RESÚMEN.....   | 7         |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>                                 | <b>8</b>  |
| 1.1. Realidad problemática .....                                     | 8         |
| 1.2. Formulación del problema .....                                  | 19        |
| 1.3. Objetivos .....   | 20        |
| 1.4. Hipótesis .....   | 21        |
| <b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>                                 | <b>22</b> |
| 2.1. Tipo de investigación.....                                      | 22        |
| 2.2. Población y muestra.....  | 22        |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos..... | 23        |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>                   | <b>33</b> |
| 6.1. Discusión .....   | 33        |
| 6.2. Conclusiones.....   | 35        |
| <b>REFERENCIAS .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>39</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. pH, fuerza y contenido de cianuro en la solución drenada del pad.....  | 26 |
| Tabla 2. pH, fuerza y contenido de cianuro en la solución de riego a pad. ....  | 27 |
| Tabla 3. Contenido de NaCN en la solución drenada y solución de riego a pad lixiviación.....                                    | 25 |
| Tabla 4. Comparativo de fuerza NaCN riego mineral y el riego calculado en función de la reposición real<br>de 1,500 kg. De NaCN | 30 |
| Tabla 5. Fuerza de NaCN para un consumo diario de 1,200 kg de NaCN (17/01/19 al 24/01/19).....                                  | 31 |
| Tabla 6. Fuerza de NaCN para un consumo diario de 1,500 kg de NaCN (01/01/19 al 16/01/19).....                                  | 32 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama general de la lixiviación de oro en pads.....  | 8  |
| Figura 2. Descarga de mineral en el pad lixiviación.....  | 9  |
| Figura 3. Dosificación de cal en la descarga de mineral en el pad.....  | 10 |
| Figura 4. Extendido y escarificado de mineral. Tendido de mangueras de riego.....   | 11 |
| Figura 5. Instalación de riego con solución cianurada (NaCN=250 ppm).....   | 11 |
| Figura 6. Disociación entre el HCN y el cianuro libre en función del pH en condiciones del.....<br>ambiente (a 25°C)                | 12 |
| Figura 7. Poza de solución rica (PLS) o poza de Operaciones.....  | 13 |
| Figura 8. Poza de solución intermedia (ILS) o poza Intermedia.....  | 14 |
| Figura 9. Pad Lixiviación y Plante de Procesos de recuperación de oro y plata.....  | 15 |
| Figura 10. Flow sheet del proceso de lixiviación en pilas.....  | 16 |
| Figura 11. Comparativo de fuerza NaCN riego mineral y el riego calculado en función de la.....<br>Reposición real de 1,500 kg NaCN. | 29 |

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general, evaluar la fuerza de cianuro en la solución de riego y la solución de drenado del mineral para determinar la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado y mantener constante la reposición diaria de NaCN en el pad de lixiviación. Se desarrolló una investigación de tipo Aplicada, del tipo Experimental con diseño pre-experimental. La población estuvo conformada por todas las soluciones de drenado y soluciones de riego de mineral del pad lixiviación de la Empresa Minera en estudio, mientras que la muestra la conformaron todas las soluciones de drenado y soluciones de riego de mineral del pad lixiviación durante el periodo del 1ro al 24 de Enero del 2019. Para comparar el contenido de NaCN en la solución drenada de pad y la solución de riego a pad, determinando la variación de Kg de NaCN/día en función del flujo diario tratado; se presentan tablas con la información de pérdida y reposición de cianuro de sodio. Los resultados indicaron que la solución drenada del pad lixiviación registra un pH promedio de 9.89, la fuerza de NaCN se reporta desde 190 a 215 ppm con un promedio de 202 ppm. La solución de riego del mineral registra un pH promedio de 10.84, la fuerza de NaCN se reporta desde 253 a 389 ppm con un promedio de 316.50 ppm. Por lo tanto existe una alta variación entre la que la fuerza de NaCN en la solución de riego reportada por laboratorio químico y la fuerza de NaCN calculada en función de la reposición y/o consumo de 1,500 Kg; pero a partir del 17/01/2019 se disminuyó el consumo a 1,200 kg haciendo que esta diferencia decrezca. Por lo tanto se concluye que la fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en el Pad (NaCN calculado) debería estar en 238.63 ppm de NaCN con un consumo de promedio de  $(238.63 - 203.63 = 35 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,200 Kg de NaCN.

**Palabras clave:** Fuerza de cianuro, solución cianurada, drenado, riego, pad, lixiviación.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El proceso de lixiviación en pilas permite utilizar yacimientos de baja ley siempre que la operación minera involucre una actividad a gran escala. La mena en bruto proveniente de la mina, o bien fragmentada mediante trituración, es conducida al área de lixiviación y ubicada en capas formando grandes pilas, las cuales son regadas superficialmente con soluciones químicas para extraer los minerales valiosos. En general, los terrenos utilizados como área de lixiviación son extensos y llanos. Sobre esta área se construye la plataforma de lixiviación y por encima de ésta se coloca un revestimiento impermeable, constituido generalmente por una geomembrana y capas de material, para aislar el terreno de fundación del proceso químico que se ejecutará por encima del mismo.

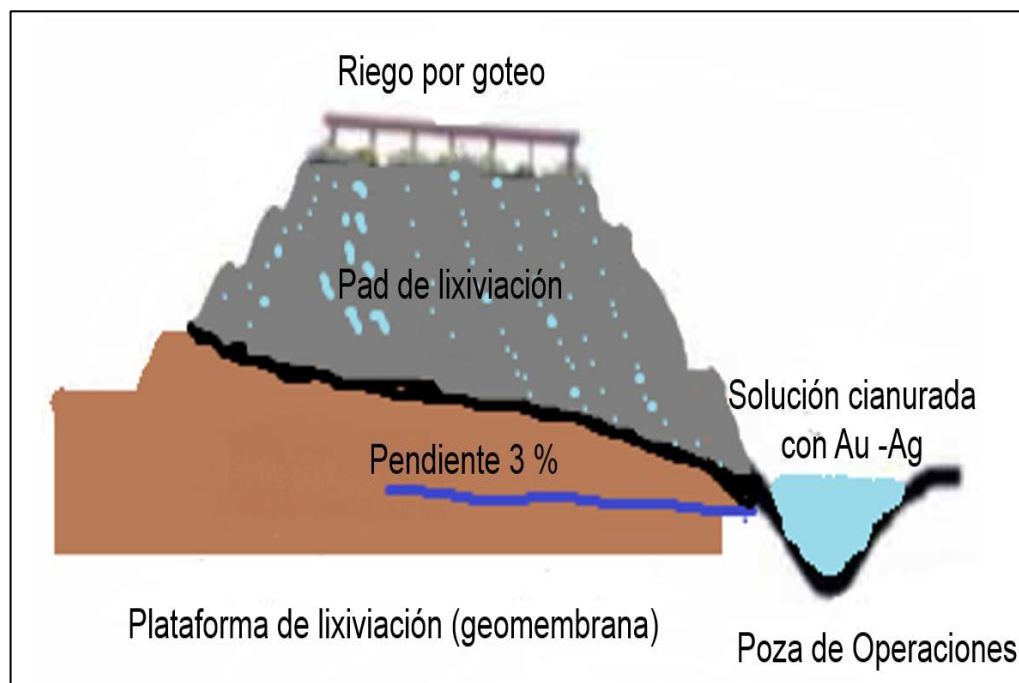


Figura 1. Diagrama general de la lixiviación de oro en pads

Fuente: Elaboración propia



El mineral de los tajos en la empresa Minera en estudio, después de haber realizado la voladura dicho mineral es fragmentado (ROM), luego es transportado en volquetes de 22 m<sup>3</sup> hacia Pad de Lixiviación, el cual es recepcionado por un cuadrador debidamente entrenado y autorizado en una determinada zona que corresponde a celda, sector y lift.

La lixiviación en pilas se lleva acabo con solución de cianuro de sodio (pH entre 10.5 y 11.5) para evitar pérdidas de cianuro por descomposición en gas cianhídrico (HCN). En el proceso de lixiviación se viene utilizando una fuerza de cianuro de sodio en la solución de riego de mineral de 250 ppm al inicio de la operación, esta concentración va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de lixiviación y el agotamiento del mineral. Los Parámetros de Operación que se manejan en la lixiviación son los siguientes:

- Altura de lift : 10 m
- Ciclo de riego : 60 días
- Tipo de riego : goteo
- Fuerza de NaCN : 250 ppm
- Ratio de riego: 12 L /h.m<sup>2</sup>
- Ratio de Cal: 0.400 Kg Cal/t mineral



Figura 2. Descarga de mineral en el pad lixiviación

Fuente: López, 2018.

El mineral a depositarse en Pad Lixiviación es de forma planificada en coordinación con las áreas de Planeamiento, Geología Mina, Mina y Planta, con la finalidad de cuantificar la cantidad del metal valioso ingresado al Pad para ser procesado y posteriormente realizar el balance metalúrgico y evaluar el % de extracción. El mineral básicamente está constituido por óxidos, con alteraciones de sílice (sílice masiva, sílice granular y sílice alunita), el cual presentan un pH natural aproximadamente entre 4 a 6, es por eso que tiene que dosificarse cal antes de la lixiviación para subir el pH entre 10.5 a 11. Constantemente en el Laboratorio Metalúrgico se tiene que estar realizándose pruebas de alcalinidad para obtener un ratio de cal (Kg cal/TM mineral) adecuado para la adición al mineral, cuando se realiza la descarga del mineral.



Figura 3. Dosificación de cal en la descarga de mineral en el pad  
Fuente: López, 2018.

El mineral descargado en Pad Lixiviación, después de haber sido muestreado para los análisis de Humedad y leyes, haberse agregado la cal, se realiza la actividad de extendido de mineral, de tal manera que se vaya ampliando y generando una plataforma para ser escarificado con un tractor de orugas con la finalidad de remover o descompactar el mineral, para luego proceder con la instalación de riego y presente una buena percolabilidad a la solución cianurada.



A

B

Figura 4. A. Extendido y escarificado de mineral. B. Tendido de mangueras de riego.

Fuente: López, 2018.

Después de escarificar una área de mineral, se procede a instalar la celda de riego, usando tuberías de 6" HDPE y mangueras de riego de 16 mm de diámetro con goteros, el cual la solución de riego (cianurada) percolará el mineral, lixivando el oro y la planta que se encuentran en tamaño microscópico en el mineral.



Figura 5. Instalación de riego con solución cianurada ( $\text{NaCN} = 250 \text{ ppm}$ )

Fuente: López, 2018.

El Cianuro de sodio  $\text{NaCN}$ , es una sal venenosa cuya característica física es la de un sólido de color blanco y en forma de briquetas o gránulos. Es muy estable en estado seco pero en estado húmedo se descompone lentamente, liberando gases de ácido cianhídrico ( $\text{HCN}$ ). En contacto con sustancias ácidas se forma gran cantidad de gas  $\text{HCN}$  que es invisible, de olor débil, inflamable y venenoso. (Christen, 1977)

En la figura 6, se muestra el equilibrio de disociación del  $\text{HCN}$  en función de pH. Se puede observar que a un pH cercano a 9.3, la mitad del cianuro total (50%) se encuentra como  $\text{HCN}$ , mientras el resto se presenta como cianuro libre ( $\text{CN}^-$ ). A pH 10.2, más del 90 % del cianuro total se encuentra como  $\text{CN}^-$  y a pH 8.4, sobre el 90% está como  $\text{HCN}$ . Esto es profundamente importante, ya que el cianuro a este pH se

volatiliza con facilidad en la superficie de las soluciones, en condiciones normales del ambiente, causando pérdidas importantes de cianuro en solución, con los consiguientes riesgos ambientales. Todo esto obliga a controlar cuidadosamente el pH operacional típicamente sobre pH 10.

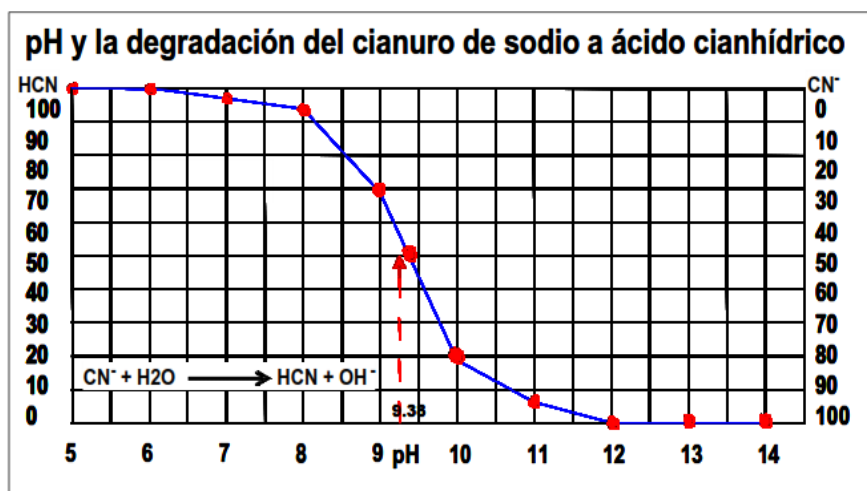


Figura 6. Disociación entre el HCN y el Cianuro libre en función del pH en condiciones del ambiente (a 25 °C).

Fuente: López, 2018.

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. La solución rica no debe tener un pH menor de 9.5, el que se debe mantener en el transcurso del proceso para no permitir la generación del ácido cianhídrico que es muy perjudicial para la salud (Christen, 1977). En nuestro caso la alcalinización la obtenemos con cal que es adicionada en el mineral después de la descarga del mineral en el pad.

Luego esta solución percola a través de la pila de mineral y es colectada por un sistema de tuberías de drenaje construido sobre la geomembrana de polietileno que cubre todo el piso de la plataforma de lixiviación; la solución de drenado llega a un

sistema de celdas de distribución que separa en función de las leyes de oro y plata, y es enviada a la poza de solución rica (PLS) de donde se bombea a la Planta Merrill Crowe y a la poza de solución intermedia (ILS).



Figura 7. Poza de solución rica (PLS) o Poza de Operaciones

Fuente: López, 2018.



Figura 8. Poza de solución intermedia (ILS) o Poza Intermedia.

Fuente: López, 2018.

La solución barren que sale de la Planta Merrill Crowe retorna al pad de Lixiviación, previa corrección de la fuerza de cianuro de sodio y pH, cerrando así el ciclo en circuito cerrado. El ciclo de lixiviación que se aplica en el pad es de 60 días, que garantiza una recuperación de oro del 90 %.

Se repone agua fresca en la solución de riego, utilizándose en este caso la solución intermedia (ILS) o agua de excesos de la poza de mayores eventos, lo cual dependerá del balance de aguas, que a su vez depende de factores meteorológicos como evaporación y precipitación pluvial, y de factores operativos como la altura del pad que afecta directamente en el porcentaje de retención por el mineral. Ver figura 7.

Terminado el ciclo de lixiviación se retira la red de tuberías de riego y con el ripper del tractor se realiza la remoción de la capa superior de la pila lixiviada, para adecuarla a un nuevo ciclo de apilamiento de mineral.

En la planta pad de lixiviación se contempla alta variación en el consumo diario de cianuro que ha llegado hasta 1500 kg/día, cálculo que no se ha evaluado hasta el momento el requerimiento óptimo. Ante la necesidad de determinar un requerimiento mensual y constante de este reactivo, se ha propuesto evaluar la fuerza de cianuro de la solución de drenado y la solución de riego del mineral, para luego implementar un mecanismo de mejora en la solución de riego que nos permita controlar la variación de la fuerza de cianuro de sodio.



Figura 9. Pad Lixiviación y Planta de procesos de recuperación de oro y plata.

Fuente: López, 2018.

El tipo de construcción del Pad en la Empresa Minera en estudio es de tipo Valle-Quebrada, sobre la cual se prepara el subrasante que viene a ser la superficie sobre la cual se colocará suelo importado, pudiendo ser esta superficie producto de una excavación o relleno.



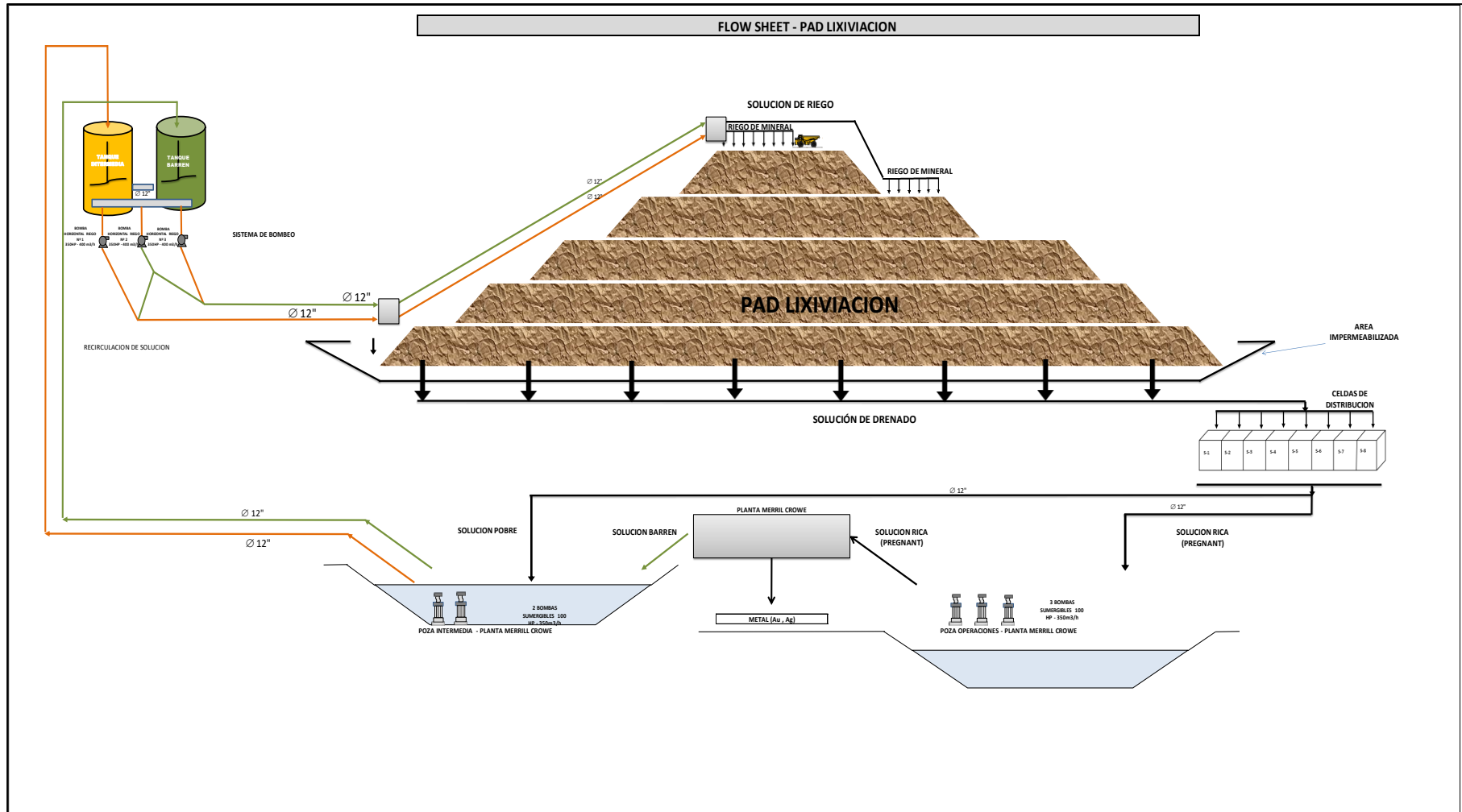


Figura 10: Flow sheet del proceso de lixiviación en pilas.  
Fuente: López, 2018

La fuerza de Cianuro de sodio, es la concentración de la solución de cianuro de sodio. La solubilidad del oro en una solución de cianuro, aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 50 ppm NaCN, crece rápidamente cuando contiene 100 ppm NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 2500 ppm NaCN. La proporción más eficaz es de 500 a 700 ppm NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 500 ppm NaCN y para menas de plata de 3000 ppm. Para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 3000 - 7000 (Christen, 1977).

(Mucha N., 2010) manifiesta que en la Mina Quicay de Cerro de Pasco, la lixiviación en pilas se lleva a cabo con solución alcalina de cianuro de sodio (manteniendo el pH entre 10.8 y 11.5) para evitar pérdidas de cianuro por descomposición en gas cianhídrico (HCN). La concentración de cianuro total en la solución lixivante es de 150 ppm al inicio de la operación, luego va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de lixiviación y el agotamiento del mineral.

Cuando se inicia el riego constante de un pad, la solución queda atrapada en el mineral, una parte en forma de películas delgadas de solución sobre las partículas, otra parte en las fisuras y porosidad de la roca y otra final en los pequeños intersticios dejadas entre las partículas; este es el momento de la máxima retención de solución que un lecho de mineral puede tener, la cual es particular para cada tipo de mineral y distribución granulométrica. La única forma en que este líquido salga del mineral será por evaporación. Cuando el mineral ha llegado a este punto, se llama % de humedad de saturación o de percolación, ya que si se continúa añadiendo

solución, ésta ya no podrá ser retenida y fluirá hacia la parte inferior del lecho. El porcentaje de saturación varía desde 10% hasta 50% dependiendo del tipo de mineral y su composición por tamaños o distribución granulométrica de éste, en nuestro caso de 12%. (Christen, 1977)

La solución de riego que percola a través de la pila de lixiviación disuelve todos los metales que se encuentren oxidados, incluso partículas de oro y plata microscópicos diseminados. Uno de los factores para que se produzcan variaciones del consumo de NaCN se debe a la formación de complejos cianurados de hierro (ferrocianuros), asimismo por la producción de un sulfuro auroso insoluble sobre la superficie del oro y la deposición de peróxidos. Otro factor importante es la degradación del cianuro por hidrólisis, el cual depende de la cantidad de álcali libre. Las concentraciones muy bajas de cianuro de sodio, menores a 10 ppm no disuelven oro. La velocidad de disolución del oro en solución de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a diluidas. Hay variaciones muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de disolución de oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados. Las variaciones incluyen factores como, la razón del volumen de la solución a la superficie del oro, y las mencionadas anteriormente. Si es empleado un gran Volumen de solución de cianuro y la superficie expuesta por el oro es relativamente pequeña y la agitación es suficientemente intensa para favorecer la difusión de los productos de la reacción, entonces el factor restrictivo que gobierna la velocidad de disolución del oro sería la concentración de oxígeno en la solución en contacto con el oro. (Vicuña, 2009).

En el pad lixiviación materia de estudio, durante el tiempo de regado se impone una tasa de flujo constante (1,040 m<sup>3</sup>/hora), sobre la plataforma superior y los taludes laterales de la capa. El modelo evoluciona en forma acoplada durante el regado. El ingreso de la solución de riego al interior de la pila provoca cambios en las presiones de aire y de líquido, los cuales producen cambios de tensión y succión. Los cambios de tensión y succión provocan cambios de volumen del material y del grado de saturación, afectando la permeabilidad y por consiguiente los flujos en el interior de la pila, que a su vez afectan la distribución de presiones, y así siguiendo, el modelo evoluciona hacia el equilibrio hidromecánico flujo-deformación en forma acoplada. (Delahaye, 2009).

El Coeficiente de Variación (CV) es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias. Walpole y Myers (2007)

La Media Aritmética o Promedio es aquella medida que se obtiene al dividir la suma de todos los valores de una variable por la frecuencia total. En palabras más simples, corresponde a la suma de un conjunto de datos dividida por el número total de dichos datos. Devore (2008)

## 1.2. Formulación del problema

En base a la problemática descrita se presenta la pregunta de investigación que nos guió en el desarrollo del estudio:

¿De qué manera es posible evaluar la fuerza de cianuro en la solución de riego y la solución de drenado del mineral, para determinar la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado para mantener constante la reposición diaria de cianuro de sodio en el pad de lixiviación?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la fuerza de cianuro en la solución de riego y la solución de drenado del mineral para determinar la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado y mantener constante la reposición diaria de NaCN en el pad de lixiviación.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar a través de monitoreos y mediciones analíticas de la solución de riego y drenado del pad de lixiviación, el pH, fuerza de NaCN y flujo descarga de solución durante el mes de Enero 2019.
- Comparar el contenido de NaCN en la solución de riego a pad y la solución de drenado de mineral para determinar la variación de Kg de NaCN/día en función del flujo diario tratado.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

Realizando un monitoreo diario en las soluciones cianuradas de riego y la solución de drenado del mineral, para analizar pH, fuerza de cianuro y flujo, se determina la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado, logrando mantener una reposición diaria de 1200 kg de NaCN.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- Realizando una medición analítica de la solución de riego y drenado del pad de lixiviación durante el mes de Enero 2019, se determinará el pH, fuerza de NaCN y con el flujo descarga de solución se determina la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado
- Evaluando el pH, fuerza de NaCN y flujo de solución drenado del pad versus la solución de riego de mineral del pad de lixiviación durante el mes de Enero 2019, se determinará la variación de Kg NaCN/día en función del flujo diario tratado.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación es Aplicada, del tipo Experimental con diseño pre-experimental. Sampieri (2010), menciona que “la investigación puede cumplir dos propósitos fundamentales: a) producir conocimiento y teorías (investigación básica) y b) resolver problemas prácticos (investigación aplicada). Por lo tanto el tipo de investigación es Aplicada.

El tipo de investigación es Experimental, debido a que es una situación de control en la cual se manipula de manera intencional la variable independiente de trabajo (fuerza de cianuro de la solución de drenado y la solución de riego del mineral) para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente (reposición diaria de cianuro de sodio) (Rubio, 2014).

El tipo de diseño es pre-experimental con estudio de caso con una sola medición:

No se asignan al azar los tratamientos y unidades de estudios. Un solo grupo de unidades de prueba (fuerza de cianuro) se expone al tratamiento y luego se toma una sola medición de la variable dependiente. Es decir se evalúa primero la fuerza de cianuro en el riego independientemente de la fuerza de cianuro en drenado para determinar la reposición diaria. No hay grupo de comparación y No hay repeticiones. (Rubio, 2014).

## **2.2. Población y muestra**

### **2.2.1 Población:**

Todas las soluciones de riego a pad lixiviación de la Empresa Minera en estudio.

Todas las soluciones de drenado del pad lixiviación de la Empresa Minera en estudio.

### **2.2.2 Muestra:**

Todas las soluciones de riego a pad lixiviación de la Empresa Minera en estudio, durante el periodo del 1ro al 24 de Enero del 2019.

Todas las soluciones de drenado del pad lixiviación de la Empresa Minera en estudio, durante el periodo del 1ro al 24 de Enero del 2019.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1 Para recolectar datos**

- Para obtener la información necesaria del pH y NaCN en la solución de drenado del pad de lixiviación, se tomaron muestras líquidas cada 4 horas diarias y en laboratorio químico de la empresa se procedió a la lectura de estos parámetros; los datos de los flujos en la solución de drenado se tomaron de los instrumentos instalados en línea del proceso en Planta, desde el 01/01/2019 al 24/01/2019.
- Para obtener la información necesaria del pH y NaCN en la solución de riego a pad de lixiviación, se tomaron muestras líquidas en la purga de tubería que envía a la solución a pad se procedió a la lectura de estos parámetros; los flujos en la solución de riego se tomaron los datos de los instrumentos instalados en línea del proceso en Planta, desde el 01/01/2019 al 24/01/2019.



### 2.3.2 Para analizar datos

Con los datos recolectados de planta, se organizó y presentó a través de tablas y gráficos la información de la soluciones de drenado y riego. Luego se realizó el mismo procedimiento para la información correspondiente a las pruebas de laboratorio.

Para comparar el contenido de NaCN en la solución de riego del pad y la solución drenada a pad, determinando la variación de Kg de NaCN/día en función del flujo diario tratado; se presentan tablas con la información de perdida y reposición de cianuro de sodio.

Para el análisis y resumen de datos cuantitativos, se utilizaron medidas de Tendencia Central y Variabilidad; tales como el promedio aritmético, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación, que fueron calculadas con el Excel.

El coeficiente de variación (CV) o coeficiente de variación de Spearman es una medida aplicada en la ciencia de las estadísticas, que relaciona la desviación estándar y la media aritmética de un conjunto de datos definiendo la dispersión relativa de la muestra en estudio, es decir este indicador permite comparar la variabilidad de un conjunto de datos. Así por ejemplo CV menores al 5% indican por lo general gran homogeneidad, CV menor del 20% corresponden por lo general a una homogeneidad moderada, mientras que CV mayores al 20% indican gran heterogeneidad (Rustom, 2012).

Nivel de aceptación:  $C.V. \leq 5\%$

CV es igual a la desviación estándar \*100/ media aritmética.

#### 2.4. Procedimiento

- En gabinete, buscar información sobre la lixiviación de oro en pad lixiviación.
- Coordinación con los supervisores de Pad Lixiviación, Planta de Procesos y Laboratorio Químico para realizar los monitoreos y análisis de soluciones cianuradas.
- Preparación de frascos plásticos de 500 ml con boca ancha, rotular.
- Monitoreo de las soluciones cianuradas en el drenado y riego de mineral.
- Entrega de muestras líquidas a Laboratorio químico para análisis de pH, fuerza de NaCN.
- Entrega resultados laboratorio químico de la Empresa Minera.
- Recolección de datos en la computadora, de los flujos en la solución de drenado y riego de mineral, que se tomaron con los instrumentos instalados en línea del proceso en Planta, desde el 01/01/2019 al 24/01/2019.
- Procesamiento y documentación de la información utilizando MS Office.
- Redactar la investigación.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1 Registro de datos de la fuerza de cianuro en la solución de drenado del pad de lixiviación.

Tabla 1

*pH, fuerza y contenido de cianuro en la solución drenada del pad*

| SOLUCION DRENADO DE PAD LIXIVIACION |      |                           |                    |                 |                |                   |
|-------------------------------------|------|---------------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| FECHA                               | pH   | NaCN (ppm)<br>Lab Quimico | Flujo<br>(m3 / hr) | NaCN<br>(kg/m3) | Flujo (m3/día) | NaCN<br>(Kg /día) |
| 01/01/2019                          | 9.90 | 194.00                    | 975.00             | 0.194           | 23,400.00      | 4,539.60          |
| 02/01/2019                          | 9.91 | 199.00                    | 975.00             | 0.199           | 23,400.00      | 4,656.60          |
| 03/01/2019                          | 9.90 | 200.00                    | 982.00             | 0.200           | 23,568.00      | 4,713.60          |
| 04/01/2019                          | 9.89 | 198.00                    | 978.00             | 0.198           | 23,472.00      | 4,647.46          |
| 05/01/2019                          | 9.92 | 199.00                    | 961.00             | 0.199           | 23,064.00      | 4,589.74          |
| 06/01/2019                          | 9.88 | 191.00                    | 975.00             | 0.191           | 23,400.00      | 4,469.40          |
| 07/01/2019                          | 9.88 | 199.00                    | 966.00             | 0.199           | 23,184.00      | 4,613.62          |
| 08/01/2019                          | 9.88 | 199.00                    | 963.00             | 0.199           | 23,112.00      | 4,599.29          |
| 09/01/2019                          | 9.90 | 199.00                    | 959.00             | 0.199           | 23,016.00      | 4,580.18          |
| 10/01/2019                          | 9.88 | 205.00                    | 965.00             | 0.205           | 23,160.00      | 4,747.80          |
| 11/01/2019                          | 9.86 | 199.00                    | 967.00             | 0.199           | 23,208.00      | 4,618.39          |
| 12/01/2019                          | 9.90 | 204.00                    | 965.00             | 0.204           | 23,160.00      | 4,724.64          |
| 13/01/2019                          | 9.92 | 197.00                    | 966.00             | 0.197           | 23,184.00      | 4,567.25          |
| 14/01/2019                          | 9.91 | 210.00                    | 967.00             | 0.210           | 23,208.00      | 4,873.68          |
| 15/01/2019                          | 9.90 | 214.00                    | 965.00             | 0.214           | 23,160.00      | 4,956.24          |
| 16/01/2019                          | 9.91 | 212.00                    | 968.00             | 0.212           | 23,232.00      | 4,925.18          |
| 17/01/2019                          | 9.90 | 209.00                    | 972.00             | 0.209           | 23,328.00      | 4,875.55          |
| 18/01/2019                          | 9.90 | 215.00                    | 975.00             | 0.215           | 23,400.00      | 5,031.00          |
| 19/01/2019                          | 9.90 | 211.00                    | 969.00             | 0.211           | 23,256.00      | 4,907.02          |
| 20/01/2019                          | 9.87 | 206.00                    | 974.00             | 0.206           | 23,376.00      | 4,815.46          |
| 21/01/2019                          | 9.88 | 191.00                    | 970.00             | 0.191           | 23,280.00      | 4,446.48          |
| 22/01/2019                          | 9.90 | 197.00                    | 979.00             | 0.197           | 23,496.00      | 4,628.71          |
| 23/01/2019                          | 9.91 | 190.00                    | 979.00             | 0.190           | 23,496.00      | 4,464.24          |
| 24/01/2019                          | 9.87 | 210.00                    | 970.00             | 0.210           | 23,280.00      | 4,888.80          |
| Valor mínimo                        | 9.86 | 190.00                    | 959.00             | 0.190           | 23,016.00      | 4,446.48          |
| Valor máximo                        | 9.92 | 215.00                    | 982.00             | 0.215           | 23,568.00      | 5,031.00          |
| Promedio                            | 9.89 | 202.00                    | 970.21             | 0.202           | 23,285.00      | 4,703.33          |
| Desv. Estándar                      | 0.02 | 7.44                      | 6.15               | 0.007           | 147.60         | 169.20            |
| Coef. Variación                     | 0.16 | 3.68                      | 0.63               | 3.68            | 0.63           | 3.60              |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

En la tabla 1 se puede apreciar a detalle el comportamiento diario del pH, la fuerza de Cianuro de sodio y el flujo de descarga de solución drenada del pad lixiviación durante el mes de Enero 2019. El pH registra un valor promedio de 9.89 presentando la lista de datos, valores homogéneos (CV=0.16%, menor al 5% de aceptación), la

fuerza de NaCN se reporta desde 190 a 215 ppm con un promedio de 202 ppm, la variación de las mismas se encuentran en un promedio de  $\pm 7.44$  ppm, con un CV de 3.68%, menor al 5% que indica homogeneidad en los resultados. Se determinó que en la solución drenada de pad tiene un contenido promedio de 4,703.33 Kg de NaCN por día con un CV de 3.60%, que indica homogeneidad en los resultados, en los 970.21 m<sup>3</sup>/h de solución que representan un promedio de 23,285 m<sup>3</sup>/día.

### 3.2 Datos de la fuerza de cianuro en la solución de riego a pad de lixiviación.

Tabla 2

*pH, fuerza y contenido de cianuro en la solución de riego a pad*

| FECHA               | pH    | SOLUCION RIEGO A PAD LIXIVIACION |                    | NaCN (kg/m3) | Flujo m3/día | Kg NaCN /día |
|---------------------|-------|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
|                     |       | NaCN (ppm)<br>Lab<br>Químico     | Flujo<br>(m3 / Hr) |              |              |              |
| 01/01/2019          | 11.10 | 361.00                           | 1,040              | 0.361        | 24,960       | 9,010.56     |
| 02/01/2019          | 10.99 | 338.00                           | 1,040              | 0.338        | 24,960       | 8,436.48     |
| 03/01/2019          | 11.14 | 328.00                           | 1,040              | 0.328        | 24,960       | 8,186.88     |
| 04/01/2019          | 10.96 | 325.00                           | 1,040              | 0.325        | 24,960       | 8,112.00     |
| 05/01/2019          | 11.06 | 329.00                           | 1,040              | 0.329        | 24,960       | 8,211.84     |
| 06/01/2019          | 10.79 | 329.00                           | 1,040              | 0.329        | 24,960       | 8,211.84     |
| 07/01/2019          | 11.00 | 303.00                           | 1,040              | 0.303        | 24,960       | 7,562.88     |
| 08/01/2019          | 10.88 | 339.00                           | 1,040              | 0.339        | 24,960       | 8,461.44     |
| 09/01/2019          | 10.89 | 328.00                           | 1,040              | 0.328        | 24,960       | 8,186.88     |
| 10/01/2019          | 10.78 | 329.00                           | 1,040              | 0.329        | 24,960       | 8,211.84     |
| 11/01/2019          | 10.86 | 350.00                           | 1,040              | 0.350        | 24,960       | 8,736.00     |
| 12/01/2019          | 10.71 | 342.00                           | 1,040              | 0.342        | 24,960       | 8,536.32     |
| 13/01/2019          | 10.85 | 343.00                           | 1,040              | 0.343        | 24,960       | 8,561.28     |
| 14/01/2019          | 11.16 | 389.00                           | 1,040              | 0.389        | 24,960       | 9,709.44     |
| 15/01/2019          | 10.77 | 311.00                           | 1,040              | 0.311        | 24,960       | 7,762.56     |
| 16/01/2019          | 11.04 | 374.00                           | 1,040              | 0.374        | 24,960       | 9,335.04     |
| 17/01/2019          | 10.59 | 258.00                           | 1,040              | 0.258        | 24,960       | 6,439.68     |
| 18/01/2019          | 10.59 | 274.00                           | 1,040              | 0.274        | 24,960       | 6,839.04     |
| 19/01/2019          | 10.88 | 308.00                           | 1,040              | 0.308        | 24,960       | 7,687.68     |
| 20/01/2019          | 11.01 | 293.00                           | 1,040              | 0.293        | 24,960       | 7,313.28     |
| 21/01/2019          | 10.65 | 269.00                           | 1,040              | 0.269        | 24,960       | 6,714.24     |
| 22/01/2019          | 10.56 | 263.00                           | 1,040              | 0.263        | 24,960       | 6,564.48     |
| 23/01/2019          | 10.45 | 253.00                           | 1,040              | 0.253        | 24,960       | 6,314.88     |
| 24/01/2019          | 10.40 | 260.00                           | 1,040              | 0.260        | 24,960       | 6,489.60     |
| Valor mínimo        | 10.40 | 253.00                           |                    | 0.253        |              | 6,314.88     |
| Valor máximo        | 11.16 | 389.00                           |                    | 0.389        |              | 9,709.44     |
| Promedio            | 10.84 | 316.50                           | 1,040              | 0.317        | 24,960       | 7,899.84     |
| Desv. Estándar      | 0.21  | 37.99                            |                    | 0.038        |              | 948.31       |
| Coef. Variación (%) | 1.98  | 12.00                            |                    | 12.00        |              | 12.00        |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

En la tabla 2 se puede apreciar a detalle el comportamiento diario del pH, la fuerza de Cianuro y el flujo de solución de riego del mineral durante el mes de Enero 2019. El pH registra un valor promedio de 10.84 presentando la lista de datos, valores homogéneos (CV=1.98%, menor al 5% de aceptación), la fuerza de NaCN se reporta desde 253 a 389 ppm con un promedio de 316.50 ppm, la variación de las mismas se encuentran en un promedio de  $\pm 37.99$  ppm, con un CV de 12%, mayor al 5% que indica ligera variabilidad en los resultados. Se determinó que en la solución de riego a pad se tiene un contenido promedio de 7,899.84 Kg de NaCN por día con un CV de 12%, que ligera variabilidad en los resultados, en los 1,040 m<sup>3</sup>/h de solución que representan un promedio de 24,960 m<sup>3</sup>/día.

### **3.3 Comparación del contenido de NaCN en la solución drenada de pad y la solución de riego a pad para determinar la variación de Kg de NaCN/día en función del flujo diario tratado.**

Tabla 3

*Contenido de NaCN en solución drenada y solución de riego a pad lixiviación*

| Fecha           | Drenado (202 ppm) |               | Riego (316 ppm) |               | Reposición          | Reposición     | Diferencia |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------------|----------------|------------|
|                 | Flujo (m3/día)    | NaCN (kg/día) | Flujo (m3/día)  | NaCN (kg/día) | NaCN (Calculado) Kg | NaCN (Real) Kg |            |
| 01/01/2019      | 23,400            | 4,540         | 24,960          | 9,011         | 4,471               | 1,500          | 2,971      |
| 02/01/2019      | 23,400            | 4,657         | 24,960          | 8,436         | 3,780               | 1,500          | 2,280      |
| 03/01/2019      | 23,568            | 4,714         | 24,960          | 8,187         | 3,473               | 1,500          | 1,973      |
| 04/01/2019      | 23,472            | 4,647         | 24,960          | 8,112         | 3,465               | 1,500          | 1,965      |
| 05/01/2019      | 23,064            | 4,590         | 24,960          | 8,212         | 3,622               | 1,500          | 2,122      |
| 06/01/2019      | 23,400            | 4,469         | 24,960          | 8,212         | 3,742               | 1,500          | 2,242      |
| 07/01/2019      | 23,184            | 4,614         | 24,960          | 7,563         | 2,949               | 1,500          | 1,449      |
| 08/01/2019      | 23,112            | 4,599         | 24,960          | 8,461         | 3,862               | 1,500          | 2,362      |
| 09/01/2019      | 23,016            | 4,580         | 24,960          | 8,187         | 3,607               | 1,500          | 2,107      |
| 10/01/2019      | 23,160            | 4,748         | 24,960          | 8,212         | 3,464               | 1,500          | 1,964      |
| 11/01/2019      | 23,208            | 4,618         | 24,960          | 8,736         | 4,118               | 1,500          | 2,618      |
| 12/01/2019      | 23,160            | 4,725         | 24,960          | 8,536         | 3,812               | 1,500          | 2,312      |
| 13/01/2019      | 23,184            | 4,567         | 24,960          | 8,561         | 3,994               | 1,500          | 2,494      |
| 14/01/2019      | 23,208            | 4,874         | 24,960          | 9,709         | 4,836               | 1,500          | 3,336      |
| 15/01/2019      | 23,160            | 4,956         | 24,960          | 7,763         | 2,806               | 1,500          | 1,306      |
| 16/01/2019      | 23,232            | 4,925         | 24,960          | 9,335         | 4,410               | 1,500          | 2,910      |
| 17/01/2019      | 23,328            | 4,876         | 24,960          | 6,440         | 1,564               | 1,200          | 364        |
| 18/01/2019      | 23,400            | 5,031         | 24,960          | 6,839         | 1,808               | 1,200          | 608        |
| 19/01/2019      | 23,256            | 4,907         | 24,960          | 7,688         | 2,781               | 1,200          | 1,581      |
| 20/01/2019      | 23,376            | 4,815         | 24,960          | 7,313         | 2,498               | 1,200          | 1,298      |
| 21/01/2019      | 23,280            | 4,446         | 24,960          | 6,714         | 2,268               | 1,200          | 1,068      |
| 22/01/2019      | 23,496            | 4,629         | 24,960          | 6,564         | 1,936               | 1,200          | 736        |
| 23/01/2019      | 23,496            | 4,464         | 24,960          | 6,315         | 1,851               | 1,200          | 651        |
| 24/01/2019      | 23,280            | 4,889         | 24,960          | 6,490         | 1,601               | 1,200          | 401        |
| Valor mínimo    | 23,016.00         | 4446.48       |                 | 6,314.880     | 1,564.13            | 1,200.00       | 364.13     |
| Valor máximo    | 23,568.00         | 5031.00       |                 | 9,709.440     | 4,835.76            | 1,500.00       | 3,335.76   |
| Promedio        | 23,285.00         | 4703.33       | 24,960          | 7,899.840     | 3,196.51            | 1,400.00       | 1,796.51   |
| Desv. Estándar  | 147.60            | 169.20        |                 | 948.309       | 968.50              | 144.46         | 846.84     |
| Coef. Variación | 0.63              | 3.60          |                 | 12.00         | 30.30               | 10.32          | 47.14      |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

En la tabla 3, se observa que el flujo promedio de solución de drenado del pad del mes de enero 2019 es de 23,285.00 m<sup>3</sup> por día con un contenido promedio de 4,703.33 Kg de NaCN por día, el flujo de solución de riego promedio es de 24,960 m<sup>3</sup> por día con un contenido promedio de 7,899.84 Kg de NaCN por día. Este contenido de NaCN/día en el riego varía desde 6,314.88 a 9,709.44 con un estadístico del CV de 12% lo que demuestra una ligera variación del contenido de NaCN/día en la solución de riego a pad. También se puede observar que hay una pérdida de solución cianurada entre la solución de riego y la solución drenada de 24,960 – 23,285= 1,675 m<sup>3</sup> por día.

Para poder alcanzar 316 ppm de NaCN en la solución de Riego de mineral se debe de reponer y/o dar una cantidad diaria promedio de 3,196.51 Kg de NaCN (calculado) y así compensar un consumo promedio de 114 ppm de NaCN. Esta reposición diaria (calculada) de NaCN tiene alta variabilidad (CV=30.30%)

La reposición promedio real de NaCN es de 1500 Kg, siendo la diferencia diaria promedio entre la reposición real y el calculado de 1,796.51 Kg/ día de NaCN.

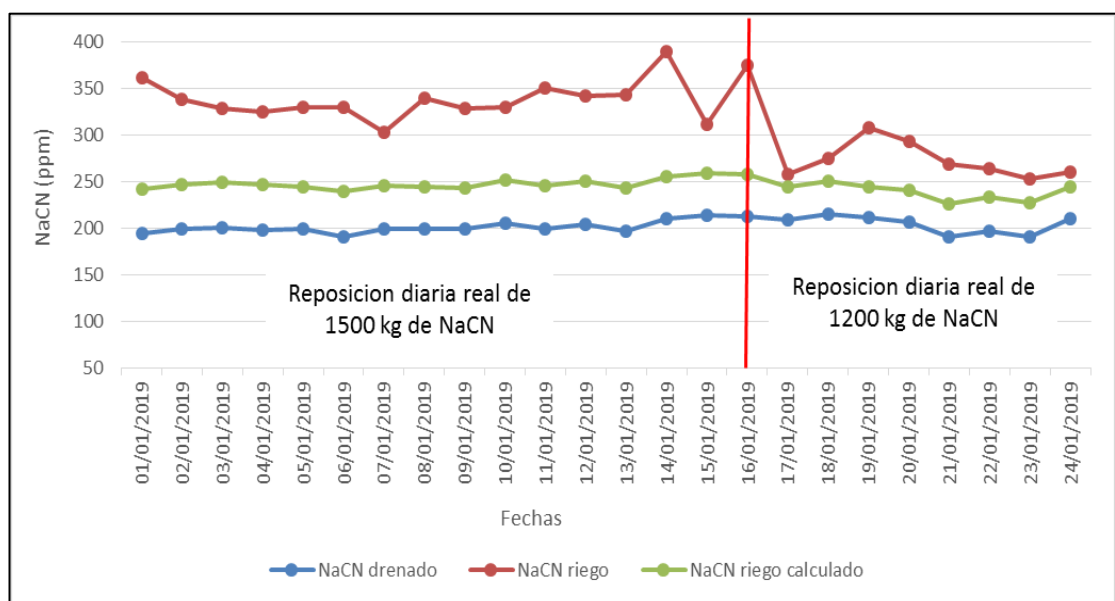


Figura 11. Comparativo de fuerza NaCN riego mineral y el riego calculado en función de la reposición real de 1,500 kg de NaCN

Fuente: Unidad Minera en estudio.

Tabla 4

Comparativo de fuerza NaCN riego mineral y el riego calculado en función de la reposición real de 1,500 kg de NaCN.

| Fecha           | NaCN drenado | NaCN riego | NaCN riego calculado |
|-----------------|--------------|------------|----------------------|
| 01/01/2019      | 194          | 361        | 242                  |
| 02/01/2019      | 199          | 338        | 246                  |
| 03/01/2019      | 200          | 328        | 249                  |
| 04/01/2019      | 198          | 325        | 246                  |
| 05/01/2019      | 199          | 329        | 244                  |
| 06/01/2019      | 191          | 329        | 239                  |
| 07/01/2019      | 199          | 303        | 245                  |
| 08/01/2019      | 199          | 339        | 244                  |
| 09/01/2019      | 199          | 328        | 243                  |
| 10/01/2019      | 205          | 329        | 251                  |
| 11/01/2019      | 199          | 350        | 245                  |
| 12/01/2019      | 204          | 342        | 250                  |
| 13/01/2019      | 197          | 343        | 243                  |
| 14/01/2019      | 210          | 389        | 255                  |
| 15/01/2019      | 214          | 311        | 259                  |
| 16/01/2019      | 212          | 374        | 257                  |
| 17/01/2019      | 209          | 258        | 244                  |
| 18/01/2019      | 215          | 274        | 250                  |
| 19/01/2019      | 211          | 308        | 244                  |
| 20/01/2019      | 206          | 293        | 241                  |
| 21/01/2019      | 191          | 269        | 226                  |
| 22/01/2019      | 197          | 263        | 233                  |
| 23/01/2019      | 190          | 253        | 227                  |
| 24/01/2019      | 210          | 260        | 244                  |
| Valor mínimo    | 190.00       | 253.00     | 226.00               |
| Valor máximo    | 215.00       | 389.00     | 259.00               |
| Promedio        | 202.00       | 316.50     | 244.46               |
| Desv. Estándar  | 7.44         | 37.99      | 7.91                 |
| Coef. Variación | 3.68         | 12.00      | 3.24                 |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

En la figura 11 y tabla 4, se aprecia que la fuerza de NaCN en la solución drenada de Pad (curva azul) varía desde 190 a 215 ppm con un valor promedio de 202 ppm y un estadístico del C.V de 3.68%, menor al 5% que indica homogeneidad en los resultados. A diferencia los resultados de la fuerza de NaCN de Riego de mineral



presentaron variaciones muy pronunciadas (el C.V. fué del 12 %) mayor al 5% y menor del 20% que corresponden por lo general a una homogeneidad moderada. También se puede visualizar una alta variación entre la que la fuerza de NaCN en la solución de riego reportada por laboratorio químico y la fuerza de NaCN calculada en función de la reposición y/o consumo de 1,500 Kg; pero a partir del 17/01/2019 se disminuyó el consumo a 1,200 kg haciendo que esta diferencia decrezca.

Tabla 5.

*Fuerza de NaCN para un consumo diario de 1,200 kg de NaCN (17/01/19 al 24/01/19)*

| FECHA           | Drenado                    |                    | Riego            |                            |                    |                  |                                | Riego Calculado<br>Adición de 1200 Kg de NaCN |                    |                  | Diferencia<br>Real VS Calculado |             |
|-----------------|----------------------------|--------------------|------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|---|--------------------|------------------|---------------------------------|-------------|
|                 | NaCN (ppm)<br>Lab. Químico | Flujo<br>(m3/hora) | NaCN<br>(kg/día) | NaCN (ppm)<br>Lab. Químico | Flujo<br>(m3/hora) | NaCN<br>(kg/día) | Reposición<br>NaCN<br>(kg/día) | NaCN calculado<br>(ppm)                       | Flujo (m3 /<br>Hr) | NaCN<br>(Kg/día) | Reposición<br>NaCN<br>(Kg/día)  | NaCN-Kg/día |
| 17/01/2019      | 209                        | 972.00             | 4,876            | 258                        | 1,040              | 6,440            | 1,564                          | 244   | 1,040              | 6,090            | 1,200                           | 364         |
| 18/01/2019      | 215                        | 975.00             | 5,031            | 274                        | 1,040              | 6,839            | 1,808                          | 250   | 1,040              | 6,240            | 1,200                           | 608         |
| 19/01/2019      | 211                        | 969.00             | 4,907            | 308                        | 1,040              | 7,688            | 2,781                          | 244   | 1,040              | 6,090            | 1,200                           | 1,581       |
| 20/01/2019      | 206                        | 974.00             | 4,815            | 293                        | 1,040              | 7,313            | 2,498                          | 241   | 1,040              | 6,015            | 1,200                           | 1,298       |
| 21/01/2019      | 191                        | 970.00             | 4,446            | 269                        | 1,040              | 6,714            | 2,268                          | 226   | 1,040              | 5,641            | 1,200                           | 1,068       |
| 22/01/2019      | 197                        | 979.00             | 4,629            | 263                        | 1,040              | 6,564            | 1,936                          | 233   | 1,040              | 5,816            | 1,200                           | 736         |
| 23/01/2019      | 190                        | 979.00             | 4,464            | 253                        | 1,040              | 6,315            | 1,851                          | 227   | 1,040              | 5,666            | 1,200                           | 651         |
| 24/01/2019      | 210                        | 970.00             | 4,889            | 260                        | 1,040              | 6,490            | 1,601                          | 244   | 1,040              | 6,090            | 1,200                           | 401         |
| Valor mínimo    | 190.00                     | 969.00             | 4446.48          | 253.00                     |                    | 6314.88          | 1564.13                        | 226.00  |                    | 5640.96          |                                 | 364.13      |
| Valor máximo    | 215.00                     | 979.00             | 5031.00          | 308.00                     |                    | 7687.68          | 2780.66                        | 250.00  |                    | 6240.00          |                                 | 1580.66     |
| Promedio        | 203.63                     | 973.50             | 4757.16          | 272.25                     | 1040.00            | 6795.36          | 2038.20                        | 238.63  | 1040.00            | 5956.08          | 1200.00                         | 838.20      |
| Desv. Estándar  | 9.62                       | 3.96               | 217.46           | 19.02                      | 0.00               | 474.66           | 435.88                         | 8.85  | 0.00               | 220.82           | 0.00                            | 435.88      |
| Coef. Variación | 4.72                       | 0.41               | 4.57             | 6.99                       | 0.00               | 6.99             | 21.39                          | 3.71  | 0.00               | 3.71             | 0.00                            | 52.00       |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

Como se puede apreciar en la tabla 5, la fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en el Pad (NaCN calculado) debería estar en 238.63 ppm de NaCN con un consumo de promedio de  $(238.63 - 203.63 = 35 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,200 Kg de NaCN.

Tabla 6.

*Fuerza de NaCN para un consumo diario de 1,500 kg de NaCN (01/01/19 al 16/01/19)*

| FECHA           | Drenado                    |                    | Riego            |                            |                    |                  |                                | Riego Calculado<br>Adición de 1500 Kg de NaCN |                    |                  | Diferencia<br>Real VS Calculado |             |
|-----------------|----------------------------|--------------------|------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|---|--------------------|------------------|---------------------------------|-------------|
|                 | NaCN (ppm)<br>Lab. Químico | Flujo<br>(m3/hora) | NaCN<br>(kg/día) | NaCN (ppm)<br>Lab. Químico | Flujo<br>(m3/hora) | NaCN<br>(kg/día) | Reposición<br>NaCN<br>(kg/día) | NaCN calculado<br>(ppm)                       | Flujo (m3 /<br>Hr) | NaCN<br>(Kg/día) | Reposición<br>NaCN<br>(Kg/día)  | NaCN-Kg/día |
| 01/01/2019      | 194                        | 975.00             | 4,540            | 361                        | 1,040              | 9,011            | 4,471                          | 242   | 1,040              | 6,040            | 1,500                           | 2,971       |
| 02/01/2019      | 199                        | 975.00             | 4,657            | 338                        | 1,040              | 8,436            | 3,780                          | 246   | 1,040              | 6,140            | 1,500                           | 2,280       |
| 03/01/2019      | 200                        | 982.00             | 4,714            | 328                        | 1,040              | 8,187            | 3,473                          | 249   | 1,040              | 6,215            | 1,500                           | 1,973       |
| 04/01/2019      | 198                        | 978.00             | 4,647            | 325                        | 1,040              | 8,112            | 3,465                          | 246   | 1,040              | 6,140            | 1,500                           | 1,965       |
| 05/01/2019      | 199                        | 961.00             | 4,590            | 329                        | 1,040              | 8,212            | 3,622                          | 244   | 1,040              | 6,090            | 1,500                           | 2,122       |
| 06/01/2019      | 191                        | 975.00             | 4,469            | 329                        | 1,040              | 8,212            | 3,742                          | 239   | 1,040              | 5,965            | 1,500                           | 2,242       |
| 07/01/2019      | 199                        | 966.00             | 4,614            | 303                        | 1,040              | 7,563            | 2,949                          | 245   | 1,040              | 6,115            | 1,500                           | 1,449       |
| 08/01/2019      | 199                        | 963.00             | 4,599            | 339                        | 1,040              | 8,461            | 3,862                          | 244   | 1,040              | 6,090            | 1,500                           | 2,362       |
| 09/01/2019      | 199                        | 959.00             | 4,580            | 328                        | 1,040              | 8,187            | 3,607                          | 243   | 1,040              | 6,065            | 1,500                           | 2,107       |
| 10/01/2019      | 205                        | 965.00             | 4,748            | 329                        | 1,040              | 8,212            | 3,464                          | 251   | 1,040              | 6,265            | 1,500                           | 1,964       |
| 11/01/2019      | 199                        | 967.00             | 4,618            | 350                        | 1,040              | 8,736            | 4,118                          | 245   | 1,040              | 6,115            | 1,500                           | 2,618       |
| 12/01/2019      | 204                        | 965.00             | 4,725            | 342                        | 1,040              | 8,536            | 3,812                          | 250   | 1,040              | 6,240            | 1,500                           | 2,312       |
| 13/01/2019      | 197                        | 966.00             | 4,567            | 343                        | 1,040              | 8,561            | 3,994                          | 243   | 1,040              | 6,065            | 1,500                           | 2,494       |
| 14/01/2019      | 210                        | 967.00             | 4,874            | 389                        | 1,040              | 9,709            | 4,836                          | 255   | 1,040              | 6,365            | 1,500                           | 3,336       |
| 15/01/2019      | 214                        | 965.00             | 4,956            | 311                        | 1,040              | 7,763            | 2,806                          | 259   | 1,040              | 6,465            | 1,500                           | 1,306       |
| 16/01/2019      | 212                        | 968.00             | 4,925            | 374                        | 1,040              | 9,335            | 4,410                          | 257   | 1,040              | 6,415            | 1,500                           | 2,910       |
| Valor mínimo    | 191.00                     | 959.00             | 4469.40          | 303.00                     |                    | 7562.88          | 2806.32                        | 239.00  |                    | 5965.44          |                                 | 1306.32     |
| Valor máximo    | 214.00                     | 982.00             | 4956.24          | 389.00                     |                    | 9709.44          | 4835.76                        | 259.00  |                    | 6464.64          |                                 | 3335.76     |
| Promedio        | 201.19                     | 968.56             | 4676.42          | 338.63                     | 1040.00            | 8452.08          | 3775.66                        | 247.38  | 1040.00            | 6174.48          | 1500.00                         | 2275.66     |
| Desv. Estándar  | 6.30                       | 6.48               | 139.68           | 21.87                      | 0.00               | 545.77           | 525.61                         | 5.68  | 0.00               | 141.75           | 0.00                            | 525.61      |
| Coef. Variación | 3.13                       | 0.67               | 2.99             | 6.46                       | 0.00               | 6.46             | 13.92                          | 2.30  | 0.00               | 2.30             | 0.00                            | 23.10       |

Fuente: Unidad Minera en estudio.

Como se puede apreciar en la tabla 6, la fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en Pad debería estar en 247.38 ppm de NaCN, con un consumo de promedio de  $(247.38 - 201.19 = 46.19 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,500 Kg de NaCN.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En los resultados se indicó que la solución drenada del pad lixiviación durante el mes de Enero 2019, registra un pH promedio de 9.89, la fuerza de NaCN se reporta desde 190 a 215 ppm con un promedio de 202 ppm. La solución de riego del mineral durante el mes de Enero 2019, registra un pH promedio de 10.84, la fuerza de NaCN se reporta desde 253 a 389 ppm con un promedio de 316.50 ppm. El pH de la solución de riego contrasta con los estudios de (Christen, 1977), el cuál indica que la solución rica no debe tener un pH menor de 9.5, el que se debe mantener en el transcurso del proceso para no permitir la generación del ácido cianhídrico que es muy perjudicial para la salud. Asimismo estos resultados del pH en el riego de mineral, coinciden con el estudio de (Mucha N., 2010), quién manifiesta que en la Mina Quicay de Cerro de Pasco, la lixiviación en pilas se lleva acabo con solución alcalina de cianuro de sodio (manteniendo el pH entre 10.8 y 11.5) para evitar pérdidas de cianuro por descomposición en gas cianhídrico (HCN). Sólo en la fuerza de cianuro de sodio, esta empresa Minera emplea 150 ppm al inicio de la operación, luego va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de lixiviación y el agotamiento del mineral.

El procesamiento de datos indica que en la solución drenada del pad se tiene un contenido promedio de 4,703.33 Kg de NaCN/día en los 970.21 m<sup>3</sup>/h de solución que representan un promedio de 23,285 m<sup>3</sup>/día (Ver tabla 1). De igual manera el procesamiento de datos indica que en la solución de riego a pad se tiene un

contenido promedio de 7,899.84 Kg de NaCN/día en los 1,040 m<sup>3</sup>/h de solución que se bombea a pad, que representan un promedio de 24,960 m<sup>3</sup>/día (Ver tabla 2).

El flujo promedio de solución de drenado del pad del mes de enero 2019 es de 23,285.00 m<sup>3</sup>/día con un contenido promedio de 4,703.33 Kg de NaCN/día; en comparación con el flujo de solución de riego se alcanza un valor promedio de 24,960 m<sup>3</sup>/día con un contenido promedio de 7,899.84 Kg de NaCN/día. Este contenido de NaCN/día en el riego varía desde 6,314.88 a 9,709.44 lo que demuestra una ligera variación del contenido de NaCN/día en la solución de riego a pad. También se puede observar que hay una pérdida de solución cianurada entre la solución de riego y la solución drenada de  $24,960 - 23,285 = 1,675$  m<sup>3</sup>/día. Con respecto al consumo de cianuro, en la investigación de (Vicuña, 2010), menciona que la solución de riego que percola a través de la pila de lixiviación disuelve todos los metales que se encuentren oxidados, incluso partículas de oro y plata microscópicos diseminados. Uno de los factores para que se produzcan variaciones del consumo de NaCN se debe a la formación de complejos cianurados de hierro (ferrocianuros), asimismo por la producción de un sulfuro auroso insoluble sobre la superficie del oro y la deposición de peróxidos.

Para poder alcanzar 316 ppm de NaCN en la solución de Riego de mineral se debe de reponer y/o dar una cantidad diaria promedio de 3,196.51 Kg de NaCN (calculado) y así compensar un consumo promedio de 114 ppm de NaCN. La reposición promedio real de NaCN es de 1500 Kg, siendo la diferencia diaria

promedio entre la reposición real y el calculado de 1,796.51 Kg/ día de NaCN (Ver tabla 3 y figura 3).

La fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en Pad debería estar en 247.38 ppm de NaCN, con un consumo de promedio de  $(247.38 - 201.19 = 46.19 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,500 Kg de NaCN (Ver tabla 6). La fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en el Pad (NaCN calculado) debería estar en 238.63 ppm de NaCN con un consumo de promedio de  $(238.63 - 203.63 = 35 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,200 Kg de NaCN (Ver tabla 5).

Sobre el consumo de NaCN, (Christen, 1977) menciona que cuando se inicia el riego constante de un pad, la solución queda atrapada en el mineral, una parte en forma de películas delgadas de solución sobre las partículas, otra parte en las fisuras y porosidad de la roca y otra final en los pequeños intersticios dejadas entre las partículas; este es el momento de la máxima retención de solución que un lecho de mineral puede tener, la cual es particular para cada tipo de mineral y distribución granulométrica. La única forma en que este líquido salga del mineral será por evaporación. Cuando el mineral ha llegado a este punto, se llama % de humedad de saturación o de percolación, ya que si se continúa añadiendo solución, ésta ya no podrá ser retenida y fluirá hacia la parte inferior del lecho. El porcentaje de saturación varía desde 10% hasta 50% dependiendo del tipo de mineral y su composición por tamaños o distribución granulométrica de éste, en nuestro caso de 12%.

## 4.2 Conclusiones

Se evaluó la fuerza de cianuro de la solución de drenado y la solución de riego del mineral, dando como resultados 202 ppm y 316.50 ppm respectivamente; por lo que se tiene una diferencia en las dos soluciones de 114.50 ppm de NaCN. Con estos datos se determinó la diferencia de 3,196.51 Kg NaCN/día, en función del flujo diario tratado 970.21 m<sup>3</sup>/h en el drenado y 1,040 m<sup>3</sup>/h en el riego, lográndose determinar que la reposición diaria de NaCN es de 1,200 Kg NaCN/día para mantener constante la reposición diaria y tener una fuerza de NaCN en la solución de riego de 316.50 ppm en promedio.

De los monitoreos, mediciones analíticas y registro de la data de los equipos de la solución de drenado del pad de lixiviación llevadas a cabo en Enero del 2019, el pH registra un valor promedio de 9.89 presentando la lista de datos, valores homogéneos (CV=0.16%, menor al 5% de aceptación), la fuerza de NaCN se reporta desde 190 a 215 ppm con un promedio de 202 ppm, la variación de las mismas se encuentran en un promedio de + 7.44 ppm, con un CV de 3.68%, menor al 5% que indica homogeneidad en los resultados.

De los monitoreos, mediciones analíticas y registro de la data de los equipos de la solución de riego de mineral del pad de lixiviación llevadas a cabo en Enero del 2019, el pH registra un valor promedio de 10.84 presentando la lista de datos, valores homogéneos (CV=1.98%, menor al 5% de aceptación), la fuerza de NaCN se reporta desde 253 a 389 ppm con un promedio de 316.50 ppm, la variación de

las mismas se encuentran en un promedio de + 37.99 ppm, con un CV de 12%, mayor al 5% que indica ligera variabilidad en los resultados.

Existe una alta variación entre la que la fuerza de NaCN en la solución de riego reportada por laboratorio químico y la fuerza de NaCN calculada en función de la reposición y/o consumo de 1,500 Kg; pero a partir del 17/01/2019 se disminuyó el consumo a 1,200 kg haciendo que esta diferencia decrezca. Por lo tanto se concluye que la fuerza de NaCN promedio con la cual se riega en el Pad (NaCN calculado) debería estar en 238.63 ppm de NaCN con un consumo de promedio de  $(238.63 - 203.63 = 35 \text{ ppm})$  esto para una reposición diaria de 1,200 Kg de NaCN.

## REFERENCIAS

- Christen, Hans Rudolf (1977) *“Fundamentos de la química general e inorgánica”*.  
Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Delahaye, Carlos H. (2009). *“Construcción y riego de una pila de lixiviación de minerales”*. Instituto de Investigaciones Mineras, Departamento de Ingeniería de Minas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. San Juan- Argentina.
- Devore, Jay (2008). *“Probabilidad y Estadística, para Ingeniería y Ciencias”*,  
International Thomson Editores Séptima Edición. México.
- López Fernando (2018). *“Proceso Metalúrgico de la Empresa Apumayo SAC”*,  
Diplomado en Lixiviación de Minerales. Trujillo, La Libertad.
- Mucha N. y Toribio L. (2010). *Lixiviación en pilas en la Mina Quicay, Cerro de Pasco.”*  
Empresa Chancadora Centauro SAC.
- Rubio Jacobo L. (2014). *Manual de Estadística. Sistema de Gestión de la Investigación UPN*. Universidad Privada del Norte. Trujillo-Perú.
- Rustom, Antonio (2012), *“Estadística Descriptiva, Probabilidad e Inferencia. Una Visión Conceptual y Aplicada”*, Facultad de Ciencias Agronómicas -  
Universidad de Chile.
- Vicuña, Sergio (2009), *“Operaciones de la Planta de Procesos Yanacocha Norte, Minera Yanacocha”*. Informe de ingeniería para obtener el título de Ingeniero Metalurgista. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Walpole y Myers (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias”*  
PRENTICE HALL, INC. Octava Edición. México.



## ANEXOS

### FOTOS



Foto 1. Investigadores de la tesis en el área de Planta – Pad Lixiviación.



Foto 2. Cara Nor – Este del Pad Lixiviación de la Empresa Minera en estudio.



Foto 3. Cara Sur – Oeste del Pad Lixiviación de la Empresa Minera en estudio.



Foto 4. Planta de procesos de la Empresa Minera en estudio.



Foto 5. Cara Este del Pad Lixiviación de la Empresa Minera en estudio.



Foto 6. Vista al fondo la poza de Operaciones (PLS) de la Empresa Minera en estudio.