



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E**  
**INGENIERÍA METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA METALÚRGICA**



**DEGRADACIÓN DE EFLUENTES DE CIANURACIÓN EN LOS  
RELAVES, CON SULFATO FERROSO – PERÓXIDO “COMPAÑÍA  
MINERA MARSA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WILVER MAMANI CHAVEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO - PERU**

**2010**



NOMBRE DEL TRABAJO

**DEGRADACIÓN DE EFLUENTES DE CIANURACIÓN EN LOS RELAVES, CON SULFATO FERROSO – PERÓXIDO “COMPAÑÍA MINERA MARSA”**

AUTOR

**WILVER MAMANI CHAVEZ**

RECuento DE PALABRAS

**13559 Words**

RECuento DE CARACTERES

**71069 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**84 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 19, 2024 1:31 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 19, 2024 1:32 PM GMT-5**

● **20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 20% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

  
ALFREDO MAMANI CANQUI  
MSc. Ing. METALURGISTA  
CIP: 45049  
*Asesor*



  
Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez  
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA



## DEDICATORIA

A mis padres Cipriano y Gusmila como muestra de gratitud, por la invaluable Ayuda en mi formación profesional y en el logro de mis aspiraciones.

Al amor de mi vida, mi esposa María Vargas quien junto a mí hizo posible terminar este trabajo, y a mis hijos Medaly Gabriela y York Antony son motores de mi superación.

Wilver Mamani Chávez



## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Compañía Minera Aurífera Retamas S. A. A todas las personas que hicieron posible la realización de este plan de entrenamiento y así mismo por permitirme realizar el presente trabajo.

Mi agradecimiento al ingeniero Raúl Chucos Ortiz e ingeniero Alfredo Mamani Canqui por su apoyo y su acertada dirección como Asesor para la elaboración y redacción de este trabajo; de igual manera mi gratitud a los señores Ingenieros miembros del jurado por su apoyo y dirección para la finalización de este trabajo así mismo mi más profundo agradecimiento a todos mis profesores de la Escuela profesional de Ingeniería. Metalúrgica.

Wilber Mamani Chavez



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.2.1. Problema general.....	14
1.2.2. Problemas específicos .....	14
<b>1.3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>15</b>
1.3.1. Hipótesis general .....	15
1.3.2. Hipótesis específico .....	15
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
1.4.1. Objetivo general .....	15
1.4.2. Objetivos específicos: .....	15
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPITULO II</b>	
<b>REVISION DE LITERATURA</b>	
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>



2.2.1. Cianuro .....	19
2.2.2. Presencia del cianuro en la naturaleza .....	21
2.2.4. Usos industriales del cianuro .....	22
2.2.5. Usos del cianuro en la producción de oro .....	23
2.2.6. Química del cianuro .....	25
2.2.7. Reacciones del cianuro.....	26
2.7.2. Oxidación .....	28
2.7.3. Reacciones con los metales pesados .....	29
2.7.4. Reacciones con los minerales.....	30
2.7.8. Formas de cianuro .....	31
2.2.9. Procesos de degradación del cianuro .....	34
2.2.10. Proceso propuesto para la degradación del cianuro .....	46
2.2.11. Propuesta de manejo ambiental de los residuos de cianuración oro, plata y relave de flotación .....	47
2.2.12. Manejo de relaves.....	49
2.2.13. Información sobre los riesgos .....	50

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y METODOS**

<b>3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>52</b>
3.1.1. Tipo de investigación .....	52
3.1.2. Diseño de la investigación.....	52
<b>3.2. VARIABLES DE ESTUDIO Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....</b>	<b>53</b>
<b>3.3. ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>54</b>
<b>3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>55</b>



3.4.1. Población.....	55
3.4.2. Muestra.....	55
<b>3.5. REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>	<b>55</b>
3.5.1. Reactivos .....	55
3.5.2. Materiales .....	55
3.5.3. Equipos.....	56
<b>3.6. PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>56</b>
<b>3.6. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>58</b>

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

<b>4.1. RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1.1. Resultados del porcentaje de remoción de cianuro .....	60
4.1.2. Tratamiento efluentes de metales pesados .....	68
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>76</b>

**Tema:** Degradación de efluentes de cianuración en los relaves, con sulfato ferroso –  
peróxido

**Área:** Metalurgia extractiva

**Fecha de sustentación:** 18 de noviembre de 2018



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Formas de Cianuro.....	21
<b>Tabla 2.</b> Presencia del cianuro en la naturaleza. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Propiedades físicas y químicas del ácido cianhídrico.....	32
<b>Tabla 4.</b> Formas estables de los complejos de cianuro .....	33
<b>Tabla 5.</b> Constante de estabilidad de iones complejo de cianuros metálicos.....	34
<b>Tabla 6.</b> Guía inicial para seleccionar un proceso de tratamiento de cianuro .....	35
<b>Tabla 7.</b> Determinación de factores .....	53
<b>Tabla 8.</b> Matriz de Diseño Factorial para evaluar el porcentaje de degradación del cianuro.....	53
<b>Tabla 9.</b> Operacionalización de variables .....	54
<b>Tabla 10.</b> Resultados de la concentración de cianuro después del tratamiento con sulfato ferroso-peróxido de hidrogeno.....	61
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza para determinar el grado de significancia de las variables pH, tiempo y concentración del cianuro.....	62
<b>Tabla 12.</b> Análisis de residuos para validación del modelo estadístico .....	63
<b>Tabla 13.</b> Resultados de la concentración de cianuro en función del tiempo .....	65
<b>Tabla 14.</b> Valores de metales pesados después del tratamiento.....	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Clasificación de cianuro.....	20
<b>Figura 2.</b> Relación entre HCN y $\text{CN}^-$ con el pH.....	27
<b>Figura 3.</b> Diagrama Eh- pH del CN - $\text{H}_2\text{O}$ asumiendo que el HCN y el CNO son estable a condiciones normales .....	28
<b>Figura 4.</b> Ciclo del cianuro y su comportamiento ambiental.....	37
<b>Figura 5.</b> Eliminación de $\text{CN}^-$ con $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	39
<b>Figura 6.</b> Ubicación de la compañía minera Retama S. A(MARSA).....	54
<b>Figura 7.</b> Variación del porcentaje de remoción según los tratamientos asignados ....	64
<b>Figura 8.</b> Variación de la concentración de cianuro total respecto al tiempo.....	65
<b>Figura 9.</b> Variación de la concentración de cianuro libre respecto al tiempo .....	67
<b>Figura 10.</b> Variación de la concentración de cianuro total con respecto al pH .....	67
<b>Figura 11.</b> Precipitación de metales en función del pH.....	69



## RESUMEN

La presente investigación evalúa el efecto de la adición de una solución de sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno para remover el cianuro en sus diversas formas presente en los relaves mineros presente en la Compañía Minera - planta de degradación Minero-Metalúrgico MARSA; ya que su presencia contamina el agua, y degrada el suelo agrícola circundante en la zona. En tal sentido la metodología implica la formación de unidades experimentales en número de 8 según diseño experimental  $n^k$ , los factores evaluados fueron concentración inicial del cianuro(1000-1653), tiempo( 6000- 12960 min) y p H(10-11), con tres repeticiones en el punto central( 1316.5; 9480 y 10.5). Los resultados muestran que la concentración de cianuro en los relaves supera enormemente a las concentraciones designadas por los estándares de calidad ambiental y la aplicación de la solución sulfato ferroso- peróxido de hidrogeno permiten un 92% de remoción de cianuro con los siguientes factores: concentración inicial de cianuro=1000 ppm,  $t = 12960$  minutos y p H=11), siendo estos resultados altamente significativos. Los resultados obtenidos benefician ya que esta metodología podrá ser adicionada al proceso de extracción del oro para la no contaminación de los ríos y suelo.

**Palabras Claves:** Cianuro, Contaminación dl agua, Sulfato ferroso- peróxido de hidrogeno.



## ABSTRACT

The present investigation evaluates the effect of adding a solution of ferrous sulfate and hydrogen peroxide to remove cyanide in its various forms present in the mining tailings present in the Mining Company - Minero-Metalúrgico MARSÁ degradation plant; since its presence contaminates the water, and degrades the surrounding agricultural land in the area. In this sense, the methodology involves the formation of experimental units in number of 8 according to experimental design nk, the factors evaluated were initial cyanide concentration (1000-1653), time (6000- 12960 min) and p H (10-11), with three repetitions at the center point (1316.5; 9480 and 10.5). The results show that the concentration of cyanide in the tailings greatly exceeds the concentrations designated by environmental quality standards and the application of the ferrous sulfate-hydrogen peroxide solution allows a 92% removal of cyanide with the following factors: initial concentration of cyanide=1000 ppm, t =12960 minutes and p H=11), these results being highly significant. The results obtained benefit since this methodology can be added to the gold extraction process to avoid contamination of rivers and soil.

**Keywords:** Cyanide, Water Pollution, Ferrous sulfate-hydrogen peroxide.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

La minería es la principal Nota económica de los países, especialmente la extracción del oro que hace uso de grandes cantidades de cianuro, el mismo que se ha extendido en los últimos años con aplicación en la pequeña minería de los países andinos como Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Venezuela. El uso excesivo del cianuro está ocasionando impacto ambiental específicamente en el ecosistema acuático, ya que se estima que los efluentes que son vertidos al medio ambiente contienen 1000 000 toneladas de cianuro aproximadamente. Por lo que se hace necesario la aplicación de tecnologías que reduzcan el contenido de cianuro en los efluentes del proceso(Davalos Carlos & Herrada Ruesta, 2020).

El cianuro es un compuesto altamente toxico y este incrementa según la forma en la que se encuentre libre o compleja(Aromi Lozada & Morales Roca, 2021). Su impacto en los ecosistemas esta relacionado directamente con el crecimiento de las plantas, pues existen estudios donde demuestran que a concentraciones elevadas pueden impedir la respiración de plantas grandes, y llevarlas a la muerte. Por otro lado varias plantas acumulan cianuro por largos periodo de tiempo(Rupay Guere, 2016).

Como se menciona anteriormente el cianuro en cualquiera de sus formas es altamente toxico, por lo que se tiene la necesidad de desarrollar procesos que transformen al cianuro en sustancias menos toxicas(Campos C.; De la Torre E., 2015). Con tal objetivo se tiene a la óxidación química, cloración alcalina, la oxidación con peróxido de hidrógeno catalizada con cobre, la ozonización, la adsorción sobre carbón activado impregnado con metales y la degradación biológica(Aromi Lozada & Morales Roca,



2021). La combinación de estos métodos bajo condiciones controladas, reducirían la presencia de cianuro.

El tratamiento con sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno se divide en cuatro pasos: ajuste de pH, reacción de oxidación, neutralización-floculación y sedimentación. En la primera etapa el peróxido de hidrogeno se mezcla con el ion ferroso  $Fe^{2+}$ , el  $H_2O_2$  actúa como agente oxidante y el  $Fe^{2+}$  como agente reductor para producir OH. Seguidamente el ion ferroso cataliza la descomposición del peróxido de hidrogeno dando como resultado los radicales de hidroxilo, a su vez los radicales hidroxilo generados en el proceso, mineralizan al cianuro en sustancias menos toxicas (Anulle Quispe & Puma Villanueva, 2015).

Actualmente la compañía minera MARSA, emite los efluentes mineros al medio ambiente siendo necesario aplicar una tecnología que minimice la concentración del cianuro en el ambiente, por lo que el objetivo de la investigación es Disminuir la concentración de cianuro en los relaves de cianuración, con sulfato ferroso – peróxido.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La tecnología de lixiviación en pulpas se procesa en la Minera Aurífera Retamas S.A este produce una gran cantidad de compuestos de cianuro; y sus derivados están presentes en los efluentes residuales que salen de las plantas extractivas de oro, los cuales contiene concentración de cianuro libre, complejos de cianuro débil y fuerte. Por lo anterior expuesto los efluentes con cianuro deben ser tratados antes de ser liberados al ambiente.

Mediante el presente trabajo de investigación se demostrará la precipitación con sulfato ferroso y oxidación con peróxido de hidrogeno, que disminuya la degradación del



cianuro de sodio en solución acuosa durante la aplicación del proceso(Garay & Llatas, 2019).

Además, es preciso señalar que la minería del oro ha sido tradicionalmente una de las que mayor deterioro ambiental produce(Güiza Suárez, 2011) y uno de las Notas más importantes es el proceso metalúrgico para obtener el oro metálico a partir de la mena, que normalmente utiliza cianuro de sodio como acomplejante y disolvente del oro de la mena, y este produce elevados vertidos de aguas cianuradas que constituyen un elevado peligro medio-ambiental(Lozada, 2017).

Son por lo tanto factores que afectan al medio ambiente, en lo económico los que hacen que las compañías auríferas concentren gran parte de los esfuerzos en la búsqueda de un método efectivo para el tratamiento de aguas con altos contenidos de cianuro y es precisamente donde se muestra el presente estudio del tratamiento de destrucción de cianuro en los efluentes que se encuentra(Lacabana, 2012).

## **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Es posible degradar la concentración de cianuro de efluentes de cianuración en los relaves, con sulfato ferroso – peróxido?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye el pH durante la degradación de efluentes de cianuración en los relaves?
- ¿Cómo influye la concentración de cianuro durante la degradación de efluentes en los relaves?



- ¿Cómo influye el tiempo de tratamiento para la degradación de efluentes de cianuración en los relaves, con sulfato ferroso – peróxido?

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

- El proceso de degradación de cianuro en los relaves, mediante el uso del sulfato ferroso - peróxido permitirá disminuir los niveles de concentración de CN en el medio hasta niveles permitidos.

#### **1.3.2. Hipótesis específico**

- El pH influirá en el proceso de la degradación de efluentes de cianuración en los relaves.
- El proceso de degradación de efluentes de relaves disminuirá la concentración de cianuro libre a niveles asimilables para los seres vivos.
- En la degradación de efluentes de relaves se observará como varia la concentración de cianuro respecto al tiempo de tratamiento.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Disminuir la concentración de cianuro en los relaves cianuración, con sulfato ferroso – peróxido.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el pH de degradación en los efluentes de cianuración en los relaves, con sulfato ferroso – peróxido.



- Determinar la concentración de cianuro en la degradación de efluentes de relaves, con sulfato ferroso – peróxido.
- Determinar el tiempo de tratamiento necesario en la degradación de efluentes de relaves, con sulfato ferroso – peróxido.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación pretende disminuir la concentración de cianuro en los efluentes de la planta Minera Aurífera Retamas S.A. hasta niveles de 1 ppm, para de esta manera minimizar el impacto medioambiental ocasionado por el ácido cianhídrico emitido en la zona.

En lo económico, la minera aurífera Retamas procesa el oro de manera convencional para lo cual hace uso de grandes cantidades de cianuro, en ese sentido la presente investigación propone un sistema alternativo que hace uso de tecnologías limpias, lo que resulta en un bajo costo de producción ya que no hace uso del cianuro en el proceso de extracción del oro.

En lo social, la aplicación de esta tecnología permitirá la minimización de cianuro en los efluentes y consecuentemente la minimización de enfermedades en los trabajadores y pobladores de la zona que desarrollan agricultura en suelos contaminados con efluentes cianurados.



## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

**Berlanga,(2014)**, en la investigación realizada se tuvo por objetivo determinar las concentraciones óptimas de pH y concentración  $\text{FeSO}_4$  para la destrucción de cianuro. La metodología implicó la caracterización de las soluciones, en la cual se determinó la concentración de cianuro libre, total y análisis de metales por: Fe, Cu, Pb, As y Sb; posteriormente se realizó su tratamiento por los métodos de peróxido de hidrógeno - hipoclorito de sodio y sulfato ferroso. Los resultados mostraron que se requiere 0.36 g de sulfato ferroso y 6.1 mg/L de peróxido de hidrógeno para degradar cianuro y que el hierro reacciona con el cianuro libre para formar hexacianoferrato (ferrocianuro), y posteriormente compuestos insolubles (hexacianoferrato férrico).

**Pérez, (2007)**, el objetivo de la investigación fue encontrar un método alternativo a los ya existentes para la detoxificación de los subproductos generados durante la lixiviación y almacenado en las balsas de contención, la metodología implicó el tratamiento de las aguas de mina con contenido de cianuro de cobre mediante el proceso de oxidación con permanganato potásico. Los resultados mostraron que el método resultó ser económico y eficaz, ya que permitió eliminar los contaminantes.

**Fárez et al.,(2011)**, la investigación estuvo enfocada en la reducción de cianuro de los efluentes provenientes de la industria del galvanizado, la metodología implicó el tratamiento de estas aguas mediante el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), los tratamientos se organizaron según el diseño factorial de dos factores: tiempo de retención y temperatura, con tres (5, 15 y 180 minutos) y dos ( $16^\circ\text{C}$  y  $26^\circ\text{C}$ ) niveles



respectivamente. Los resultados muestran que el rendimiento oscilan entre 43% (5 minutos – 16°C) y 74% (180 minutos – 26°C).

**Fajardo, J.; Burbabo, D.; Apraez, N.; Rosero, (2005)**, la investigación tuvo por objetivo neutralizar los residuos cianurados provenientes de la mina Nueva Esparta ubicada en el municipio de los Andes-Sotomayor (Nariño). La metodología implicó el uso de tres neutralizantes de tipo comercial: peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$  (en relación: 2:1, 5:1 y 8:1), hipoclorito de sodio  $NaOCl$  (en relación: 7:1, 12:1 y 17:1) y sulfato ferroso  $FeSO_4$  (6:1, 12:1 y 18:1). Los resultados reportaron que el mejor tratamiento para la remoción de cianuro libre y total fue el  $H_2O_2$  en relaciones de: 2:1 y 5:1 además que el tratamiento reduce la concentración de los metales Fe, Cu, Ni, Zn, Mn y Pb.

**Gaviria & Meza, (2006)**, en la investigación realizada observaron que el tratamiento de minerales sulfurados con contenido de Oro, generan efluentes con alto contenido de cianuro cuyo concentración asciende a 500-1200, por lo cual el presente proyecto evaluó la aplicación de sustancias como sulfato de cobre penta hidratado + peróxido de hidrógeno (50%), sulfato ferroso monohidratado Lejía, polisulfuro de sodio, sulfato ferroso monohidratado calidad ácido caro (1:1), sulfato ferroso monohidratado y peróxido de hidrógeno (50%), en la degradación de cianuro libre y total presente en los residuos. La concentración de cianuro libre y total fueron evaluados el Estándar Methodo de la ASTM. Los resultados mostraron que el método de sulfato ferroso monohidratado calidad-1+ Peróxido de Hidrógeno (50%), resultó ser eficiente para separar el cianuro de sus complejos y convertirlo en sustancias menos tóxicas, mientras que los metales pesados disociados de los complejos son precipitados en forma de hidróxidos.

**Lima, E.; Hau, L.; Suero, A.; Huamani, R.; Ascuña, (2019)**, la investigación tuvo por objetivo eliminar el cianuro de los efluentes metalúrgicos, mediante el método de



jarras usando como agente precipitante el peróxido de hidrogeno, sales férricas y la adición de polímero orgánico como agente floculante. La metodología implicó la caracterización del efluente cuyo contenido en cianuro fue de 800 ppm, los tratamientos fueron organizados según diseño experimental  $2^k$  realizando 11 pruebas experimentales considerando como variables la velocidad de agitación y cantidades de reactivos dosificados en el proceso. Los resultados mostraron que el cianuro y sus complejos alcanzaron un porcentaje de precipitación del 98.85% tratamiento en el cual se utilizó peróxido de hidrogeno 50%, sulfato férrico 5%, sulfato ferroso 5% y polímero inorgánico Sedifloc 7030-HHM al 0.5% en un tiempo de 11 hr 30 minutos habiéndose logrado una disminución en la concentración del cianuro total en la solución tratada hasta 0.8 ppm.

**García Girón & Loroña Calderon,(2010)**, la investigación tuvo por objetivo determinar el tratamiento que mejor actúe en la destrucción del cianuro de sodio en solución pobre, proveniente de la Planta de Procesos unidad minera El Toro de manera que cumplan con los valores esperados por debajo de los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N°010-2010-MINAM) relacionados con el cianuro total, para tal fin la metodología aplicó dos tratamientos: La destrucción de cianuro con peróxido de hidrógeno y la destrucción del cianuro con metabisulfito de sodio. Los resultados mostraron que el metabisulfito de sodio alcanzó una mayor remoción de cianuro (2.56 mg/L) mientras que con el peróxido de hidrógeno alcanzó una concentración final de 11.09 mg/L en un tiempo de 15 minutos, respectivamente.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

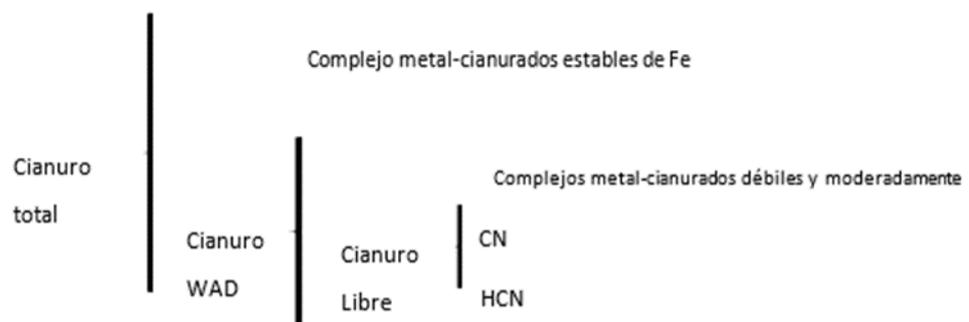
### 2.2.1. Cianuro

Nombre aplicado a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. El cianuro es un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno HCN o

el cloruro de cianógeno  $CICN$ , también puede encontrarse en forma sólida como el cianuro de sodio  $NaCN$  y cianuro de potasio  $KCN$  (Garay & Llatas, 2019). El cianuro puede clasificarse como cianuro total, cianuro wad y cianuro libre (Arevalo, 2011):

### Figura 1.

#### *Clasificación de cianuro*



La minería es una actividad industrial que utiliza una cantidad significativa de cianuro, aproximadamente un 13% de la producción total. Desde 1887, las soluciones de cianuro se han utilizado principalmente para extraer oro y plata de minerales, que de otro modo no podrían extraerse eficazmente. Además, el cianuro se utiliza en concentraciones bajas como un reactivo de flotación para ayudar a recuperar metales base como el plomo, el cobre y el zinc (Rupay Guere, 2016). Algunas formas en la que se puede presentar el cianuro se observa en la tabla 1.



**Tabla 1.**

*Formas de Cianuro*

Anión Cianuro	CN <sup>-</sup>
Acido Cianhídrico	HCN
Complejo metal cianuro	Metal CN
Cianato	CON <sup>-</sup>
Tiocianato	SCN <sup>-</sup>
Catión amonio	NH <sup>+4</sup>

Nota:(Arevalo, 2011)

### **2.2.2. Presencia del cianuro en la naturaleza**

El carbono y el nitrógeno son elementos que forman parte del cianuro y están presentes a nuestro alrededor; ambos elementos forman casi el 80% del aire que respiramos y ambos están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida. El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas del desarrollo de nuestro planeta como precursor de los aminoácidos, a partir de los cuales evolucionó la vida sobre la tierra. El cianuro se forma naturalmente en las plantas; y los animales lo producen y utilizan como un mecanismo de protección que los convierte en una Nota alimenticia poco atractiva(Rupay Guere, 2016).

Una Nota natural de cianuro de hidrógeno (HCN) es en un compuesto similar al azúcar llamado amigdalina, que existe en muchas frutas, verduras, semillas y nueces, entre ellos los damascos, brotes de poroto, castañas de cajú, cerezas, castañas, maíz, judías, lentejas, nectarinas, duraznos, maníes, pecanas, pistachos, papas, soja y otras nueces(Logsdon et al., 2001). En el corazón de la

almendra amarga hay aproximadamente 1 mg de HCN en forma de amigdalina.

En la tabla 2 se muestra la presencia de cianuro en diversos alimentos.

**Tabla 2.**

*Presencia del cianuro en la naturaleza.*

<b>Especies de plantas</b>	<b>Concentración mg/kg</b>
Yuca	
Hojas	377-500
Raíces	138
Raíces desecadas	46-<100
Puré	81
Punta de bambú	max.8000
Poroto blanco	2.1
Almendra amarga	280-2500
Sorgo	max.2500

**Nota:** (Logsdon et al., 2001)

Los compuestos de cianuro se producen en miles de especies de plantas y en otras formas de vida. En algunas plantas, el cianuro está presente en concentraciones que podrían juzgarse como “peligrosas” si estuvieran asociadas a Notas manufacturadas. Plantas tales como la alfalfa, el sorgo y la yuca son conocidas Notas de envenenamiento por cianuro para el ganado y a los seres humanos(Santiago, 2003).

#### **2.2.4. Usos industriales del cianuro**

El cianuro es usado en metalurgia para lixiviación química del oro; en la industria del acero, en joyería, en la industria de pegamentos y plásticos, en pinturas, como solvente y esmalte, como herbicida, plaguicida y fertilizante(Ramírez, 2010).



Anualmente se utiliza más de un millón de toneladas de cianuro, que representan alrededor del 87% de la producción total, en la producción de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos. Otras aplicaciones industriales incluyen la galvanoplastia, el procesamiento de metales, el endurecimiento del acero, las aplicaciones fotográficas y la producción de goma sintética (Anulle Quispe & Puma Villanueva, 2015).

El cianuro se utiliza también en productos farmacéuticos como el laetрил, una sustancia para combatir el cáncer, y el nitro prusiato, una droga para reducir la presión arterial (Fárez et al., 2011). Los compuestos de cianuro también se utilizan en vendas quirúrgicas que promueven la cicatrización y reducen las cicatrices. El 13% restante de la producción de cianuro se utiliza para fabricar cianuro de sodio, una forma sólida de cianuro cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De este porcentaje, el 90%, es decir, el 18% de la producción total, se utiliza en minería en todo el mundo, mayormente para la recuperación de oro (Logsdon et al., 2001).

#### **2.2.5. Usos del cianuro en la producción de oro**

Actualmente la extracción del oro se desarrolla por el método de cianuración, el cual consiste en la disolución del mineral en una solución alcalina diluida de cianuro (Nava-Alonso et al., 2007) el cual actúa como agente lixivante del oro, su elección radica en el bajo costo y la alta producción de oro que esta sustancia genera a la industria metalúrgica, dado que actúa como agente ligante formando compuestos de coordinación con el oro (insoluble), los productos originados son más estables y eficaces (Gasca-Torres, 2016).



Las operaciones de minería del oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón)(Telvia Arias-Lafargue et al., 2017). El cianuro de sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral(Hinostroza-Campos, 2019). La solución resultante que contiene oro se denomina “solución cargada”, luego se agrega zinc o carbón activado a la solución cargada para recuperar el oro extrayéndolo de la solución, la solución residual o “estéril” (es decir, carente de oro) puede recircularse para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos. Existen dos enfoques generales para la lixiviación del oro de un mineral mediante el cianuro: la lixiviación en tanque y en pila(Logsdon et al., 2001).

La lixiviación en tanque es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro, en algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques para disolver el oro en una solución de cianuro(Logsdon et al., 2001). Cuando el oro se recupera en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se recogerá junto con los residuos sólidos en los depósitos de relaves. Allí, parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y parte se decantará y se recogerá en un estanque encima de los relaves, desde donde se la recicla y se la envía nuevamente a la planta. En la mayoría de las plantas, debido a la acumulación de impurezas, algunas de las soluciones que contienen cianuro deben ser bombeadas a un sistema de tratamiento para su eliminación.



Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura y se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se lo coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. Cuando se utiliza la tecnología de Lixiviación en pila para extraer oro, la solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

La industria moderna del oro utiliza además del cianuro, otros agentes complejantes como la tío urea, los cloruros y otros haluros para extraer oro del mineral, pero generalmente no son rentables y presentan problemas particulares para el ambiente y la salud (Gasca-Torres, 2016).

#### **2.2.6. Química del cianuro**

El cianuro se encuentra en la naturaleza en dos formas gaseosa y líquida, estas formas dependen del p H del medio. En medios alcalinos predomina la forma soluble del cianuro, por el contrario en medios ácidos la forma gaseosa es la predominante (Argote et al., 2015). El ácido cianhídrico HCN, se encuentra en concentraciones de 0.15 a 0.17 ppb (Nava-Alonso et al., 2007). La forma soluble es el cianuro de sodio (NaCN) y el cianuro de potasio (KCN), ambas formas son capaces de reaccionar con los metales pesados formando complejos de cianuro o métalo cianuros.

El ion cianuro CN presenta un enlace sigma ( $\sigma$ ) y dos enlaces pi ( $\pi$ ) y dos orbitales enlazantes vacíos, los mismos que permiten que el ion cianuro forme enlaces con los orbitales “d” de los metales de la serie de transición, la

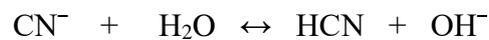


contribución de electrones del cianuro o del metal podrían explicar la estabilidad de los complejos organometálicos del cianuro(Mudder et al., 1991).

### 2.2.7. Reacciones del cianuro

#### - Hidrólisis de cianuro

El cianuro reacciona con el agua formando el cianuro de hidrógeno molecular HCN, según la siguiente ecuación:

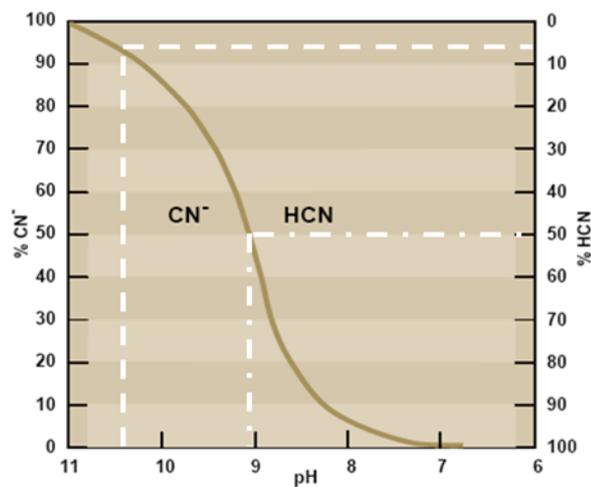


La constante de disociación de ácido hidrocianico es de  $4.36 \times 10^{-10}$ , y el equilibrio depende fuertemente del pH. A pH = 9.36 el 50% del cianuro está presente como HCN, de modo que el cianuro “libre” es el término utilizado para describir tanto el ion cianuro ( $\text{CN}^-$ ) que se disuelve en el agua del proceso como cualquier cianuro de hidrogeno (HCN) que se forma en la solución(Laguna-M., 1996).

Cuando el pH es superior a 10.5, hay pocos iones hidrogeno presentes y casi todo el cianuro está presente como CN.

**Figura 2.**

*Relación entre HCN y  $CN^-$  con el Ph*

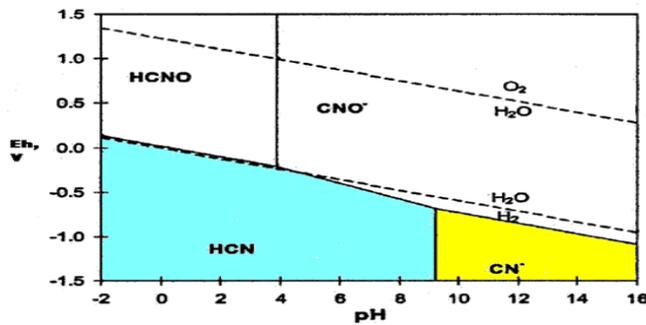


**Nota** (Laguna-M., 1996).

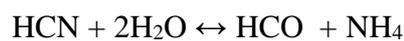
En condiciones normales de presión y temperatura, las concentraciones de HCN y  $CN^-$  son iguales a un valor de pH de aproximadamente 9.36. En la figura 3 se muestra la relación entre el HCN y el  $CN^-$  con el pH, en el que se observa que a pH 11 el 99% de cianuro existirá como HCN. Aunque el HCN es altamente soluble en agua, su solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura y bajo condiciones altamente salinas. El gas y el líquido de HCN son incoloros y tienen el olor de almendras amargas, aunque no todos los individuos pueden detectar el olor.

**Figura 3.**

*Diagrama Eh- pH del CN - H<sub>2</sub>O asumiendo que el HCN y el CNO son estable a condiciones normales*

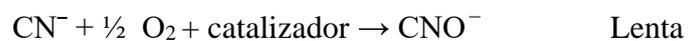


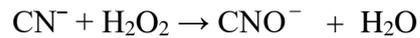
Estas formas de cianuro libre son importantes porque se consideran como los cianuros más tóxicos. Sin embargo, también son las formas que se eliminan fácilmente de las soluciones mediante bien elaborados procesos de tratamiento y mecanismos naturales de atenuación. Como resultado de la ruptura de la cadena C≡N por la hidrólisis, el HCN se transforma lentamente a la forma de amonio, siendo esta reacción dependiente de la temperatura.



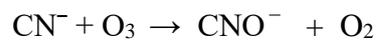
### 2.7.2. Oxidación

El ion cianuro puede oxidarse lentamente a cianato en presencia de oxígeno atmosféricos; la reacción se hace rápida con el uso de catalizadores como el hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, mezclas de dióxido de azufre/aire o por electrolisis. Las reacciones se muestran a continuación:



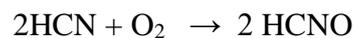


Rápida

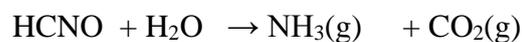


Rápida

La oxidación del HCN produce cianato de hidrogeno HCNO, de acuerdo a la siguiente reacción:



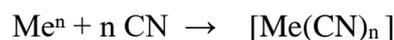
El cianato de hidrogeno y los iones cianato son formas menos toxicas presentes en los relaves mineros, los mismos que rápidamente se hidrolizan para formar amonio  $\text{NH}_3$  y dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  sustancias que se emanan en forma gaseosa desde los depósitos de relaves. Es así, que la oxidación del HCN y CN minimizan el contenido total del cianuro(Laguna-M., 1996). Las reacciones se describen a continuación.



### 2.7.3. Reacciones con los metales pesados

Las reacciones entre el cianuro y los metales pueden formar complejos ciano-metalicos, donde la solubilidad de los productos varia(Laguna-M., 1996).

La reacción general puede ser escrita como sigue:



Donde Me representa un metal pesado y n = es el estado de oxidación del metal. Los compuestos producto de la reacción son levemente soluble en agua, pero rápidamente solubles en exceso de CN(Laguna-M., 1996), la reacción se describe a continuación:



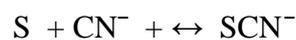
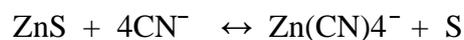
Donde  $m$  es el coeficiente estequiométrico del CN. Algunos de estos compuestos son insolubles, mientras que otros se ionizan y forman CN que se hidroliza para formar el HCN altamente tóxico, las reacciones se muestran a continuación:



#### 2.7.4. Reacciones con los minerales

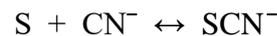
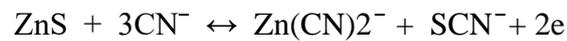
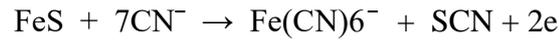
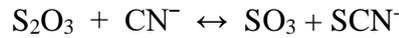
El cianuro puede reaccionar fácilmente con muchos minerales, especialmente minerales de metal base para formar complejos de metal base. Estas reacciones no solamente consumen cianuro y oxígeno, sino que los productos resultantes pueden también pasivar la superficie del oro y reducir severamente la cinética de disolución del oro. El complejo de cianuro o metalo cianuro es el término con que se designa a los elementos metálicos base que se combinan con el cianuro para formar especies solubles, en las cuales existe una amplia gama de interacciones químicas y físicas entre estos componentes complejos y que impactan en diverso grado al medio ambiente.

Alguno de ellos se muestra en las siguientes reacciones:





Por otro lado Laguna-M.,(1996), mostró que la reacción de los polisulfuros y tío sulfatos forman tío cianatos según las siguientes reacciones:



El tiocianato es una forma menos toxica de cianuro, por tal razón la generación de tiocianato es una forma de eliminar cianuro de los relaves mineros.

### 2.7.8. Formas de cianuro

El cianuro representa a un grupo de compuestos químicos caracterizados por la presencia de un átomo de carbono unido a un átomo de nitrógeno mediante triple enlace(Gaviria & Meza, 2006b). Una gran cantidad del cianuro y sus derivados están presentes en los efluentes residuales provenientes de las plantas extractivas de oro/plata y de los laboratorios metalúrgicos de investigación. Los compuestos de cianuro se pueden clasificar en:

#### - **Cianuro Libre**

El cianuro libre describe al ion  $CN^-$  disuelto en solución acuosa, dando lugar a la formación del HCN. Por otro lado el cianuro de sodio y potasio al

disolverse en el agua liberan iones Na y CN<sup>-</sup>, este ultimo se une con el hidrogeno para formar HCN molecular. En consecuencia casi todo el cianuro libre esta presente en forma de HCN, esta reacción se da a pH≤8, a pH≥10.5 el cianuro libre permanece como CN<sup>-</sup>(Fárez et al., 2011). Las propiedades de esta sustancia se observan en la tabla 3.

**Tabla 3.**

*Propiedades físicas y químicas del ácido cianhídrico*

Propiedades	HCN	CICN
Químicas y físicas		
Punto de ebullición	25.7 °C	12.9°C
Presión de vapor	740 mmHg	1000mmHg
Densidad		
Vapor	0.99 g/ml a 20°C	2.1 g/ml
Líquida	0.68g/ml a 25°C	1.18 g/ml a 20°C
Volatilidad	1.1 x 10 <sup>6</sup> g/m <sup>3</sup> a 25°C	2.6x10 <sup>6</sup> mg/m <sup>3</sup>
Apariencia y olor	Gas, olor a almendras	Incoloro gaseoso líquido
Solubilidad en agua	Completa a 25°C	6.9 g/100 ml a 20°C
Solubilidad en otros disolventes	Completamente miscible en solventes orgánicos	En la mayoría de los solventes orgánicos

Nota:(Fárez et al., 2011)

#### - **Cianuros simples**

Los cianuros simples, son las sales de KCN y NaCN, disueltas en solución acuosa, estas al disociarse forman cationes alcalinos y el anión CN<sup>-</sup> (Gaviria & Meza, 2006b). La reacción de ionización se muestra a continuación:



## - Cianuros Complejos

Son compuestos formados por un metal y el cianuro(metal-cianuro), que según la estabilidad pueden ser: estables (hierro, oro, cobalto, etc.) y débiles (cobre, zinc)(Nava-Alonso et al., 2007). La formación de complejos está limitada a los elementos de transición del grupo “d” y a los elementos Zn, Cd y Hg, se sabe que 28 de estos elementos pueden formar hasta 72 complejos con el cianuro(Pérez, 2007).Las formas estables de cianuro se observan en la tabla 4 y las constantes de estabilidad se observan en la tabla 5.

Estos compuesto se disocian liberando un catión y un anión que contiene cianuro. El complejo(anión) puede seguir disociándose generando un catión y varios iones cianuro. Los factores que favorecen la velocidad de disociación son el pH y la concentración de los otros reactantes. Las estabilidades relativas de los complejos del cianuro metal se muestra en la tabla 5.

**Tabla 4.**  
*Formas estables de los complejos de cianuro*

<b>Términos</b>	<b>Ejemplos presentes en soluciones de procesamiento de oro y plata</b>
1.- Cianuro libre	$\text{CN}^-$ , HCN
2.- Compuestos simples	
A: fácilmente solubles	NaCN, KCN, Ca (CN) <sub>2</sub> , Hg(CN) <sub>2</sub>
B: relativamente soluble	Zn(CN) <sub>2</sub> , Cu(CN) , Ni(CN) <sub>2</sub> , AgCN
3. Complejos débiles ( fácil de ionizar)	$\text{Zn}(\text{CN})_4^-$ , $\text{Cd}(\text{CN})_3^-$ , $\text{Cd}(\text{CN})_4^-$
4. Complejos moderadamente fuertes ( moderadamente ionizable )	$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ , $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$ , $\text{Ni}(\text{CN})_4^-$ , $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ ,
5. Complejos fuertes (muy estables)	$\text{Fe}(\text{CN})_6^-$ , $\text{Co}(\text{CN})_6^-$ , $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ,
Inorgánicos (inestables)	Acetonitrilo, Acrilonitrilo ,Adiponitrilo

**Nota:** (Pérez, 2007)

## - Cianuros totales

Son todas las formas de cianuro existentes en solución acuosa, estos términos son utilizados para cuantificar la presencia de cianuros en una muestra, es considerado un método analítico empleado para la determinación de cianuros (Pérez, 2007).

**Tabla 5.**

*Constante de estabilidad de iones complejo de cianuros metálicos*

ION COMPLEJO	CONSTANTE DE ESTABILIDAD	ION COMPLEJO	CONSTANTE DE ESTABILIDAD
$\text{CU}(\text{CN})_6^-$	$10^{33}$	$\text{Cu}(\text{CN})_3^-$	$10^{29.2}$
$\text{CR}(\text{CN})_6^-$	$10^{21}$	$\text{Cu}(\text{CN})_4^-$	$10^{30.2}$
$\text{FE}(\text{CN})_6^-$	$10^{35.4}$	$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	$10^{20.4}$
$\text{CO}(\text{CN})_6^-$	$10^{50}$	$\text{Ag}(\text{CN})_3^-$	$10^{21.9}$
$\text{NI}(\text{CN})_4^-$	$10^{30}$	$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	$10^{37}$
$\text{PD}(\text{CN})_4^-$	$10^{42}$	$\text{Au}(\text{CN})_4^-$	$10^{85}(\text{estimado})$
$\text{PT}(\text{CN})_4^-$	$10^{40}$	$\text{Zn}(\text{CN})_4^-$	$10^{21}$
$\text{CU}(\text{CN})_2^-$	$10^{23.9}$	$\text{CD}(\text{CN})_4^-$	$10^{19}$

**Nota:** (Arevalo, 2011)

### 2.2.9. Procesos de degradación del cianuro

Después de llevadas a cabo las prácticas y pruebas de cianuración y recuperado el oro en galvanoplastia, después de terminado el proceso de recubrimiento, la solución queda desprovista de oro y plata, pero sigue

conteniendo cianuro en una concentración que está por encima de niveles permisibles.

Para la degradación del cianuro de los relaves mineros se ha generado una guía para la selección de tratamiento de cianuro, la cual se da a conocer en la tabla 6.

**Tabla 6.**

*Guía inicial para seleccionar un proceso de tratamiento de cianuro*

Proceso de Tratamiento	Remoción del cianuro de hierro	Remoción del cianuro DAD	Aplicación a pulpas	Aplicación a soluciones
SO <sub>2</sub> /Aire	√	√	√	√
Peróxido de hidrógeno	√	√		√
Ácido de Caro		√	√	
Clorinación alcalina	√	√		√
Precipitación con hierro	√	√	√	√
Carbón activado	√	√		√
Biológico	√	√		√
Recuperación del cianuro		√	√	√
Ósmosis reversa	√	√		√
Atenuación natural	√	√	√	√

**Nota:** Smith y Mudder – 1991

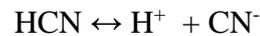
Los procesos disponibles de destrucción del cianuro se describen a continuación:

#### - Volatilización

Como ya se ha mencionado el cianuro libre existe en solución acuosa en forma de ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno HCN y según sus propiedades físicas y químicas observadas en la tabla 2, este compuesto presenta una baja temperatura de volatilización y una elevada presión de vapor( 100Kpa) lo que hace



que volatilice y se disocie en iones hidrogeno y cianuro, de esta manera se logra la detoxificación del ácido(Fárez et al., 2011). La disociación se describe según la siguiente reacción:



Los factores que favorecen la volatilización de las especies de cianuro son:

- a) El aumento de la temperatura
- b) El descenso del pH
- c) El incremento de la aireación
- d) El área de exposición
- e) La presencia de catalizadores como el Cobre y Hierro.

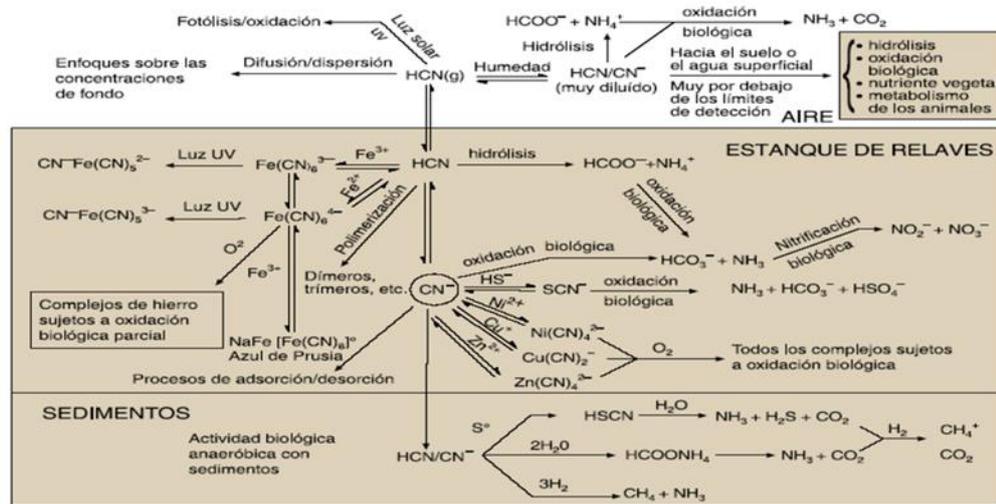
#### - **Degradación natural**

La degradación natural de las formas toxicas del cianuro se da mediante mecanismos de volatilización con posteriores transformaciones químicas que permiten la detoxificación del ácido cianhídrico en amoniaco y bicarbonato. La degradación también puede ser inducida por bacterias aeróbicas y anaeróbicas presentes en el suelo, siendo necesario en este proceso la presencia de la luz solar la que influye en la degradación.

La degradación natural, también puede darse por la adsorción de las especies del cianuro sobre materia orgánica, arcilla y minerales presentes en el suelo o cuerpos de agua. Los procesos antes mencionados resultan suficientes para degradar al cianuro y cumplir la normativa ambiental. En la figura 4 se presenta la degradación del cianuro total.

**Figura 4.**

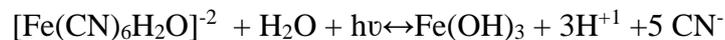
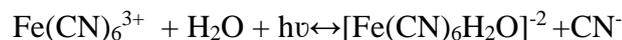
*Ciclo del cianuro y su comportamiento ambiental*



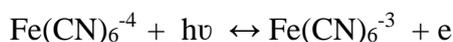
Nota:(Rupar Guere, 2016)

#### - Degradación fotolítica

El proceso de fotólisis desarrolla reacciones de oxidación y reducción por medio de energía proveniente de las radiaciones electromagnéticas que activa los procesos de transferencia de electrones. Estos procesos son capaces de disociar los cianuros de hierro(ferro y ferricianuros) según las siguientes reacciones.



El hidróxido de hierro formado en la anterior reacción puede reaccionar con el cianuro para formar ferrihexacianuro (precipitados de color azul)(Pérez, 2007).La siguiente reacción describe la formación intermedia del ferricianuro que se da durante el proceso de fotólisis.





La reacción anterior permite comprobar que la fotólisis permite eliminar los complejos metálicos de cianuro.

- **Procesos de oxidación:**

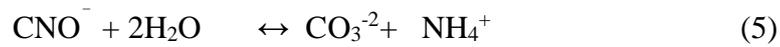
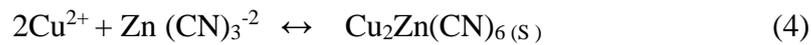
Estos procesos incluyen el proceso  $\text{SO}_2/\text{Aire}$  y el proceso de tratamiento con  $\text{H}_2\text{O}_2$ , además del proceso de cloración alcalina, los cuales se describen a continuación:

- **Tratamiento con  $\text{H}_2\text{O}_2$**

El peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), también conocido dioxidano es un compuesto con alto poder oxidante, usado en los procesos de destrucción del cianuro (Pérez, 2007). Se han desarrollado dos procesos para la destrucción del cianuro libre y los complejos de cianuro los cuales se detallan a continuación:

- El primero es denominado proceso Kastone (propuesto por la Dupont en 1974 y por Mathre y Devries en 1981), este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrógeno al 41 % y formaldehído y cobre (Zavaleta Garcia & Vásquez Briones, 2015).
- El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre en varias concentraciones, aunque es común no emplear las sales de cobre, debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados; las ecuaciones se describen a continuación:

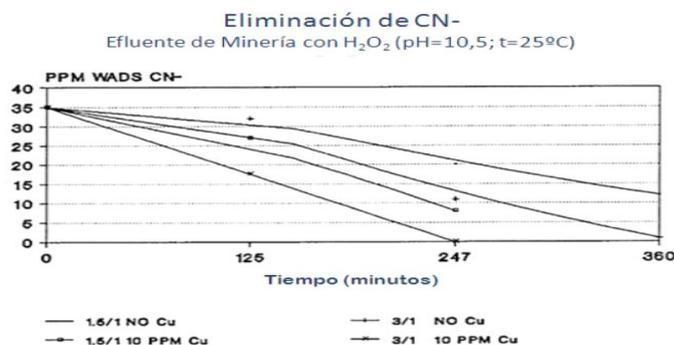




El peróxido de hidrógeno en presencia de al cianuro libre se oxida a cianato (1). El cianuro combinado con el cobre se oxidan a cianato durante el proceso(2). Los metales que quedan libres durante la oxidación se precipitan en forma de hidróxidos hasta alcanzar una concentración final que depende del pH del proceso. Los compuestos de cianuro ferroso se combinan con el cobre libre en disolución para formar un complejo insoluble(3). El pH óptimo para la eliminación de metales después de la destrucción del cianuro es 9.0 – 9.5 pH inferiores a 9.0 permiten la precipitación de cianuros de hierro, pero dado que la eliminación de metales tiene generalmente mayor importancia que la eliminación de cianuro de hierro, es preferible un pH más elevado en el proceso. El cianato formado se hidroliza espontáneamente formando el ion amonio e ion carbonato(5)(Pérez, 2007).

**Figura 5.**

*Eliminación de  $\text{CN}^-$  con  $\text{H}_2\text{O}_2$*



**Nota:**(Rupar Guere, 2016).



- **Ventajas y desventajas del proceso.**

**Las ventajas son:**

- Los costos de capital son iguales o menores que los correspondientes a otros procesos de tratamiento químico.
- El proceso es relativamente sencillo de diseño y funcionamiento.
- Pueden reducirse a contenidos ambientalmente aceptables todas las formas de cianuro, incluidos los complejos que contienen hierro.
- Los metales pesados se reducen apreciablemente por precipitación.
- El proceso es adaptable a operaciones de tratamiento de tipo continuo y discontinuo.
- El proceso se ha empleado en el tratamiento de pulpas, disoluciones de
- El proceso ha demostrado ser eficaz en laboratorio y en instalaciones industriales.
- No hace falta una regulación muy estricta del pH.
- El proceso no produce cantidades grandes de lodo residual y no introduce cantidades apreciables de sólidos disueltos.

**Las desventajas son:**

- El costo de consumo de sulfato de cobre y de peróxido de hidrógeno como reactivos pueden ser excesivos.
- El proceso no elimina el amoníaco ni el tiocianato.



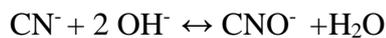
- Puede ser preciso un tratamiento suplementario si las concentraciones de amoníaco, tiocianato y metales en el efluente residual sobrepasan los niveles ambientalmente aceptables.
- El cianuro no es recuperado del proceso.

### **Tratamiento con UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

El tratamiento con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para la destrucción del cianuro, ha sido mejorado con el empleo de un fotoactivador; en este proceso la irradiación de la luz ultravioleta en un rango de longitud de onda de 254 nm sobre la solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> genera radicales libres OH<sup>-</sup>.



Los radicales formados son muy reactivos con los cianuros, oxidándolos hasta cianatos.



Este proceso presenta una alta efectividad en la degradación del cianuro, sin embargo uno de los mayores inconvenientes es el uso de fotoactivadores ya que limitaría su uso en soluciones claras, ya que los sólidos en suspensión reduciría la absorción de la radiación UV en agua (Pérez, 2007).

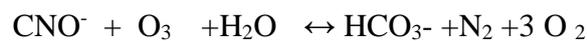
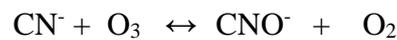
### **- Ozonización**

Este es un proceso muy rápido, que ocasiona la completa degradación del cianuro, cianatos y tiocianatos, los agentes oxidantes aplicados en el proceso son una mezcla de ozono O<sub>3</sub> y O<sub>2</sub> (3% en volumen), de los cuales se aprovecha su baja solubilidad en el agua para un contacto muy eficiente entre el O<sub>3</sub> y el CN<sup>-</sup>.



La degradación dependerá del efecto que ejerza diferentes factores como: p H, temperatura, velocidad de agitación y el rango de flujo descendente de los coeficientes de transferencia de masa (Fárez et al., 2011).

La ozonización de soluciones acuosas de cianuro, muestran que para la oxidación de 1 mol de  $\text{CN}^-$ , se requerirá 1 mol de  $\text{O}_3$ , produciendo 1 mol de cianato y oxígeno molecular (proceso denominado ozonización simple), seguidamente el cianato se oxida lentamente por el ozono disponible según las siguientes ecuaciones:



Los procesos de oxidación por ozonización se dan con un riguroso control de p H, ya que el hidrogeno puede descomponer al ozono, siendo la oxidación menos efectiva a p H mayores de 11.

#### - **Proceso $\text{SO}_2$ /aire**

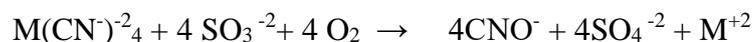
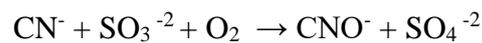
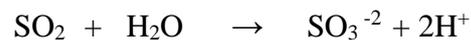
El proceso se desarrolla mediante:

##### **a.-El proceso Noranda**

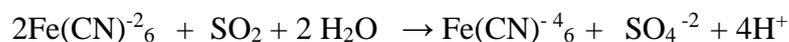
Proceso que utiliza  $\text{SO}_2$  puro para bajar el pH hasta el rango de 7-9, posteriormente se añade una solución de sulfato de cobre para generar el efluente que contenga cianuro.

## b.-Proceso INCO

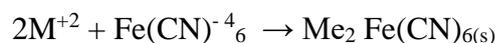
Este proceso requiere de la presencia del  $\text{SO}_2$ , que actúa como agente oxidante además de un catalizador Cu; en el se observa la oxidación del cianuro WAD a cianato, los parámetros que controlan el proceso son: el pH, la cantidad de  $\text{SO}_2$  y Cu adicionada, la velocidad de alimentación y el tiempo de retención (Campos C.; De la Torre E., 2015). El proceso inicia cuando el  $\text{SO}_2$  disuelto en la solución (pH alcalino) se transforma a ion sulfito  $\text{SO}_3^{-2}$  (reactante del proceso INCO), a su vez este transforma el  $\text{CN}^-$  a  $\text{CNO}^-$ . La conversión se desarrolla de acuerdo a las siguientes ecuaciones:



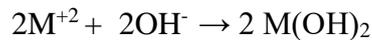
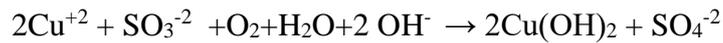
La minería polimetálica presenta en sus relaves mineros cianuro de hierro, compuesto que sufre reducción del  $\text{Fe}^{+3}$  a  $\text{Fe}^{+2}$ , posteriormente los complejos de cianuro ferrosos precipitan con el Cu, Ni y Zn. Según las siguientes ecuaciones:



Seguidamente los complejos de cianuro ferroso precipitan con los metales reaccionantes:



Los metales restantes precipitan en forma de hidróxidos, tal como se describe la precipitación del Cu en la siguiente ecuación:



#### - **Proceso de degradación del cianuro con Sulfato ferroso**

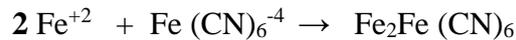
El sulfato de hierro (II) es un compuesto químico iónico de fórmula  $\text{FeSO}_4$ , también llamado sulfato ferroso, caparrosa verde, vitriolo verde, vitriolo de hierro, melanterita, se encuentra casi siempre en forma de sal heptahidratada, de color azul-verdoso. El sulfato de hierro (II) puede encontrarse en varios estados de hidratación, y varias formas de estas existen en la naturaleza.

- $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (mineral: szomolnokita)
- $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (mineral: siderotilo)
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (mineral: melanterita)

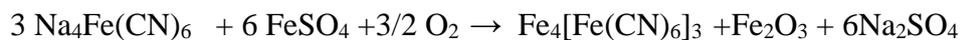
La toxicidad del cianuro disminuye con un exceso de sal de hierro(II) adicionado a una solución que contenga cianuro de hierro, desarrollado en medios relativamente alcalino (pH en el rango 7.5 a 10.5). La adición de iones  $\text{Fe}(\text{II})$  a la solución antes mencionada forma un precipitado de color azul (azul de turnbull).

#### - **Química del Proceso**

La adición de un exceso de  $\text{Fe}(\text{II})$  a una solución de mina con concentraciones elevadas de cianuro libre forma un complejo de cianuro Ferroso estable, que reacciona con el ion  $\text{Fe}(\text{III})$  y dan lugar a la formación de un precipitado insoluble de color azul de Prusia de fórmula  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3^-$  (Berlanga, 2014), las reacciones se describen a continuación:



El producto obtenido correspondiente al ferrocianuro ferroso insoluble se oxida transformándose a ferrocianuro férrico, a continuación se describen las ecuaciones:



Estos procesos reducen la concentración de cianuro libre y también es eficaz para controlar las altas concentraciones de otros metales en solución (Norando 1994, Königsmann et al 1999).

La termodinámica del proceso puede ser explicado según el diagrama potencial p H para el sistema Fe-CN-H<sub>2</sub>O observado en la figura..... del cual se desprende que el  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$  es inestable al ser oxidado con el agua, mostrando la misma inestabilidad a diferentes pH, ante ello diversos investigadores reportarán que ferrocianuro se oxida rápidamente a ferricianuro en medios ácidos con exposición a la luz solar. Así también ferrocianuro es inestable ante la descomposición del complejo y la precipitación del  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; también mencionan que la concentración del CN es directamente proporcional con la estabilidad del ferrocianuro (Berlanga, 2014).



En el proceso el Fe(II) es adicionado a la disolución para reducir el pH hasta valores cercanos de 8.5, valor donde se dara la precipitación maxima del cianuro en forma de complejos, el tiempo aproximado sera de 15 a 30 minutos.

El precipido de cianuros complejos puede convertirse a cianuro libre por cambio brusco de p H, por lo que se hace necesario su control ya que el cianuro complejo de hierro estable presenta velocidades de degradación muy reducidas, siendo necesarios periodos de tiempos mas largos para concentraciones aceptables. Por otro lado se ha de considerar que este proceso ocasiona tambien la presencia de grandes concentraciones de Fe sobre los sólidos haciendo que estos sean residuos peligrosos.

Ademas, la naturaleza acida de los cianuros precipitados pueden ocasionar la generación de agua acida de mina. En este entender, se hace necesario la aplicación de un proceso compatible con el presente a fin de evitar la problemática presentada.

#### **2.2.10. Proceso propuesto para la degradación del cianuro**

Actualmente existen varias formas o procesos de tratar las descargas de residuos cianurados al ambiente, bien sea por procesos tradicionales de separación o de remediación. Los procesos tradicionales de separación transfieren la sustancia tóxica de una corriente a otra, por lo cual el problema de fondo subsiste. Los procesos de remediación buscan, por su parte, degradar estas sustancias y transformarlas en otras no tóxicas o menos tóxicas (Gil y Giraldo, 2005)

Los efluentes procedentes de procesos industriales y de laboratorios metalúrgicos, tales como recubrimientos metálicos, flotación de menas complejas de Cu-Pb-Zn, lixiviación de oro y plata, refinación de minerales de oro y plata,



cementación de aceros, entre otros, contienen distintas formas de cianuros que, por su alta toxicidad, han de tratarse antes de ser vertidos al colector público, a un río, lago o mar.

Para la problemática antes mencionada se presenta nuevos procesos de degradación eficientes, tales como:

1. Proceso foto lítico – proceso de oxidación.
2. proceso de degradación con sulfato ferroso - peróxido
3. Proceso foto catalítico – proceso biotecnológico

En este trabajo se ha investigado la segunda alternativa, que se denomina **proceso** de degradación con sulfato ferroso - peróxido donde la primera Etapa consiste en la adición de sulfato ferroso (precipitante) y la segunda etapa adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (oxidante).

### **2.2.11. Propuesta de manejo ambiental de los residuos de cianuración oro, plata y relave de flotación**

El estudio pretende proponer un protocolo para realizar un manejo adecuado de los residuos de cianuración de oro, plata y flotación de minerales sulfurados complejos generados por la realización de prácticas y estudios de investigación, el cual permite aplicar las normativas vigentes, documentando los procedimientos y observaciones, de manera tal que puedan surgir propuestas o recomendaciones que permitan incorporarlas a la práctica cotidiana y así reducir los efectos secundarios sobre la salud y al medio ambiente, que devienen del uso de los reactivos químicos (reactivos de flotación, cianuro, etc.) y los residuos sólidos y líquidos (relaves y efluentes líquidos) generados en el Laboratorio de



Mineralurgia y Procesamiento de Minerales con oro y plata (Smith, Adrián; Mudder, Terry. 1991).

Este protocolo o procedimiento para la gestión de residuos peligrosos tiene que aplicar una estrategia jerarquizada, la cual debe señalar una adecuada prioridad:

- Minimizar
- Tratar
- Disponer

Esto permite seleccionar alternativas que resulten no solamente efectivas y económicas, sino que minimicen la generación de residuos sólidos peligrosos ajustando el número de pruebas, y reciclaje de los mismos. Si no es posible minimizar un determinado residuo peligroso, la siguiente alternativa es someterlo a tratamiento físico-químico de forma a eliminar las características de toxicidad, es decir, destruyendo el cianuro libre, el cianuro total, etc., luego tomar la opción de disposición final del residuo peligroso.

Por los conceptos antes expuestos, los investigadores, y alumnos que realizan pruebas de cianuración de oro y plata, prácticas de laboratorio, etc., deben asumir que las medidas de seguridad como al medio ambiente no terminan al finalizar el experimento o trabajo práctico, sino cuando se haya hecho el manejo adecuado de los residuos generados, o mejor dicho, que se haya hecho gestión ambiental de los mismos. Por cuanto se tiene conocimiento que la eliminación inadecuada de los relaves, reactivos y productos utilizados o la ausencia de identificación de los residuos son causas frecuentes de contaminación ambiental



y de accidentes. Es por eso que, antes que nada, es preciso formular un manual de manejo de residuos peligrosos que reúna la información actualizada sobre los aspectos legales y normas vigentes y en función de ello estructurar una reglamentación del manejo, riesgo, almacenamiento y eliminación de los residuos generados – relave mineral, soluciones sobrantes de los reactivos empleados en el laboratorio, etc. y que contenga, además, los procedimientos o protocolos adecuados para la gestión de los mismos (Gaviria, Ana; Meza, Luis. 2006).

### **2.2.12. Manejo de relaves**

Para el correcto almacenamiento de los relaves de la planta de concentración y de los sólidos lixiviados se debe contar con depósitos apropiados para cada caso ubicados a escasos 500 metros de la Planta y diseñados para cubrir las necesidades de almacenamiento de relaves para los próximos 15 años a los actuales niveles de operación.

El depósito para el relave de flotación está diseñado para un crecimiento de tipo "Eje Central" con un talud de gradiente de 4 a 1 construido con la fracción gruesa de los relaves. Los depósitos para los relaves de cianuración están constituidos por varios módulos revestidos interiormente con geomembranas de polietileno de 1.5 mm de espesor. El 100% de solución colectada de estas relaveras es reciclada a la planta de cianuración mediante bombeo en forma permanente.

En materia de recuperación, conservación y mejoramiento del medio ambiente no sólo está abocada a desarrollar actividades de tipo agrícola sino viene ejecutando un agresivo programa de control de efluentes líquidos de degradación de cianuro. En este sentido se debe realizar fuertes inversiones en la adquisición



de geomembranas de polietileno para las canchas de cianuración habiendo logrado el objetivo de reciclar a la planta el 100% de este efluente (Álvarez García, Rodrigo. 2005)

La forestación de algunas áreas ya es notoria, por cuanto se debe sembrar plántones de eucaliptos donde antes no existían. Adicionalmente, el programa de reforestación comprende el siembra de 280 000 plántones de eucaliptos que es la variedad que mejor se ha adaptado a las condiciones de altura y clima imperantes en la zona.

Al inicio del programa la empresa debe adquirir los plántones requeridos sembrándolos en su propio vivero, desde el que se abastece a todas sus áreas de operación. Respecto a la siembra de cultivos en las canchas de relaves, se ha experimentado con cultivos como la papa, la que ha dado grandes resultados de productividad por hectárea. (Botz, Mike. 1999)

### **2.2.13. Información sobre los riesgos**

La información o comunicación sobre riesgos es un componente clave en cualquier programa integral para tratar adecuadamente los riesgos relacionados con el cianuro en el ambiente minero. La comunicación debe efectuarse tanto dentro de la planta operativa como externamente al público.

La educación y la capacitación interna de los gerentes y los trabajadores en un emplazamiento minero son críticas. Los empleados de una mina o de cualquier otra instalación industrial también son miembros del público que vive cerca del emplazamiento. Ellos y sus familias, amigos y vecinos tienen muchas de las mismas preocupaciones por el uso seguro del cianuro y por la protección del ambiente que cualquier otra persona que viva en las cercanías. Por lo tanto, la



comunicación apropiada de toda la información relacionada con el cianuro al personal interno es el primer paso en la comunicación al público en general de la naturaleza y el alcance del riesgo (Quiroz, Germán. 2004).

Las prácticas de administración de la mina respecto al cianuro deben hacerse públicas e implementarse a través de programas que sean explicados a los miembros de las comunidades locales por aquellos representantes de la compañía que sean eficaces comunicadores. Al mismo tiempo, los programas de relaciones positivas con la comunidad pueden aportar tanto sustancia como forma, y servir para demostrar a la población en general que el cianuro y otros peligros se están manejando sin riesgos para la comunidad. En la actualidad, un número creciente de compañías mineras de todo el mundo ha adoptado este enfoque y de este modo ha abierto las líneas de comunicación con las comunidades locales para el mayor beneficio de todas las partes involucradas.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Tipo de investigación

La investigación será del tipo explicativa, ya que estudia la relación causa-efecto, entre la variable independiente (concentración del cianuro, tiempo y pH) y las variables dependientes (degradación de cianuro).

##### 3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño factorial ofrecerá información de las interacciones entre variables y su efecto en la degradación de cianuro, además del grado de significancia y el error existente. Para el desarrollo del trabajo de investigación se planteó utilizar el diseño experimental del tipo  $2^k$  factorial donde se evaluó tres variables independientes: pH, concentración de  $CN^-$  y el tiempo de degradación del cianuro, teniendo como variable dependiente o variable respuesta la degradación del cianuro de los efluentes presente en los relaves (tabla 7). El número de experimentos fue calculado por el factorial  $2^k$ , de lo cual resultó 8 pruebas, con tres replicas en el punto central. La interacción de cada factores en su nivel mínimos y máximos se observan en la tabla 7

**Tabla 7.**

*Determinación de factores*

Factores	Unidad	Nivel	Nivel
		Mínimo	Máximo.
Z1 Determinación de Tiempo	Minutos.	6000	12960
Z2 Determinación de pH	pH.	10	11
Z3 Concentración de CN <sup>-</sup>	ppm	1000	1633

**Tabla 8.**

*Matriz de Diseño Factorial para evaluar el porcentaje de degradación del cianuro*

Nº	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y CN <sup>-</sup>
1	6000	10	1000	-1	-1	-1	1	1	1	-1	
2	12960	10	1000	1	-1	-1	-1	-1	1	1	
3	6000	11	1000	-1	1	-1	-1	1	-1	1	
4	12960	11	1000	1	1	-1	1	-1	-1	-1	
5	6000	10	1633	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
6	12960	10	1633	1	-1	1	-1	1	-1	-1	
7	6000	11	1633	-1	1	1	-1	-1	1	-1	
8	12960	11	1633	1	1	1	1	1	1	1	
9	9480	10.5	1316.5	0	0	0	0	0	0	0	
9	9480	10.5	1316.5	0	0	0	0	0	0	0	
9	9480	10.5	1316.5	0	0	0	0	0	0	0	

### 3.2. VARIABLES DE ESTUDIO Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Definición de las variables de estudio:

**Tabla 9.**

*Operacionalización de variables*

NOMBRE DE LA VARIABLE	SÍMBOLO	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA
Evaluación de la degradación del cianuro	Y	Dependiente continua	ppm
Concentración del cianuro	X <sub>1</sub>	Independiente continua	ppm
PH	X <sub>2</sub>	Independiente continua	pH
Tiempo	X <sub>3</sub>	Independiente continua	horas

### 3.3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación fue desarrollada en la minera aurífera Retama S. A(MARSA) ubicada en el anexo Llacubamba a 3900 msnm, distrito de Parcoy, provincia Pataz, departamento de la libertad a 180 Km de la ciudad de Trujillo. Con las coordenadas Latitud Sur : 08° 02' Longitud Oeste : 77° 20' Coordenadas UTM x:9112514, y: 22712318L.

**Figura 6.**

*Ubicación de la compañía minera Retama S. A(MARSA)*



**Nota:** (Hinostroza-Campos, 2019).



### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1. Población**

La minera aurífera Retama S. A realiza actividades auríferas mediante proceso de flotación de piritas y cianuración del oro, la actividad extractiva en mina ha provocado la contaminación por los residuos generados los cuales provocaron la contaminación del suelo y agua; por tal motivo la población en estudio son los residuos peligrosos generados en cada una de sus etapas.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra fueron soluciones contaminadas con cianuro con un contenido aproximado de 1633 ppm de  $\text{CN}^-$  en volumen de  $10 \text{ m}^3$ .

### **3.5. REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **3.5.1. Reactivos**

- Sulfato Ferroso
- Peróxido de Hidrogeno
- Solución de Nitrato de Plata
- Ioduro de Potasio
- Agua destilada

#### **3.5.2. Materiales**

Frascos de muestreo

- Vasos de precipitado de 500 mL



- Probetas de 500 mL
- Buretas de 50 ML
- Picetas
- Pipetas de 10 mL

### 3.5.3. Equipos

- Tanques de agitación
- Sedimentador de cono
- Pozas de decantación y oxidación
- Potenciómetro
- Agitador mecánico
- Bomba peristáltica
- Cronometro

## 3.6. PROCEDIMIENTO

La presente investigación se desarrolló en la Minera Aurífera Retamas S.A y tiene por finalidad determinar los parámetros óptimos (pH, tiempo y concentración de cianuro) que permitan obtener el mayor porcentaje de remoción de cianuro de los efluentes provenientes de la minera MARSA a continuación se detalla el procedimiento:

El volumen de efluente con el cual se inició la investigación fue de 10 m<sup>3</sup>/h en cada tratamiento, para la realización de esta investigación se procedió a la formación de 8 tratamiento con 3 repeticiones según diseño experimental observado en la tabla 8 con



niveles máximos y mínimos de pH( 10-11), tiempo de degradación(6000-12960min) y concentración de cianuro(1000-1633ppm).

Cada unidad experimental fue desarrollada en un agitador de capacidad 1500 m<sup>3</sup> en el cual se recirculo 10 m<sup>3</sup>/h de efluente contaminado con cianuro( proveniente del proceso de extracción de oro), la concentración de cianuro y el pH del efluente fue dispuesto según el diseño experimental propuesto en la tabla 8, en esta condiciones se adiciono 5% de sulfato ferroso y 0.1 % de floculante. En esta etapa se busca la precipitación del cianuro en forma de ferrocianuro ferroso(forma insoluble del cianuro).

Posteriormente el líquido sobrenadante de la etapa anterior es transportado hacia el tanque de oxidación donde se adicionara 7.5 Kg de peróxido de hidrógeno. La adición del peróxido de hidrógeno tiene por finalidad oxidar las formas solubles de cianuro a cianato que al hidrolizarse formara ion carbonato y amonio. Terminado el proceso se evalúa la concentración final del cianuro si este, fuese inferior a 3.5 ppm se procederá a la neutralización del efluente oxidado con carbonato de calcio al 100% de pureza, de lo contrario el efluente será nuevamente tratado con 0.57 Kg de peróxido de hidrogeno. La neutralización de la solución tratada se da con la finalidad de inmovilizar a los metales pesados presentes en la solución tratada.

Otra capacidad muy importante del peróxido de hidrógeno es la de precipitar a los metales pesados que se encuentren asociados a complejos débiles en forma de hidróxidos, como es el caso de complejo de Fe, Hg, Zn y Cu.

Después del tiempo dispuesto según diseño experimental (6000 y 12960 min) se tomó 500 ml de muestra del tanque de oxidación, ello con la finalidad de determinar la concentración de cianuro y reducción de este durante el tiempo. El método para



determinar la concentración de cianuro fue por absorción atómica. Para determinar el porcentaje de remoción de cianuro se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción CN} = \frac{CN_o - CN_f}{CN_o} \times 100$$

Donde:

CNo = Concentración inicial de cianuro

CNf= Concentración final de cianuro

### 3.6. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis estadístico se realizó en MS excel, con arreglo factorial  $2^3$ , con tres repeticiones. Los factores analizados fueron pH, tiempo de degradación y concentración final de cianuro, en cuanto a los niveles fueron dos niveles en sus valores mínimos y máximos.

1 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

**Donde:**

$Y_{ijk}$  = es la variable respuesta de la k-ésima muestral de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

$\mu$  = la medida general poblacional

$\beta_j$  = es el verdadero efecto del j-ésimo bloque

$\tau\beta_{ij}$  = es el efecto verdadero de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.



$\varepsilon_{ijk}$  = es el efecto verdadero aleatorio del error muestral en la k-ésima subunidad de la j-ésimo unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

## 2.- Planteamiento de la hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

## 3.- Nivel de significancia

$$\alpha = 0.01$$

## 4.- Estadístico prueba

Se calculo el valor de  $F_c$  a través del análisis de varianza

## 5.-Región crítica

A un nivel de significancia  $\alpha = 0.01$ , con a-1, N-a grados de libertad

## 6.- Conclusión

Si  $F_c > F_{\alpha, a-1, N-a}$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### 3.7.1.- Prueba de hipótesis

El estadístico prueba esta dado por:

$$tc = \frac{X - \mu_0}{S/\sqrt{n}} x$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Resultados del porcentaje de remoción de cianuro

Los resultados del porcentaje de remoción de cianuro según diseño experimental, se observan en la tabla 10, en la que se muestra la interacción de las variables pH( 10-11), tiempo(6000-12960min) y concentración de cianuro(1000-1633ppm) se observan en la tabla 8, en ella el tratamiento 4 presento el 92% de remoción indicando que a pH=11, t= 1000 min y concentración de cianuro= 12960 mg/L, son los parámetros con mayor porcentaje de remoción, estos resultados fueron corroborados con el análisis de varianza aplicado (tabla 11) el cual permite determinar el grado de significancia de las variables antes mencionadas sobre la variable respuesta que es el porcentaje de remoción del cianuro. Los resultados son coincidentes con Campos C.; De la Torre E.,(2015) quienes también reportaron altos porcentajes de remoción de Cianuro a pH en un rango de 10 a 11 en un tiempo de 480 minutos

**Tabla 10.**

*Resultados de la concentración de cianuro después del tratamiento con sulfato ferroso-peróxido de hidrogeno*

Nº	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y CN <sup>-</sup>
1	6000	10	1000	-1	-1	-1	1	1	1	-1	87.7
2	12960	10	1000	1	-1	-1	-1	-1	1	1	90.4
3	6000	11	1000	-1	1	-1	-1	1	-1	1	87.5
4	12960	11	1000	1	1	-1	1	-1	-1	-1	92.0
5	6000	10	1633	-1	-1	1	1	-1	-1	1	84.0
6	12960	10	1633	1	-1	1	-1	1	-1	-1	86.4
7	6000	11	1633	-1	1	1	-1	-1	1	-1	85.0
8	12960	11	1633	1	1	1	1	1	1	1	88.2
<b>9</b>	<b>9480</b>	<b>10.5</b>	<b>1316.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88.5</b>
<b>9</b>	<b>9480</b>	<b>10.5</b>	<b>1316.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88.7</b>
<b>9</b>	<b>9480</b>	<b>10.5</b>	<b>1316.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88.9</b>
<b>PRODUCTOS</b>				<b>12.8</b>	<b>4.2</b>	<b>-14</b>	<b>2.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>1.4</b>	<b>-1</b>	
<b>EFFECTOS /4</b>				<b>3.2</b>	<b>1.05</b>	<b>-3.5</b>	<b>0.65</b>	<b>-0.4</b>	<b>0.35</b>	<b>-0.25</b>	

Nota: Elaboracion Propia

En la tabla 10 se observa que, para un nivel de significancia del 99% el estadístico Fisher F de tablas estadísticas con un grado de libertad para los efectos de variables y 2 grados de libertad para las repeticiones ( $3-1 = 2$ ), permiten evaluar el error estadístico de los resultados obtenidos, observando de ello que la variable X<sub>1</sub> (tiempo) tiene influencia sobre el porcentaje de remoción, ya que  $F_0 > F(512 > 98.5)$ , así mismo X<sub>3</sub> (concentración de ion cianuro)  $F: 612.5 > 98.5$  por lo que la variable tiempo y concentración si influye en la remoción de cianuro.

**Tabla 11.**

*Análisis de varianza para determinar el grado de significancia de las variables pH, tiempo y concentración del cianuro.*

Variable	Cuadrado de la suma (S.C)	Grados de libertad (g.L)	Media cuadrático (S.Cm)	F exp. F°	F t F	Nivel de sig.
X <sub>1</sub>	20.48	1	20.48	512	Si	98.5
X <sub>2</sub>	2.205	1	2.205	55.125	No	98.5
X <sub>3</sub>	24.5	1	24.5	612.5	Si	98.5
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.845	1	0.845	21.125	No	98.5
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.32	1	0.32	8	No	98.5
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.245	1	0.245	6.125	No	98.5
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.125	1	0.125	3.125	No	98.5
Curvatura	2.405	1	2.40545	60.1364	Si	98.5
Error	0.08	2	0.04			

**Nota:** Elaboración propia

$$SS_{\text{curvatura}} = \frac{(N)(n)(\sum \bar{Y} - \bar{Y}^{\circ})}{N-n} = \frac{(8)(3)(87.65 - 88.7)}{8+3} = 2.4054$$

$$SS_{\text{error}} = \sum_{n=1}^3 (\bar{Y}^{\circ}_1 - \bar{Y}^{\circ})$$

$$SS_{\text{error}} = (88.5 - 88.7)^2 + (88.7 - 88.7)^2 + (88.9 - 88.7)^2 = 0.08$$

De acuerdo a las interacciones de las variables la variable respuesta esta dada por la siguiente ecuación:

$$Y = 87.65 + \frac{12.8X_1}{8} - \frac{14X_3}{8}$$

$$Y = 87.65 + 1.6X_1 - 1.75 X_3$$

El modelo estadístico, fue validado mediante el análisis de los residuos, que se muestra en la tabla 12:

**Tabla 12.**

*Análisis de residuos para validación del modelo estadístico*

N°	X <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	Tiempo	pH	CN	Y <sub>ex</sub>	Y <sub>cal</sub>	Y <sub>ex</sub> -Y <sub>c</sub>	(ΔY) <sup>2</sup>
1	-1	-1	6000	10	1000	87.7	87.8	-0.1	0.01
2	1	-1	12960	10	1000	90.4	91	-0.6	0.36
3	-1	-1	6000	11	1000	87.5	87.8	-0.3	0.09
4	1	-1	12960	11	1000	92	91	1	1
5	-1	1	6000	10	1633	84	84.3	-0.3	0.09
6	1	1	12960	10	1633	86.4	87.5	-1.1	1.21
7	-1	1	6000	11	1633	85	84.3	0.7	0.49
8	1	1	12960	11	1633	88.2	87.5	0.7	0.49
									3.74

$$Y_{ex} - T_C = \text{Residual}$$

$$\Delta Y^2 = \text{Cuadrado del residual}$$

Media de la suma de cuadrados de los residuales (SSM)

$$SSM = \frac{3.74}{5} = 2.8$$

**Donde:**

8 = número de pruebas

3 = Numero de repeticiones

$$F_o = \frac{\frac{SSM}{2}}{\frac{SS_{curvatura}}{2}} = \frac{\frac{3.74}{2}}{\frac{2.4055}{2}} = 3.1096$$

Para un nivel de confianza de 95% con 5 grados de libertad (8-3 = 5) de los

ensayos y 2 grados de libertad de los errores, según tablas estadísticas, F = 19.30

Si  $F_o < F$  (condición necesaria para la validez del moldeo estadístico)

$3.1096 < 19.30$ , por tanto el modelo estadístico es válido.

De acuerdo a la tabla 10 las mejores condiciones de operación se presentan en la cuarta prueba (N=4) puesto que la respuesta  $Y_c =$  calculada es menor a la  $Y_c$  experimental, resultando ser este el tratamiento con mayor porcentaje de recuperación, recomendando operar en las siguientes condiciones:

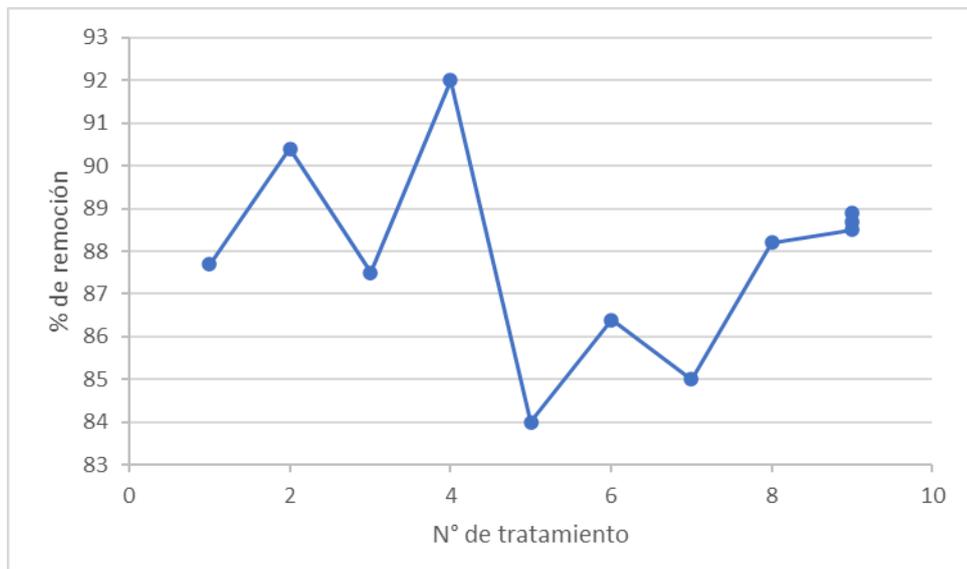
$X_1 = 12960$  minutos

$X_2 = 11$  pH

$X_3 = 1000$  ppm.

### Figura 7.

*Variación del porcentaje de remoción según los tratamientos asignados*



**Tabla 13.**

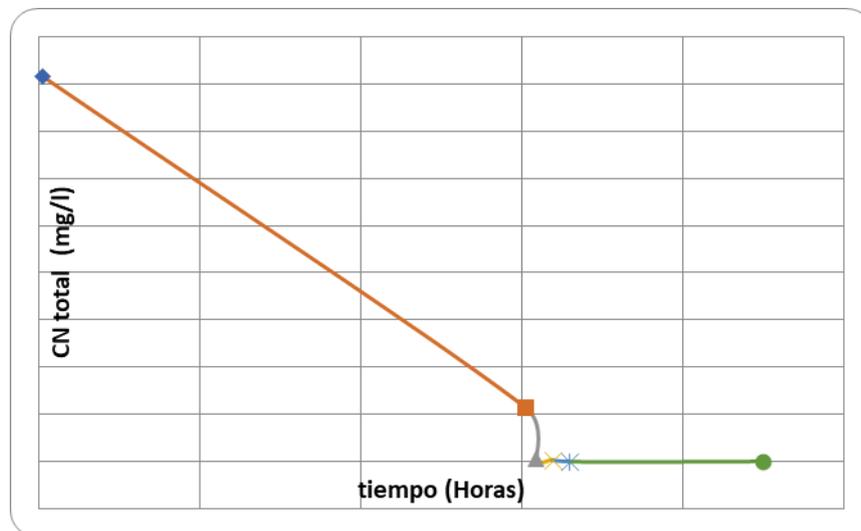
*Resultados de la concentración de cianuro en función del tiempo*

Código Muestra	de	Volumen (ml)	Tiempo(h)	pH	CN Libre ppm	CN T ppm
1858		500	0.97	11.2	700	1633
1859		500	150.97	6.5	20	227
1860		500	154.33	7	1	6.7
1861		500	159.53	9	< 1	4
1862		500	164.73	8.7	< 0.1	< 1
1863		500	224.73	9.4	< 0.1	< 1

**Nota:** MARSA

**Figura 8.**

*Variación de la concentración de cianuro total respecto al tiempo*



La tabla 13 y figura 9 muestran la reducción de la concentración de cianuro después de la aplicación de la solución sulfato ferrosos-peróxido de hidrógeno, en ella se observa que la concentración de cianuro va en descenso 700>20>1>1>0.1>0.1 el tiempo requerido para precipitar el cianuro con sulfato

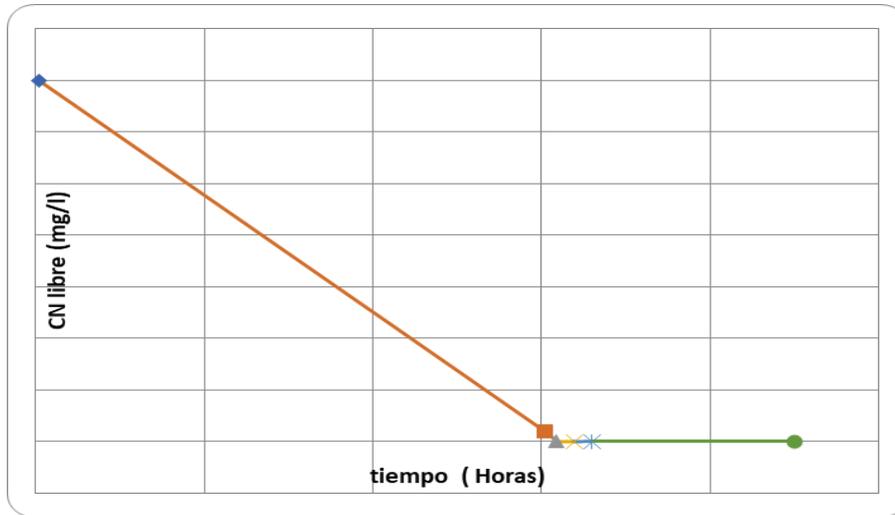


ferrosos-peroxido de hidrogeno fue de 224.73 horas. Ante ello Lima H. et al.,(2019), infiere que la eliminación del cianuro ocurre mediante oxidacion del cianuro en forma de cianatos realizado por la adiccion del peroxido de hidrogeno(potente oxidante), proceso ocurrido a pH=10, seguido de una precipitación dado por la adición de agregados acomplejantes de hierro en forma de sulfato ferroso, el primero reduce la concentración de cianuro libre y también controla los elevados niveles de metales oxidándolos y precipitándolos(Anulle Quispe & Puma Villanueva, 2015). Los resultados son coincidentes con lo reportado por Berlanga, (2014) quienes informaron que la concentracion de cianuro en relaves mineros provenientes de la Rinconada -Puno fueron inferiores a los LMP para relaves observado en la tabla 8.

En cuanto al tiempo la degradación de cianuro total y libre(tabla 13) figura 9 y 10 los resultados no coinciden con la investigación realizada por Rupay Guere,(2016)quienes reportarón que la degradación del cianuro en un porcentaje del 74% se relaizo en 180 minutos, pero el pH del medio en el cual se realizo la degradación fue de 10,concordante con los datos obtenidos.

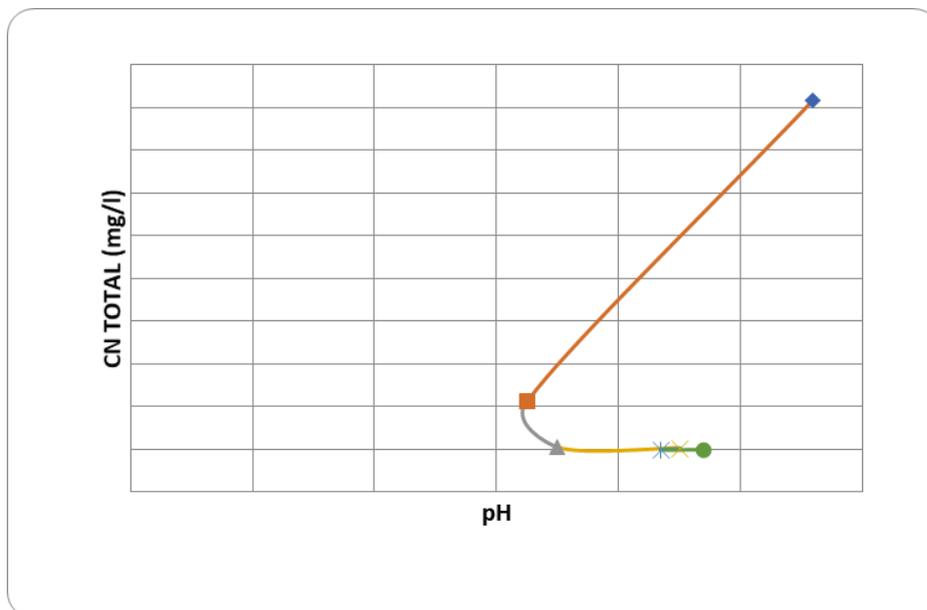
**Figura 9.**

*Variación de la concentración de cianuro libre respecto al tiempo*



**Figura 10.**

*Variación de la concentración de cianuro total con respecto al pH*



En cuanto a la variación de la concentración de cianuro total con respecto al pH observado en la figura 11 se observa mínimas concentraciones de cianuro a pH = 8.7 y 9.4 siendo esto coincidente con lo reportado por Berlanga, (2014), quien menciona que la máxima precipitación de las formas de cianuro complejante



se darán a  $\text{pH}=8.5$ , así mismo el autor menciona que a  $\text{pH}$  superiores a 10 las formas complejantes de cianuro se disolverán a la forma de cianuro libre estando presente en la solución.

#### **4.1.2. Tratamiento efluentes de metales pesados**

El objetivo de tratamiento de efluentes es proteger la calidad de las aguas receptoras a donde son vertidos, previamente se reduce la movilidad de los metales con la dosificación de cal, lo que provoca la precipitación de metales antes de llegar al cuerpo logrando que los efluentes contengan metales pesados en cantidades inferiores de los Estándares de Calidad ambiental. Ante ello la presente investigación no solo logro reducir la concentración de cianuro total y libre, sino también el método aplicado logro reducir la concentración de metales pesados emitidos en los efluentes, los valores obtenidos después del tratamiento se observan en la tabla 10. Por lo cual la presente investigación puede afirmar que la aplicación de sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno a los efluentes mineros permite la reducción en la concentración de metales pesados, ya que estos procesos permite que los metales pesados precipiten paulatinamente conforme se va dando la oxidación del cianuro total y libre llegando a los límites establecidos(Campos C.; De la Torre E., 2015).Para Anulle Quispe & Puma Villanueva,(2015) la disminución de la concentración de metales se debe a que el cianuro forma complejos con los metales como el Cu y Zn oxidados permitiendo la precipitación espontanea de estos en forma de hidróxidos lo cual se da a  $\text{pH}$  en el rango de 9-10.

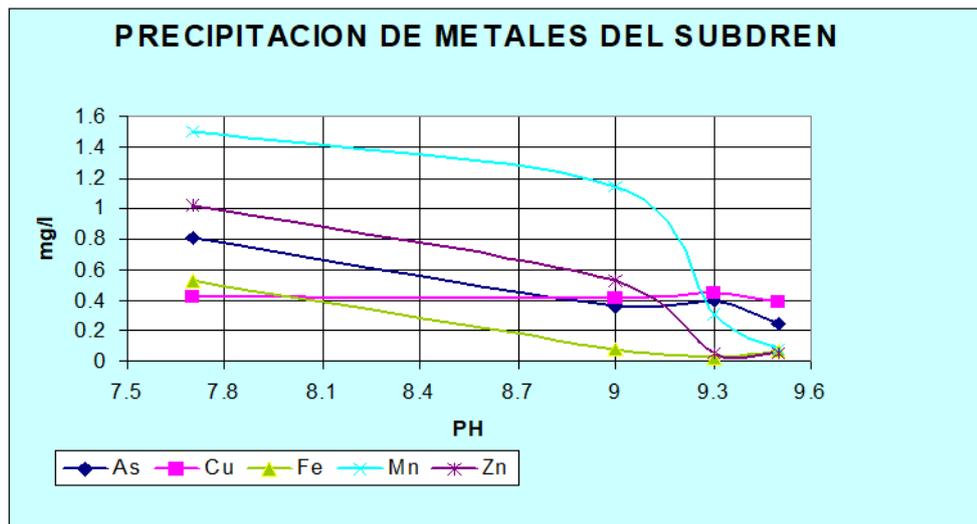
**Tabla 14.**

*Valores de metales pesados después del tratamiento*

CODIGO	AGUA									
	As		Cu		Fe		Mn		Zn	
	pH	mg/l	pH	mg/l	pH	mg/l	H	mg/l	pH	mg/l
1	7.7	0.8	7.7	0.4	7.7	0.5	7.7	1.5	7.7	1.01
2	9.0	0.4	9.0	0.4	9.0	0.09	9.0	1.2	9.0	0.72
3	9.3	0.4	9.3	0.4	9.3	0.02	9.3	0.5	9.3	0.03
4	9.4	0.2	9.4	0.4	9.4	0.03	9.4	0.1	9.4	0.04

**Figura 11.**

*Precipitación de metales en función del pH*





## V. CONCLUSIONES

- Para el proceso de degradación de cianuro se requiere  $\text{pH}=9.4$  logrando porcentajes de remoción del 92% con sulfato ferroso – peróxido de hidrógeno.
- La aplicación de sulfato ferroso – peróxido de hidrógeno a fluentes que contienen cianuro promueve la disminución de la concentración de cianuro total de 1633 ppm a 1 ppm
- El tiempo resulta ser determinante en el proceso de la degradación de efluentes a partir de relaves, con sulfato ferroso – peróxido. Siendo el óptimo de tiempo total de degradación experimentalmente es de 9.36 días o 224.73 horas.



## VI. RECOMENDACIONES

- Respecto al pH de 9.4 final se recomienda continuar con la investigación para que el pH tienda ser más básico. para proteger la calidad de las aguas receptoras a donde son vertidos.
- La concentración de cianuro total respecto al tiempo se recomienda que se lleve un control totalmente estricto. Para su mejor degradación y así optimizar sistemáticamente dicho proceso en la planta de tratamiento.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anulle Quispe, F., & Puma Villanueva, S. (2015). *aplicación del método de oxidación química con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) para la reducción del cianuro presente en los efluentes de la planta de beneficio sotrami s.a.*
- Arevalo, C. (2011). *Control de efluentes cianurados mediante la oxidación con Peróxido de Hidrogeno en un laboratorio de análisis de minerales.* 149.
- Argote, G., Espinoza, N., & Lannacone, J. (2015). Evaluación de la toxicidad letal media por exposición a cianuro libre en efluentes y relaves mineros utilizando los biomodelos *Brachydanio erio* Y *Eisenis andrei*. *Catedra Villareal*, 3, 83–88.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.24039/cv20153147>
- Aromi Lozada, K., & Morales Roca, Y. (2021). *Universidad\_Nacional\_Del\_Callao\_Facultad.*  
<http://hdl.handle.net/20.500.12952/5615>
- Berlanga, A. (2014). Implementación de procesos de destrucción de cianuros de los efluentes de la minería artesanal en la Rinconada-Puno. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5669>
- Campos C.; De la Torre E. (2015). Estudio de la Detoxificación de Efluentes Cianurados por Oxidación con Dióxido de Azufre, Aire y Catalizadores de Cobre. *Revista Politécnica*, 34(2), 49–58.
- Davalos Carlos, A., & Herrada Ruesta, A. (2020). Técnicas de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera. In *Universidad Andina del Cusco*. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fajardo, J.; Burbabo, D.; Apraez, N.; Rosero, M. (2005). Estudios de métodos químicos de remoción de cianuro presente en residuos de cianuración provenientes del proceso de extracción de oro de veta en el departamento de Nariño. *Luna Azul*, 31, 8–16.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321727233002>
- Fárez, C., Landi, P., & Parra, A. (2011). *Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en las aguas residuales de la*



*industria del galvanizado.* 198.  
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1083>

Garay, J., & Llatas, R. (2019). *Remoción de cianuro de sodio y cobre con peróxido de hidrógeno, sulfato de cobre y sulfhidrato de sodio de los efluentes de lixiviación en empresas mineras productoras de oro y plata.*

García Girón, A., & Loroña Calderon, F. (2022). Análisis comparativo del tratamiento de efluentes cianurados con peróxido de hidrógeno y metabisulfito de sodio. *Cátedra Villarreal*, 9(2). <https://doi.org/10.24039/cv2021921226>

Gasca-Torres, J. (2016). *Carbon activado de carácter básico para recuperar oro de lixiviados cianurados.*  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Gaviria, A., & Meza, L. (2006a). Analisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y solidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de marmato, Caldas. *Revista Dyna*, 73, 31–44.  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/496/49614904/49614904.html>

Gaviria, A., & Meza, L. (2006b). Analysis of Alternatives for the Degradation of the Cyanide in Liquids and Solids Efluentes of the County of Segovia , Antioquia and in the Ore Dressing Mill of the Mineros Nacionales, County of Marmato, Caldas. *Revista Dyna*, 73(149), 31–44.  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/496/49614904/49614904.html>

Güiza Suárez, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia \* Juridical Perspective of Environmental Impact on Water Resources Caused by Mining in Colombia. *Opinión Jurídica- Universidda de Medellín*, 123–140.  
<https://biblioproxy.umanizales.edu.co:2169/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=b100844f-2415-4319-b4fc-a52377ac411f%40sessionmgr4008&vid=3&hid=4204>



- Hinostroza-Campos, W. (2019). Caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea compañía minera aurífera Retamas S.A. In *Cerro de Pasco*. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/629/1/T026\\_71393625\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/629/1/T026_71393625_T.pdf)
- Lacabana, M. A. (2012). Impactos socioambientales de la minería del oro en Venezuela. De la apertura económica en los noventa a la renacionalización actual. *Theomai*, 25, 148–156.
- Laguna-M., J. (1996). ASPECTOS GEOQUIMICOS-AMBIENTALES DEL CIANURO Jorge Laguna M. *Revista Geologica de America Central*, 19/20, 167–173.
- Lima, E.; Hau, L.; Suero, A.; Huamani, R.; Ascuña, V. (2019). REUTILIZACION INDUSTRIAL MEDIANTE EL STUDY OF THE LIQUID EFFLUENTS OF CYANIDE COMPLEXES FOR INDUSTRIAL REUSE USING THE JARS. *Revista Boliviana de Química*, 36, 10–18.
- Lima H., E. R., Hau M., L. F., Suero R., A. F., Huamaní B., R. P., Aliaga V., I. E., Ascuña R., V. B., & Cruz P., S. (2019). Estudio De Los Efluentes Liquidos De Complejos Cianurados Para La Reutilizacion Industrial Mediante El Metodo De Jarras. *Revista Boliviana de Química*, 1(36.1), 10–18. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.1.2>
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. I. (2001). *El manejo del Cianuro en la extracción del oro*.
- Lozada, J. R. (2017). Opciones para una minería de oro que cumpla con las normas ambientales, en la Guayana venezolana. *Revista Geografica Venezolana*, 58, 464–483.
- Mudder, T., Botz, M. M., & Smith, A. (1991). Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes. In *Mining Journal Books Ltd. London*.
- Nava-Alonso, F., Elorza-Rodríguez, E., Uribe-Salas, A., & Pérez-Garibay, R. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración revisión de los principales métodos. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 43(1), 20–28. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2007.v43.i1.48>



- Pérez, B. F. (2007). *Desarrollo de un nuevo metodo para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina.*
- Ramírez, A. V. (2010). Cyanide toxicity. Bibliography research of its effects in animals and man. *An Fac Med*, 71(1), 54–61.
- Rupar Guere, F. (2016). *REMOCION DEL CIANURO CON EL COMPLEJO (CuSO 4-H 2 O 2 ) DE LOS EFLUENTES DE CIANURACION DE ORO PARA EVITAR RIESGOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE.*
- Rupay Guere, F. (2016). *REMOCION DEL CIANURO CON EL COMPLEJO (CuSO 4-H 2 O 2 ) DE LOS EFLUENTES DE CIANURACION DE ORO PARA EVITAR RIESGOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE.*
- Santiago, I. (2003). Intoxicación por gases. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(SUPPL. 1), 173–180. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272003000200010>
- Telvia Arias-Lafargue, M. I., David Fernández-Compta, I. I., Yoleidi Sánchez-Rodriguez, I. I., & Aramis Lasserra-Portuondo, I. I. (2017). Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 37(3), 461–476. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Zavaleta Garcia, L., & Vásquez Briones, V. (2015). *Efecto del pH y la concentración de sulfato de cobre sobre la degradación del cianuro de sodio en solución acuosa utilizando el proceso de aire SO2/aire.*



## ANEXOS

## Anexo 1. Evidencias fotográficas

**Sulfato de hierro**



**poza de sedimentación**



**Peróxido de hidrogeno**



**poza de sedimentación**

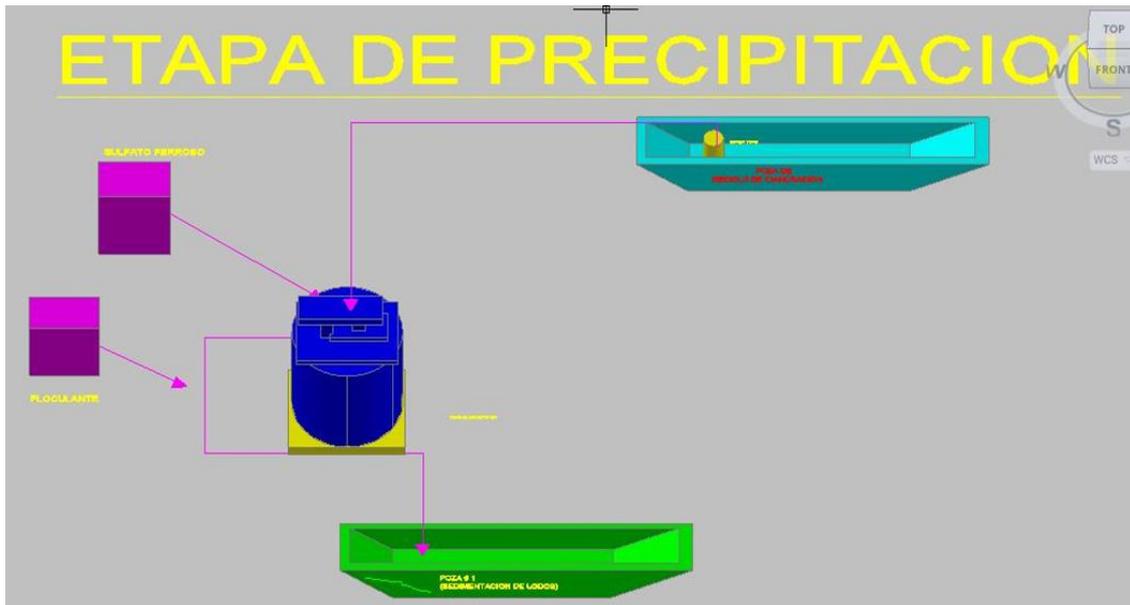


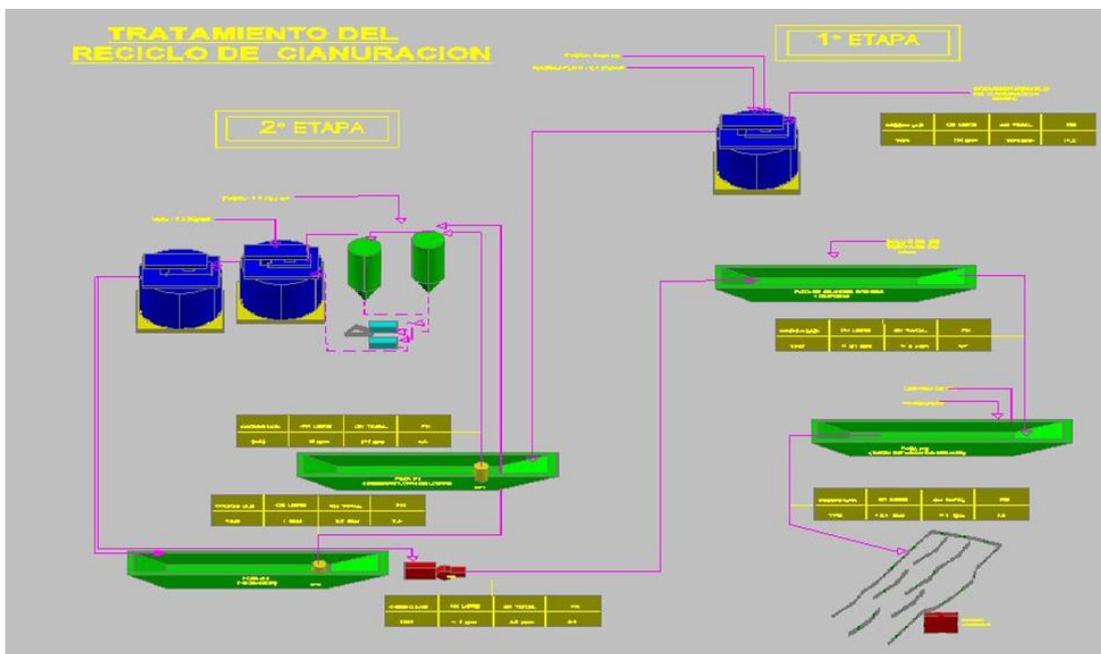
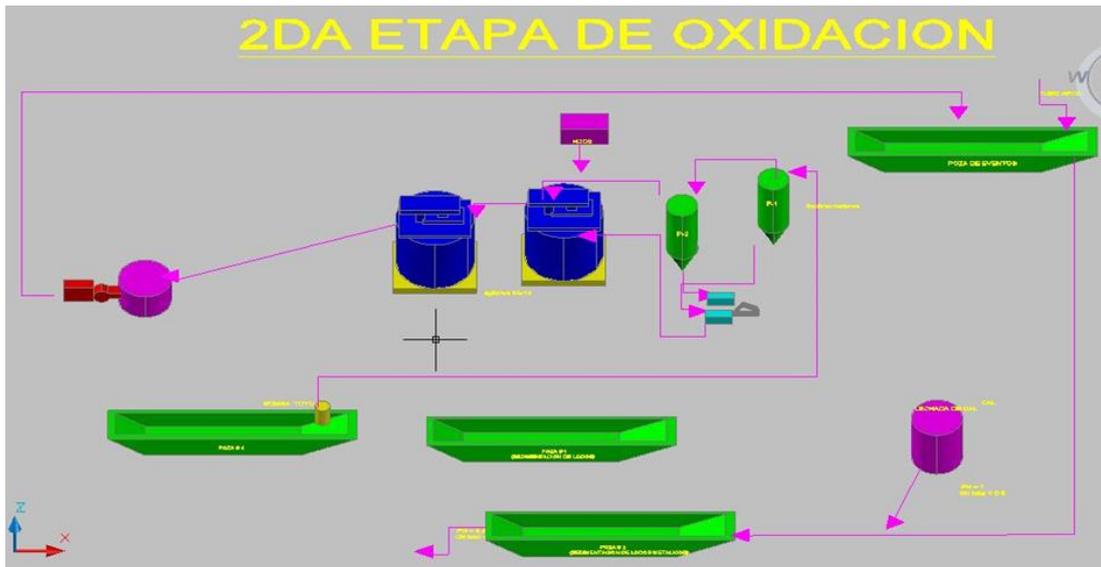
**Bidones de peróxido de hidrogeno**

**Planta beneficio**



## Anexo 2. Etapas de precipitación y oxidación





### Anexo 3. Tratamiento de degradación de cianuro

TRATAMIENTO DE DEGRADACION DE CIANURO			
SOLUCION RECICLO DE CIANURACION	10 m3	1633 ppm	
SOLUCION DE TUBO 4"	0 m3	0 ppm	
<b>FLUJO TOTAL</b>	<b>10 m3</b>	<b>1633 ppm</b>	
<b>1RA ETAPA</b>	TANQUE 8" X 8" POZA DE SEDIMENTACION # 1		
	TOTAL 1RA ETAPA		
<b>2DA ETAPA</b>	SEDIMENTACION DE CONO PROFUNDO #1 ( PACHUCA) SEDIMENTACION DE CONO PROFUNDO #2 ( PACHUCA) TANQUE 14" X 14" #1 TANQUE 14" X 14" #2 POZA DE SEDIMENTACION #4		
	TOTAL 2DA ETAPA		
	TIEMPO TOTAL DE DEGRADACION ( HORAS)		
	TIEMPO TOTAL DE DEGRADACION ( DIAS)		
		VOLUMEN ( m3)	TIEMPO DE RESIDENCIA (HORAS)
		968	0.97
		1500	150.00
			150.97
		16.8	1.68
		16.8	1.68
		52.0	5.20
		52.0	5.20
		600.0	60.00
			73.76
			224.64
			9.36
<b>DOSIFICACION:</b>			
	SULFATO FERROSO ( 5 Kg/m3)	50 Kg	
	PEROXIDO DE HIDROGENO ( 7.5 Kg/m3)	75 Kg	



## Anexo 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilver Mamani Chavez  
identificado con DNI 4969781 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Metalúrgica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
"Degradación de Efluentes de Cianuración en las  
Delaves con sulfato ferroso-peróxido" Compañía  
Minera MAQSA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de Abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## Anexo 5. Autorización para el depósito de tesis en el repositorio



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wilber Mamani Chavez,  
identificado con DNI 51969781 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Metalúrgica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Degradación de Efluentes de Cianuración en las  
Belaves, con sulfato ferroso - hexóxido "Compañía  
Minera MARSA"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de Abril del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella