

*Universidad Nacional*  
*"José Faustino Sánchez Carrión"*



**“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”**

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**CIANURACION DE MINERALES AURIFEROS POR AGITACION  
EN PRESENCIA DE COBRE PARA LA EXTRACCION DE ORO A  
NIVEL LABORATORIO**

**“TESIS”**

**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGICO**

Autor:

**MARILUZ BENITES, NOIMI OLINDA**

Asesor:

**Dr. RUIZ SÁNCHEZ, BERARDO BEDER**  
C.I.P. N° 26627

**Huacho - Perú**  
2018

**“CIANURACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR AGITACIÓN  
EN PRESENCIA DE COBRE PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO A  
NIVEL LABORATORIO”**

.....  
Dr. SALCEDO MEZA, MÁXIMO TOMAS  
Presidente

.....  
M(o) COCA RAMIREZ, VICTOR RAUL  
Secretario

.....  
M(o) ABARCA RODRIGUEZ,  
JOAQUIN JOSÉ.  
Vocal

.....  
Dr. RUIZ SÁNCHEZ, BERARDO BEDER  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Con cariño y aprecio a mis padres y hermanos, que a ellos les debo cuanto soy, por su incondicional y fiel apoyo para lograr mis objetos por ello cada una de las líneas de este trabajo.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco al señor mi Dios por permitirme vivir día a día y a mis padres por haber hecho realidad mi vocación profesional.

Mi agradecimiento y aprecio a todos los docentes de la U.N.J.F.S.C, F.I.QyM y E.P, Ing. Metalúrgica por sus consejos y recomendaciones.

## PENSAMIENTO

“Nuestra mayor gloria no está en no caer nunca, sino en levantarnos cada vez que caemos”

( Confucio )

## ÍNDICE

Caratula.....	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
PENSAMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURA.....	x
ÍNDICE DE TABLA.....	xi
ÍNDICE DE ANEXO.....	xiii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPITULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	19
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problema específico.....	20
1.3. Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1. Objetivos generales.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación de la investigación.....	21
1.5. Delimitación del estudio.....	21
1.5.1. Delimitación territorial.....	21

1.5.2.	Delimitación tiempo y espacio. ....	21
1.5.3.	Delimitación de recursos. ....	21
1.6.	Viabilidad del estudio. ....	22
CAPITULO II.....		23
MARCO TEORICOS .....		23
2.1	Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1	Investigación relacionada con el estudio.....	23
2.1.2	Otras publicaciones. ....	30
2.2	Cianuración.....	32
2.2.1	Cinética de la Cianuración del Oro .....	33
2.2.2	Concentración de oxígeno disuelto. ....	35
2.2.3	Fluidos Pseudoplasticos.....	36
2.2.4	Caracterización Reológica de Pulpas Cianuradas de Oro. ....	38
2.2.5	Efecto del Contenido de Sólidos. ....	38
2.2.6	Efecto de Tamaño de Partícula.....	40
2.2.7	Efecto en la Adición de Cal.....	41
2.2.8	Cianuración por agitación.....	43
2.3	Definiciones de conceptos. ....	43
2.4	Formulación de hipótesis. ....	44
2.5.1.	Hipótesis general. ....	44
2.2.1.	Hipótesis específicas. ....	45
CAPITULO III .....		46
METODOLOGÍA.....		46
3.1.	Diseño metodológico. ....	46
3.1.1.	Tipo de Investigación. ....	46

3.1.2.	Nivel de Investigación.....	46
3.1.3.	Diseño de la Investigación.....	47
3.1.4.	Enfoque de la Investigación. ....	47
3.2.	Operacionalización de variables. ....	47
3.3.	Población y muestra.....	48
3.3.1.	Población.....	48
3.3.2.	Muestra.....	48
3.3.3.	Tamaño de muestra.....	49
3.4.	Técnica de recolección y procesamiento de datos.....	49
3.4.1.	Fuentes.....	49
3.4.2.	Técnicas.....	49
3.4.3.	Instrumentos. ....	50
3.4.4.	Procesamiento.....	50
CAPITULO IV .....		51
RESULTADOS .....		51
4.1.	Condiciones de las pruebas realizados.....	51
4.1.1.	Ley de muestra del mineral. ....	51
4.1.2.	Condiciones de la parte experimental.....	51
4.2.	Recursos.....	53
4.2.1.	Resultados de la recuperación de oro y cobre. ....	53
4.2.2.	Consumo del cianuro de sodio en la recuperación de oro y cobre. ....	64
4.2.3.	Recuperación de oro cobre y el consumo de cianuro de sodio y cal. ....	74
4.2.4.	Recuperación de oro en función de las variables en estudio. ....	77
CAPITULO V .....		80
DISCUSIONES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		80

5.1. Discusiones.....	80
5.2. Conclusiones.....	82
5.3. Recomendaciones.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Representación de un fluido no newtoniano .....	36
Figura 2 Evolución de la potencia neta con la viscosidad aparente para zona laminar.....	37
Figura 3 Evolución de la potencia neta con la viscosidad aparente para la zona turbulenta .....	38
Figura 4 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s contenido de sólidos .....	39
Figura 5 Viscosidad aparente v/s contenido de sólidos.....	40
Figura 6 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s P80. ....	41
Figura 7 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s pH. ....	42
Figura 8 Viscosidad aparente v/s pH.....	42
Figura 9 Esquema de experimento y variable .....	47

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Operacionalización de Variables en estudio. ....	47
Tabla 2 Análisis químico de las muestras .....	51
Tabla 3 Condiciones de trabajo .....	52
Tabla 4 Peso de las 5 muestras para el experimento .....	52
Tabla 5 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 1 .....	53
Tabla 6 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre composito1 .....	54
Tabla 7 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 2 .....	55
Tabla 8 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre composito2.....	57
Tabla 9 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 3 .....	58
Tabla 10 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre composito3.....	59
Tabla 11 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 4 .....	60
Tabla 12 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre composito4.....	61
Tabla 13 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 5 .....	62
Tabla 14 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre en el composito5 .....	63
Tabla 15 Consumo de cianuro de sodio prueba 1.....	64
Tabla 16 Proyecciones del consumo de NaCN el composito1 .....	65
Tabla 17 Consumo de cianuro de sodio prueba 2.....	66
Tabla 18 Proyecciones del consumo de NaCN el composito2.....	67
Tabla 19 Consumo de cianuro de sodio prueba 3.....	68
Tabla 20 Proyecciones del consumo de NaCN el composito3 .....	69
Tabla 21 Consumo de cianuro de sodio prueba 4.....	70
Tabla 22 Proyecciones del consumo de NaCN el composito4.....	71
Tabla 23 Consumo de cianuro de sodio prueba 5.....	72
Tabla 24 Proyecciones del consumo de NaCN en el composito5 .....	73

Tabla 25 Recuperación de oro, consumo de NaCN y CaO .....	74
Tabla 26 Pérdida de oro en el relave .....	75
Tabla 27 proyección del consumo de NaCN y de la recuperación de Au y Cu .....	76

## ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Mina laguna norte .....	88
Anexo 2: Planta laguna norte - Barrick .....	88
Anexo 3 Análisis de la solución en 2 horas.....	89
Anexo 4 Análisis de la solución en 4 horas.....	89
Anexo 5 Análisis de la solución en 8 horas.....	90
Anexo 6 Análisis de la solución en 12 horas.....	90
Anexo 7 Análisis de la solución en 24 horas.....	91
Anexo 8 Análisis de la solución en las pruebas experimentales .....	91

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

%	: Porcentaje
&	: i
( $\mu$ )	: Viscosidad absoluta
( $\mu\alpha$ )	: Viscosidad aparente
( $\rho$ )	: Densidad
$^{\circ}\text{C}$	: Grados centígrados
$\mu\text{m}$	: Micras
-200m	: Pasante malla 200
CCD	: Decantación en contra corriente
CIP	: Carbón en pulpa
Fig.	: Figura
Fr	: Número de Froude
g/L	: Gramos por litro
g/t	: Gramos por tonelada
g/TM	: Gramos por tonelada métrica
g/Tn	: Gramos por toneladas
gpL	: Galones por minutos
gr/TM	: Gramos por tonelada métricas
hr	: Hora
$\text{Kg}/\text{m}^3$	: Kilogramos por metros cúbicos
kg/TM	: Kilo gramos por toneladas métricas
kg/Tn	: Kilo gramos por toneladas
mg/L	: Miligramos por litro
mL	: Mililitros

N	:	Normalidad
Np	:	Número de potencia
págs.	:	Páginas
pH	:	Potencial de hidrogeno
ppm	:	Parte por millón
Re	:	Número de Reynolds
rpm	:	Revolución por minutos
U\$\$/gr	:	Dólares americanos por gramos
U\$\$/Oz	:	Dólares americanos por onzas

## RESUMEN

La cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio, tiene como objetivo la evaluación de la recuperación oro en presencia del cobre. La metodológico aplicada, es un trabajo experimental, cuantitativa, predictiva generador de resultados. El proceso experimental consta de preparación de muestra, molienda, y cianuración. El resultado del estudio para una condición de trabajo de dilución de 2.7 con una fuerza de 1.00 g/L NaCN en 24 horas, la mejor opción que se tiene es el composito2 con una ley de cabeza de 1.758 g/TM se recupera 88.73% Au y 0.075% Cu con una recupera el 42.96%, con un consumo de 1.30 kg/TM de NaCN y 2.13 kg/TM de CaO a un pH de 11.8 y la segundo opción el composito3 con ley de cabeza de 1.055 g/TM de oro una recuperación de 88.35% y 0.099% Cu con una recuperación de 25.55% y un consumo de 1.24 kg/TM de NaCN, 0.67 kg/TM de CaO y pH de 11.25. Con proyección de la recuperación de las dos alternativas el composito3 con una recuperación de 98.04% de oro con un consumo de 1.54 kg/TM de NaCN y seguido el composito2 con una recuperación de 98.04% con un consumo de 1.46 kg/TM de NaCN. En las interrelaciones de las variables para una recuperación mayor al 85%, el pH 11.25 a 11.68, NaCN 1.20 kg/TM a 1.67 kg/TM, CaO entre 0.5 kg/TM a 3.25 kg/TM, y ley de cabeza entre 0.3 g/TM a 1.7 g/TM.

**Palabra clave:** Cianuración de minerales de oro, Lixiviación de oro con NaCN, Cianuración por agitación de oro.

## ABSTRACT

The cyanidation of auriferous minerals by agitation in the presence of copper for the extraction of gold at the laboratory level, has the objective of evaluating gold recovery in the presence of copper. The applied methodology, it is an experimental, quantitative, predictive work generating results. The experimental process consists of sample preparation, grinding, and cyanidation. The result of the study for a working condition of dilution of 2.7 with a force of 1.00 g / L NaCN in 24 hours, the best option that you have is the composito2 with a head law of 1,758 g / TM, it is recovered 88.73% Au and 0.075% Cu with a recovery of 42.96%, with a consumption of 1.30 kg / MT of NaCN and 2.13 kg / MT of CaO at a pH of 11.8 and the second option the compound3 with a head law of 1.055 g / MT of gold a recovery of 88.35% and 0.099% Cu with a recovery of 25.55% and a consumption of 1.24 kg / MT of NaCN, 0.67 kg / MT of CaO and pH of 11.25. With projection of the recovery of the two alternatives the composito3 with a recovery of 98.04% of gold with a consumption of 1.54 kg / MT of NaCN and followed the composito2 with a recovery of 98.04% with a consumption of 1.46 kg / MT of NaCN. In the interrelationships of the variables for a recovery greater than 85%, the pH 11.25 to 11.68, NaCN 1.20 kg / MT to 1.67 kg / MT, CaO between 0.5 kg / MT to 3.25 kg / MT, and head law between 0.3 g / TM at 1.7 g / TM.

**Key Word:** Gold mineral cyanidation, gold leaching with NaCN, cyanidation by stirring gold.

## INTRODUCCIÓN

En la lixiviación por cianuración de minerales con contenido de oro por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio, el objetivo primordial es la recuperación de oro con presencia de cobre, con una óptima recuperación oro.

La cianuración de los minerales oxidados y de baja ley es una de las actividades más empleados en el aprovechamiento oro y plata y siendo una etapa para separar de los compuestos minerales no deseados específicamente de las gangas que no tiene valor económico aprovechando su disolución del oro de los minerales, pasando como oro iónico enlazado al cianuro.

En el presente trabajo de investigaciones realizados sobre la recuperación de oro a partir de minerales oxidados en presencia de cobre, se puede tener acceso a diversas fuentes teóricos como prácticos, en estos se han demostrado una recuperación de oro desde minerales de bajo, por el proceso de lixiviación específicamente la cianuración esto debido a que el oro se puede disolver con el cianuro y su posterior extracción en el carbón activado y precipitado con zinc y aluminio, llegando una recuperación de orden de 80% a 98%.

En el trabajo se realizaron las siguientes actividades preparación de la muestra, molienda, cianuración, muestreo de las soluciones durante 24 horas y su respectivo análisis con ello se pudo calcular los resultados y tener una proyección de la recuperación adecuada del oro a partir de minerales en estudio presente en las muestras.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática.

En todo proceso extractivo sobre metales partiendo desde los minerales es una técnica que nos permite optimizar tiempo y recursos, sin embargo, se necesita condiciones para el proceso y ellos se obtienen de las pruebas metalúrgicas para luego estandarizar al proceso a nivel industrial.

Cada mineral tiene una característica particular por ello es necesario realizar para minera las pruebas y con las mismas condiciones que se debe ser aplicado a nivel de proceso.

La mina de alto Chicama para cada tipo de mineral realiza pruebas metalúrgicas ya que su mineral es complejo y tiene problemas a nivel proceso por ello es necesario realizar pruebas metalúrgicas para obtener condiciones de operación, en virtud a ello se busca una solución a las dificultades que se presentan.

Por ello es necesario realizar el planteando para la solución dicho problema, como se establece en el acápite general y en los específicos referente a ello.

#### 1.2. Formulación del problema.

##### 1.2.1. Problema general.

¿Será posible el proceso de lixiviación con cianuro a minerales auríferos durante la agitación en presencia de cobre, para una extracción eficiente de oro a nivel laboratorio?

### **1.2.2. Problema específico.**

- ¿En qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en la recuperación de oro eficientemente a nivel laboratorio?
- ¿En qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en el gasto de NaCN en la extracción del oro a nivel laboratorio?

### **1.3. Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1. Objetivos generales.**

Calcular en qué proporción la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, nos permitirá una extracción eficiente de oro a nivel laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Evaluar en qué proporción el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en la recuperación de oro eficientemente a nivel laboratorio.
- Evaluar en qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en el gasto de NaCN en la extracción de oro a nivel laboratorio.

#### **1.4. Justificación de la investigación.**

Al realizar la presente investigación sobre la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio, nos permitirá encontrar los rangos y parámetros de los procesos de cianuración, que nos garantice el trabajo en el proceso industrial y sea factible económicamente.

Con relación a la metodología empleada, respecto a los métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos que se aplican en la presente una vez demostrada se pueden utilizar con fuente a futuros trabajos de investigación.

#### **1.5. Delimitación del estudio.**

##### **1.5.1. Delimitación territorial.**

Departamento : Libertad  
Provincia : Otuzco  
Distrito : Alto chicama

##### **1.5.2. Delimitación tiempo y espacio.**

La investigación se realizará en la minera Barrick en el año 2018.

##### **1.5.3. Delimitación de recursos.**

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabo el trabajo experimental por ello se realizó en las instalaciones de la empresa tanto las corridas de laboratorio y los análisis químicos.

**1.6. Viabilidad del estudio.**

El experimento realizado a nivel laboratorio fue viable, por cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe de la minera Barrick, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICOS

#### **2.1 Antecedentes de la investigación.**

##### **2.1.1 Investigación relacionada con el estudio.**

En los trabajos citados a nivel nacional e internacional se han citado en base a las investigaciones, realizados referente a la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio, para darle un sustento al presente estudio a desarrollarse.

##### **2.1.1.1 Nacional**

En los trabajos realizados referente a las publicaciones nacionales sobre las investigaciones relacionado al tema se describe a continuación.

Sobre, “recuperación de oro en minerales sulfurados de baja ley en la provincia de Casma”

(Julca & Ortiz) llegaron a las conclusiones:

Es posible obtener una recuperación bastante aceptable con los procesos combinados de gravimetría – centrifugación, flotación y cianuración para minerales sulfurados de baja ley de la provincia de Casma.

Los resultados de la caracterización de la muestra del mineral estudiado indicaron un tipo de oro electrum que tiene una distribución volumétrica de 0.86% y 7.41% de grados de liberación.

Los tipos geométricos de entrelazamientos de las especies mineralógicas observados en la caracterización, a malla -200, indicaron que los enlaces referidos al electrum son posibles de liberar.

La mejor prueba seleccionada en la preconcentración, con el concentrador Falcon es con una granulometría de 67.80% -200 malla, como variable independiente, obteniéndose una calidad de concentrado de 16.20 gr/TM, y 57.04% de recuperación que es la variable dependiente. Esto es debido a que, a tiempos mayores de molienda, hace tan fino al mineral valioso que lo impide concentrar gravimétricamente desplazándose al relave.

En la flotación del relave de la preconcentración, la mejor prueba seleccionada es a una granulometría de 67.80% -200 malla, calidad de concentrado de 11.36 g/TM y una dosificación del colector AR-1208 de 74.10 g/TM, que es la variable independiente, obteniéndose una recuperación óptima de 92.27%, como variable dependiente. A mayores dosificaciones del colector, genera un efecto negativo en la flotación ya que desplaza la parte valiosa al relave, esto puede ser a causa del exceso del colector.

Remoliendo los concentrados de la preconcentración y de flotación a una granulometría de 80.27% -200 malla, con 72 horas de cianuración, como variable independiente, se llega a una recuperación de oro de 87.94%.

El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación de la tesis, para la recuperación de oro de minerales sulfurados de baja ley de la provincia de Casma, es una preconcentración con el concentrador Falcon, seguido de una flotación de los relaves de la preconcentración y por último remoler los concentrados de la

preconcentración y de flotación y realizar el proceso de cianuración, para obtener una recuperación total de 85.02% de oro, como variable dependiente (Julca & Ortiz, 2018, págs. 121-122).

Sobre la, “evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo: Minera Koricolqui” (Palomino & Ramos) concluyeron que:

El estudio de evaluación en la recuperación de Au y Ag, aplicando una etapa de preconcentración al método convencional, permite la optimización de la recuperación del oro, para minerales en una matriz de cuarzo simples donde el oro se encuentra fino, diseminado y libre.

Realizando una etapa de preconcentración y utilizando el concentrador centrífugo Falcon para este tipo de minerales, seguido de la flotación de su relave a una granulometría de 66% -200 mallas, se logran obtener resultados metalúrgicos satisfactorios en cuanto a recuperación solo para el Au. Así se llegó a una recuperación de 92.69%, pero presentando resultados no óptimos para la Ag, pues se presentaron bajas recuperaciones similares a las obtenidas en el proceso de flotación convencional.

Se puede apreciar que el tratamiento adecuado para este tipo de minerales en base a la evaluación realizada, requiere de una etapa de preconcentración, mediante el proceso gravimétrico. En esta operación se utilizaron equipos centrífugos falcón para someter su relave a una etapa de flotación y que el proceso logre una recuperación óptima de oro. La explicación es que un porcentaje apreciable de partículas de oro y plata se encuentran en tamaños muy finos.

Con la cianuración directa para 36 horas de cianuración se obtiene una recuperación de 81.21% para el oro. En cambio, para la plata se obtuvo una recuperación baja pues solo llega a 49.86%.

Con el proceso de cianuración es posible obtener altas recuperaciones para el caso del oro si se realiza a un tiempo mayor de cianuración que las 36 horas en las cuales se trabajó y si se realiza a una granulometría más fina, ya que estas pruebas se hicieron a 55% -200 mallas. La desventaja como ya es conocido, es el alto riesgo de contaminación directa con cianuro, que ocasionan los relaves o desechos del tratamiento (siempre y cuando no se maneje bien el proceso) al personal de operación, a la flora y la fauna (Palomino & Ramos, 2008).

Sobre, “optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – minera Aruntani SAC” (Flores), concluye:

En la cianuración del mineral por agitación (N1, M2), se obtiene una recuperación de oro 86.6%, 69.1%, por un periodo de tiempo de 24 horas. Es decir, durante el proceso de optimización por agitación neumática permite el mayor rendimiento en la recuperación de oro.

Los parámetros óptimos en los ensayos de N1, M2 en el proceso de cianuración es de 7.88 kg/tn, 7.13 kg/ton de NaCN, 8.5 kg/tn, 8.5 kg/tn de CaO.

Se realizó el diseño de diagrama de flujo combinado de lixiviación dinámica de minerales auro-argentíferos, siendo el proceso de tratamiento apropiado para el mineral la cianuración convencional por agitación neumática, ya que

la granulometría muy fina es apropiada para este tipo de cianuración, trabajando con una densidad de pulpa de  $1300 \text{ kg/m}^3$ .

Durante el proceso de adsorción, en función del tiempo y la densidad, se observa que la máxima recuperación de Au es cuando la densidad de la pulpa es  $1300 \text{ kg/m}^3$  siendo el porcentaje de recuperación del 96 % en un tiempo de 24 h, y la mínima ocurre en un tiempo de 12 h con un 94 %. (tabla 11).

De acuerdo a la tabla 19 de respuesta optimizada del índice de recuperación, el valor óptimo es 1,80621, a su vez nos muestra la combinación de niveles de factores que maximiza Y.

Tomando como regencia solamente los puntos (.....), se deduce que se obtiene una mejor recuperación para ambas pruebas luego de transcurridas las 24 horas, sin embargo cabe indicar que éstos puntos extremos de densidades no son aconsejables; se ha comprobado que en un circuito CIP el carbón en una pulpa con densidad baja tiende a flotar en la misma, evitando así el contacto de la pulpa con la superficie de éste, de igual manera cuando se trabaja con densidades de pulpas altas, como del orden de los  $1550 \text{ Kg/m}^3$ , resultara dificultoso la agitación o aireación de la misma sumando a esto que el carbón no tendrá la suficiente libertad de movimiento evitando así exponer aleatoriamente su superficie en la pulpa para efectos de adsorción (Flores, 2016, pág. 89).

#### **2.1.1.2 Internacional.**

En lo internacional se cita algunos trabajos que tiene similitud, para poder darle un fundamento, citando:

Sobre, “recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración” (Rojas), concluye:

El oro presente en el residuo final puede recuperarse en forma completa mediante cianuración con una concentración de KCN de 0.06 gpL, pH 10.5, temperatura de 75 °C en un tiempo cercano a 24 horas de lixiviación. También es posible obtener igual recuperación con igual concentración de reactivo a temperatura ambiente (25 °C) en un tiempo de 96 horas de lixiviación.

La plata puede recuperarse en forma parcial (~ 60 %) desde el residuo final, con una concentración de KCN de 1.2 gpL, pH entre 10.5 y 11, temperatura de 25 °C y un tiempo superior a 72 horas de lixiviación. También es posible alcanzar igual extracción con una concentración de reactivo de 2.4 gpL de KCN, a igual temperatura de trabajo y un tiempo menor a 72 horas de lixiviación.

El cobre presente se encuentra en el residuo en un valor promedio de 10.6 %. Los valores de extracción obtenidos son más bajos que los reportados en la literatura, en todos los casos. En condiciones para una extracción completa de oro, el cobre se disuelve solamente en un 0.36 %, mientras que en las condiciones requeridas para una extracción del 60 % de la plata, el cobre alcanzó una disolución cercana al 5 %.

La muy baja disolución en cianuro del cobre presente en el residuo se puede atribuir a la alta refractariedad del cobre presente en forma de ferrita cúprica. El factor que limita en su recuperación de la plata es que ésta siempre se encontró disuelta en una matriz de cobre - azufre, en cantidades que variaron desde 1 hasta 50 %.

El aumento de la temperatura en el sistema de lixiviación es un factor importante dentro del proceso de cianuración, pues reduce el tiempo necesario para una recuperación substancial del oro (sobre 90 %), desde 72 h. a temperatura ambiente, a tan solo 6 h. a temperatura de 75 °C, con una baja concentración de reactivo de solo 0.06 gpL de KCN.

Los valores calculados para el consumo de cianuro, dan niveles 25 % más bajos comparados con los valores reportados en la literatura correspondiente al tratamiento de minerales cupríferos que contienen metales nobles. Cuando se eleva la temperatura del sistema, el consumo se reduce hasta un 50 % por bajos los valores promedio indicados en la literatura. Este poco consumo de cianuro se debe en gran medida a la baja solubilidad del cobre presente en el residuo.

Dentro del contexto del proyecto, a partir del presente trabajo, se puede concluir que es factible la cianuración del residuo para recuperar los metales preciosos. (Rojas, 2003, págs. 65-66)

Sobre, “Estudio físico – químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio “franromec” del cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay” (Guerra) concluye que:

El mineral aurífero concentrado presentó un máximo de disolución de oro de 34,13% con cianuro y 32,29% con tiourea en un tiempo de cuatro horas de lixiviación, para el proceso de lixiviación con cianuro se determinó que existen dos etapas controlantes que son difusión externa y a través de la cubierta de cenizas, para el proceso de lixiviación con tiourea se determinó que su etapa controlante es difusión a través de la capa de cenizas.

Concluyendo que la disolución de oro con tiourea se logra realizar cuando se obtiene un potencial de redox superior a 300 mV/SHE durante todo el proceso de lixiviación (Guerra, 2015).

### **2.1.2 Otras publicaciones.**

En el trabajo de la investigación sobre, Avances en los métodos de recuperación de oro y plata de minerales refractarios (Parga & Carrillo, 1996) concluyen que:

El presente decenio se está caracterizando por la preocupación existente por conseguir un mejor nivel de calidad ambiental, mediante la promulgación de normas más estrictas en materia de protección del medio ambiente y poniendo mayor énfasis en el aprovechamiento de los recursos naturales, por medio de la recuperación y el reciclado de materiales y productos energéticos. Por ello, el tratamiento de minerales refractarios ha venido desarrollándose tecnológicamente, en especial en procesos hidrometalúrgicos, para satisfacer las exigencias actuales y la demanda global continua de metales preciosos. En este trabajo se ha revisado una serie de avances tecnológicos en el campo de la recuperación de oro y plata de minerales refractarios. Esta revisión contempla los procedimientos empleados a escala comercial-industrial, como la oxidación a presión, a escala de pequeñas plantas comerciales, como la biolixiviación, y procesos que se desarrollan actualmente a escala piloto, como los métodos basados en los ácidos nítrico o clorhídrico, todos ellos con sus posibilidades, aplicaciones y limitaciones. Finalmente, se describen dos procedimientos que contribuyen de manera novedosa a ampliar las alternativas

actuales en la recuperación de metales preciosos (Parga & Carrillo, 1996, págs. 260-261).

En la investigación sobre , Evaluación de los procesos de lixiviación por agitación convencional y carbón en pulpa en la hidrometalurgia del oro (Mas, Aguirre, & Amaya, 2005) llega a la siguiente conclusión:

Se puede observar a la luz de los resultados obtenidos que las 12 hr determinadas como óptimas en el proceso de absorción parecen excesivas, pudiendo lograrse los mismos resultados en un tiempo menor, que habrá que determinar.

Los consumos de reactivos para el caso CCD más filtración, fueron levemente inferiores, no acusando una diferencia que permita inclinarse netamente para uno u otro proceso desde este punto de vista.

El mayor valor de recuperación oro obtenido con el CIP, seguramente se debe, a la eliminación de parte de las pérdidas de oro en solución en el CCD y a la presencia de lamas.

En cuanto a los valores de recuperación obtenidos, se observa que mediante la aplicación del proceso CIP se obtuvo un valor de 91,67 % o sea el 2,37 % mayor que el obtenido mediante la aplicación del CCD. Este pequeño porcentaje llevado a gramos de oro recuperados por cada tonelada, para el mineral de cabeza utilizado (24 gr. de oro / ton de mineral), representa 0,57 gramos de oro, más a recuperar, por tonelada o sea 7,76 dólares / ton (cotización 423,30 U\$/Oz = 13,61 U\$/gr de oro, fuente NY Time a las 10:15 hr. del 03/11/04). Este valor es más que significativo y para visualizarlo

en toda su magnitud habría que multiplicarlo por la escala operativa del proyecto a implantar.

Respecto al control del medio ambiente el proceso CIP utiliza un sistema de deposición de efluentes y retomada de líquido muy específico, con destrucción del cianuro libre al final del proceso y confinado final de los relaves o colas en ambiente seguro. Todo esto sumado a las ventajas económicas, de inversión, en la implantación del proceso CIP, lo hace muy atractivo y conveniente de aplicar al caso en estudio.

Según (Romero & Flores) sobre, “La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados”, concluyen que:

La máxima curva de recuperación de oro del punto de relave se obtiene cuando la muestra de relave es sometida a cianuración por agitación durante dos horas, empleando una velocidad de agitación de 300 rpm, siendo el valor de la recuperación de oro máxima, el valor de 95.70%. Las curvas de recuperación de oro del punto de relave demuestran que la muestra de relave al ser sometida a la cianuración por agitación durante dos horas, con una velocidad de agitación de 550 rpm, siendo el valor de la recuperación de oro, fluctúa entre los valores de 90.64%. (Romero & Flores, 2010, págs. 139-140)

## **2.2 Cianuración.**

En la técnica de sacar el oro en medio acuoso usando el cianuro de sodio, “los métodos hidrometalúrgicos son más comunes para ello se emplea el cianuro en la obtención de oro”

(HilsonA & Monhemius, 2006). En este método se usa una solución de cianuro de sodio débil (NaCN) de 100-500 ppm (HilsonA & Monhemius, 2006).

En la lixiviación de oro se necesita un ligando y un oxidante complejantes. La reacción de la extracción del oro en solución de cianuro se muestra en la ecuación. 3 y 4., La celeridad de solución del oro es una función de la concentración de cianuro. Para Maclaurin, Christy, Barsky Swainson y Hedley citado en (Diaz, 2013, págs. 21,22).

### 2.2.1 Cinética de la Cianuración del Oro

En el proceso de la disolución del oro por cianuración, es un proceso de corrosión electroquímico con reacción heterogénea, ocurrido en la interfase del área anódica y catódica para MacArthur, R. V. Forrest y W. Forrest en 1887 citada en (Armela, 2018, pág. 7).

La corriente anódica está limitada por la difusión del  $\text{CN}^-$  a la superficie.

Mientras que la corriente catódica está limitada por la velocidad de difusión del oxígeno. Donde la velocidad de difusión del oxígeno y del ión cianuro es directamente proporcional a la concentración de ellos en la solución y al aumento en la agitación para un estado estacionario para MacArthur, R. V.

Forrest y W. Forrest en 1887 citada en (Armela, 2018, pág. 7).

$$\text{Corrosión} = K_{ia} = K_{Ic}$$

Por consiguiente, la velocidad de disolución del oro es directamente proporcional a la corriente de corrosión o densidad de corriente citado en (Manrique, 2003).

Durante los trabajos realizados, a diferentes estudios, se obtiene establecer que la rapidez de disolución del oro estar sujeto a citado en (Manrique, 2003):

Velocidad difusión del oxígeno por capa límite.

Velocidad difusión del cianuro.

Pasivación de la superficie del oro.

Cuando la causa de la actividad está controlado por difusión, la relación de concentraciones  $CN^-$  a  $O_2$  es importante citada en (Manrique, 2003).

A bajas concentraciones de cianuro, la velocidad de disolución depende solamente de ella.

A bajas concentraciones de oxígeno, la velocidad será proporcional a la concentración de oxígeno e independiente a la concentración.

La velocidad limite teórica se alcanza cuando  $(CN^-)/(O_2)=6$

Por otra parte las reacciones de disolución que se generan dentro de la celda electroquímica (Habashi 1966), en el proceso de disolución del oro por el cianuro y el oxígeno son las siguientes citado en (Misari, 2010, pág. 16):

Área catódica

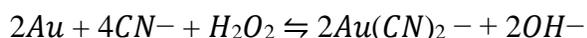
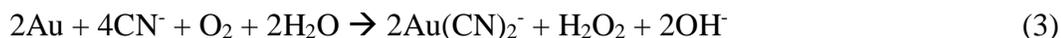


Área anódica

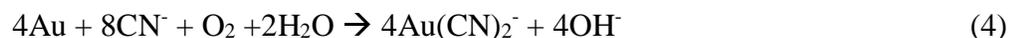


De ls reacciones que acteceden se llega puede llegar a terminación que el oro se disuelve por las siguientes reacciones citado en (Chavez, 2014):

Ecuación de Boonstra(1896):



Ecuación de Elsner(1846):



En función de la reacción general de disolución del oro, es evidente que un mol de oro requiere la mitad de un mol de oxígeno y dos moles de cianuro para la disolución; dependiendo de la efectividad de la reducción del peróxido de hidrógeno; y la reacción principal es un proceso de dos electrones citado en (Manrique, 2003).

### 2.2.2 Concentración de oxígeno disuelto.

En el proceso de cianuración, “la concentración de oxígeno disuelto depende principalmente del contenido de oxígeno en la fase gaseosa, en contacto con la pulpa o solución lixiviada, temperatura y altitud” citado en (Diaz, 2013, pág. 25).

Dentro del proceso la presencia del oxígeno cumple una condición que se describe a continuación:

Operación bajo presión, utilizando el aire como oxidante. Uso de oxígeno puro, aire enriquecido con oxígeno, peróxido de hidrógeno u otras fuentes de oxígeno para complementar o reemplazar el aire en la fase gaseosa.

Ambos métodos son costosos y frecuentemente solo pueden justificarse para el tratamiento de minerales que contienen cantidades importantes de especies consumidoras de oxígeno.

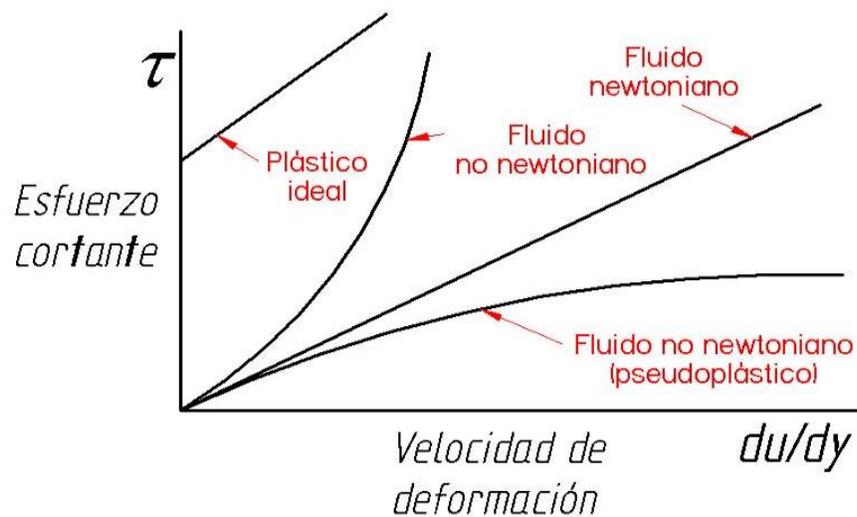
Se ha sugerido que las altas concentraciones de oxígeno disuelto pueden causar la pasivación de la superficie del oro debido a la formación de capas de óxido. En algunas condiciones, se ha demostrado que la pasivación puede producirse en concentraciones de oxígeno disuelto tan bajas de hasta 7 mg/L en sistemas pobremente agitados citado en (Diaz, 2013, pág. 25).

### 2.2.3 Fluidos Pseudoplásticos

En la agitación existe movimiento, “debido que nuestro fluido es no newtoniano o pseudoplástico es necesario analizar detalladamente como influye en nuestro proceso. Los fluidos no newtonianos se caracterizan porque su viscosidad varía con el esfuerzo cortante aplicado” (Warren, McCabe, & Smith, 2003, pág. 95).

Por consiguiente, a partir de estos modelos, la viscosidad absoluta ( $\mu$ ) del fluido newtoniano se cambia a viscosidad aparente ( $\mu_a$ ) para un fluido no newtoniano.

Figura 1 Representación de un fluido no newtoniano



Para estimar la potencia, es preciso disponer de una correlación empírica de la potencia o del número de potencia en función de otras variables del sistema (Warren, McCabe, & Smith, 2003).

Tal correlación se establece por análisis adimensional en función de los parámetros geométricos del tanque y del impulsor, además de parámetros como la viscosidad ( $\mu$ ), la densidad del líquido ( $\rho$ ) y las revoluciones por segundo. El

número de potencia es función del número de Reynolds (Re) y del número de Froude (Fr) (Warren, McCabe, & Smith, 2003).

$$N_p = f(\text{Re}, \text{Fr})$$

Donde:

$$N_p = P_n / \rho * N^3 * d^5 \quad \text{número de Potencia}$$

$$\text{Re} = \rho * N * d^2 / \mu \quad \text{número de Reynolds}$$

$$\text{Fr} = N^2 * d / g \quad \text{número de Froude}$$

En virtud a lo anterior en los gráficos a continuación se representa la evolución de la potencia neta con la viscosidad aparente para zona laminar y turbulento basados en dicho paper:

*Figura 2 Evolución de la potencia neta con la viscosidad aparente para zona laminar*

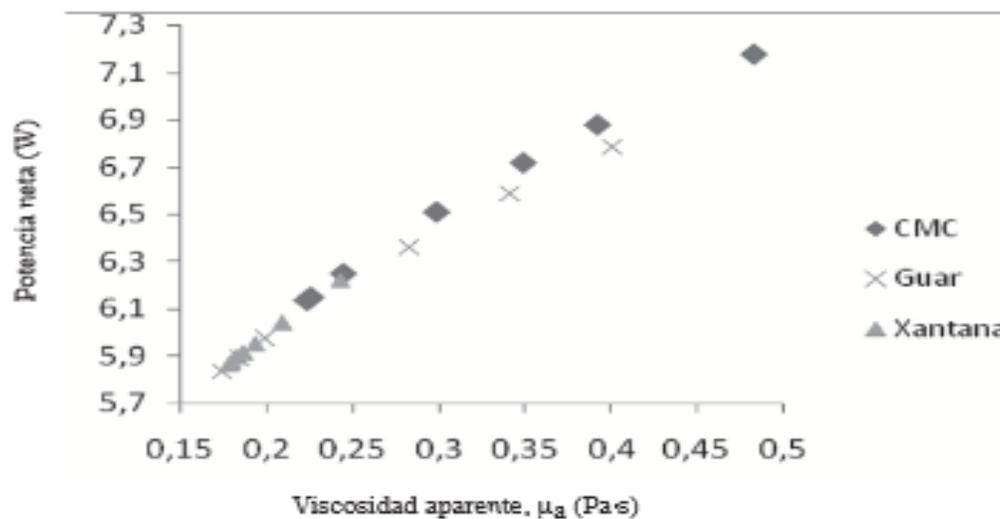
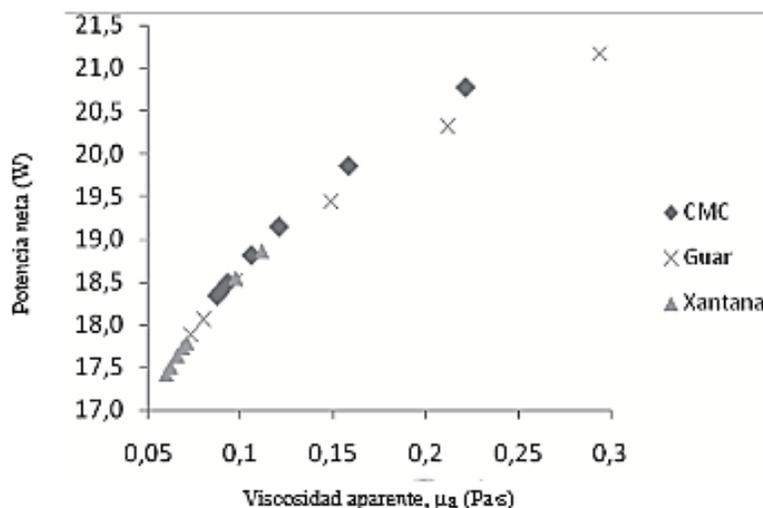


Figura 3 Evolución de la potencia neta con la viscosidad aparente para la zona turbulenta



#### 2.2.4 Caracterización Reológica de Pulpas Cianuradas de Oro.

Dentro de la caracterización de pulpas de lixiviación cianurada con una ley de oro y plata de 20 y 4,525 g/t respectivamente, provenientes del depósito de Lunnoe, situada en el noreste de Rusia (Klein & Laskowski, s/f). Los datos reológicos obtenidos fueron modelados determinándose el efecto del % sólidos, tamaño de partícula y pH (adición  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). El modelo de ajuste elegido a la curva de esfuerzo de corte vs velocidad de deformación es la ecuación de Casson. (Martínez & Hernández, 1993)

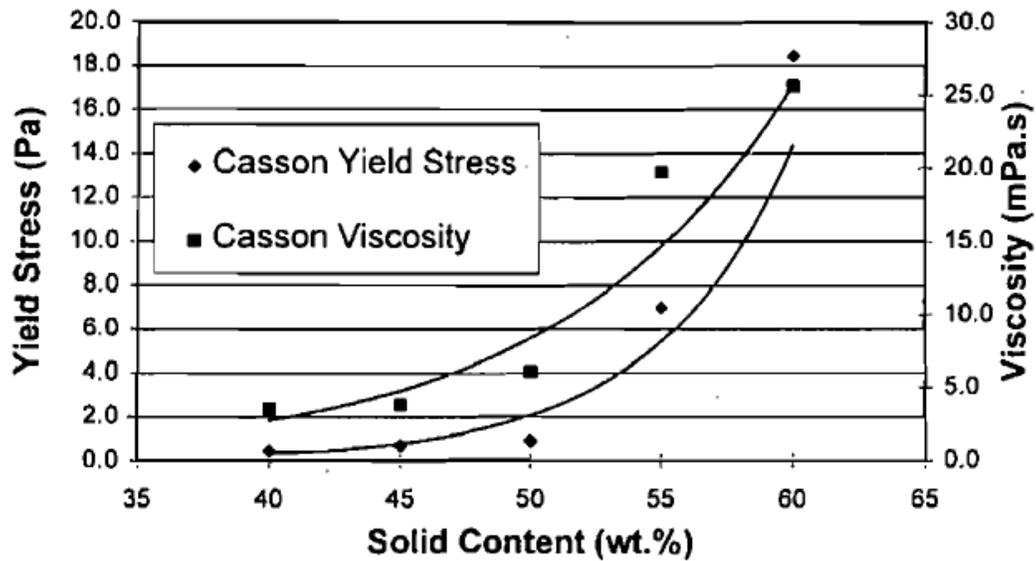
$$\dot{\tau}^{1/2} = \tau_{YC}^{1/2} + \eta_C^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad (5)$$

#### 2.2.5 Efecto del Contenido de Sólidos.

En la lixiviación por cianuración el sólido tiene efectos sobre la extracción por consiguiente, “los resultados de los estudios muestran que la tensión de fluencia y los coeficientes de

viscosidad aumentan casi exponencialmente sobre un contenido de 50% sólidos citada en (Piñones, Rojas, & Vargas, 2013).

Figura 4 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s contenido de sólidos



En función de la figura 4 durante un proceso, la viscosidad aparente de una suspensión dependerá de la velocidad de deformación:

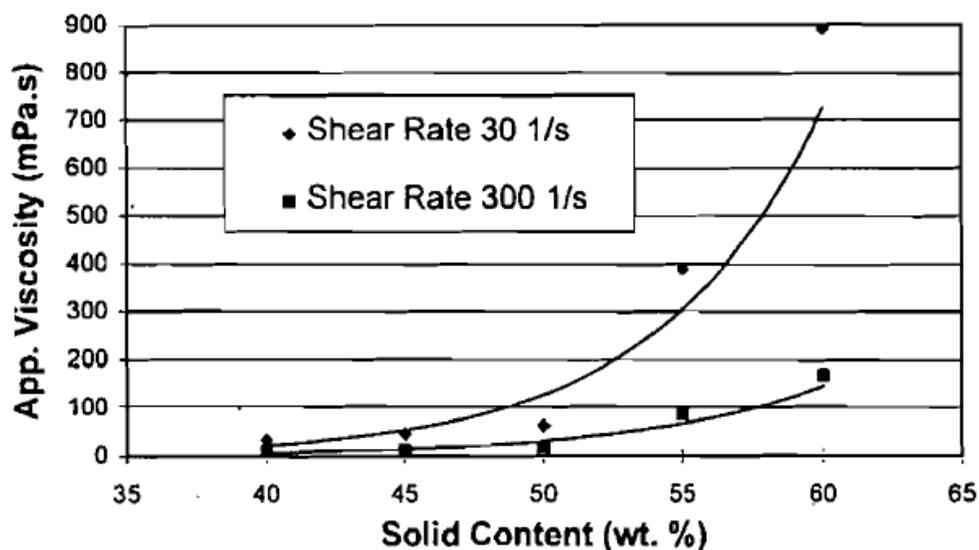
$$\eta_{ap} = \tau / \dot{\gamma}_c \quad (6)$$

Sustituyendo Casson Eq (5) en Eq. (6):

$$\eta_{ap} = \tau_{YC} / \dot{\gamma}_c + 2\{\tau_{YC}\eta_c / \dot{\gamma}_c\}^{1/2} + \eta_c \quad (7)$$

De la la figura 4 la suspensión pseudopolítica, la viscosidad aparente a una alta velocidad de deformación es elocuentemente menor que a una baja velocidad de deformación (Piñones, Rojas, & Vargas, 2013).

Figura 5 Viscosidad aparente v/s contenido de sólidos



En referencia de la figura 5, las interacciones de partículas que forman una estructura y originan una tensión de fluencia perturban la viscosidad aparente más que las interacciones que trascienden en la disipación viscosa de la energía de corte. Las consecuencias revelan que las interacciones estructurales se hacen más significativas con el aumento del % de sólido (Piñones, Rojas, & Vargas, 2013).

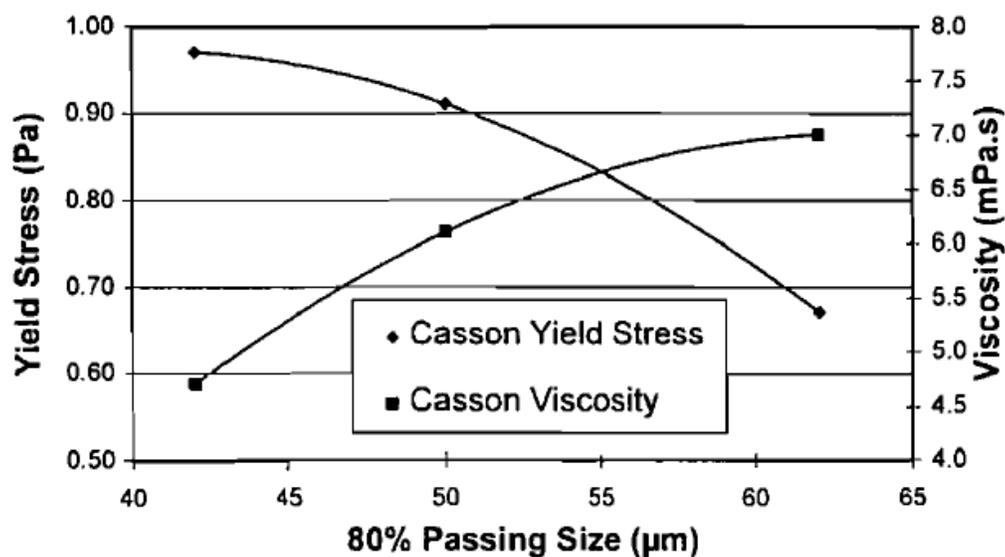
### 2.2.6 Tamaño de Partícula.

En referencia al tamaño del oro, “el tamaño de partícula es determinante en el tiempo de disolución, a mayor diámetro, mayor tiempo, un tamaño 3.36 micrones por hora, entonces de 44 micrones tomaría mayor a 13 horas, y 119 micrones tomaría mayor a 44 horas” Barsky citado en (Misari, 2010, pág. 27) .

Refrenete al tamaño del mineral en la agitación. El efecto del tamaño de partícula se determinó mediante la realización de pruebas en las suspensiones con tamaños de partícula que van desde

P<sub>80</sub> de 62 a 42  $\mu\text{m}$ . La pulpa se llevó a 50% de sólidos y el pH se ajustó a 9,5 con cal (Piñones, Rojas, & Vargas, 2013).

Figura 6 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s P80.

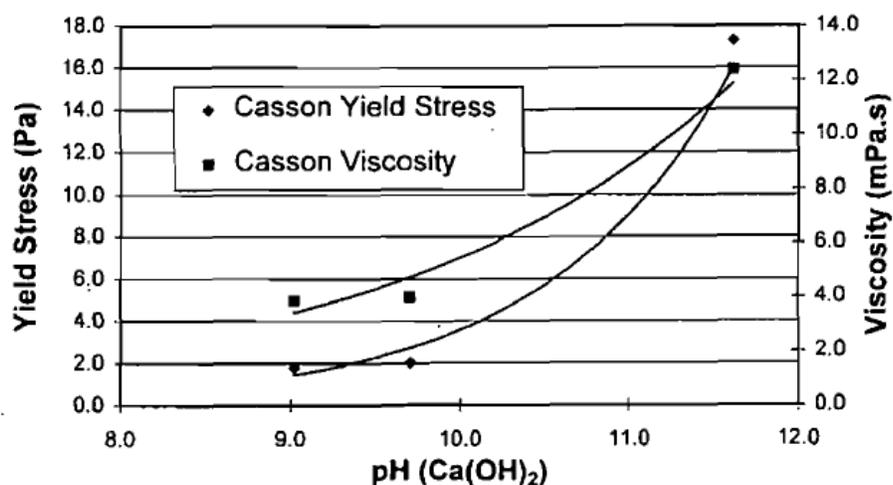


En la figura 6 se distingue que la tensión de fluencia Casson crece con el descenso del tamaño de partícula. A la inversa, la viscosidad de Casson disminuye al disminuir el tamaño de partícula. El aumento de la tensión de fluencia con la disminución de tamaño de las partículas puede ser explicada por las interacciones interpartículas que son más evidentes con la disminución del tamaño de partícula.

### 2.2.7 Efecto en la Adición de Cal.

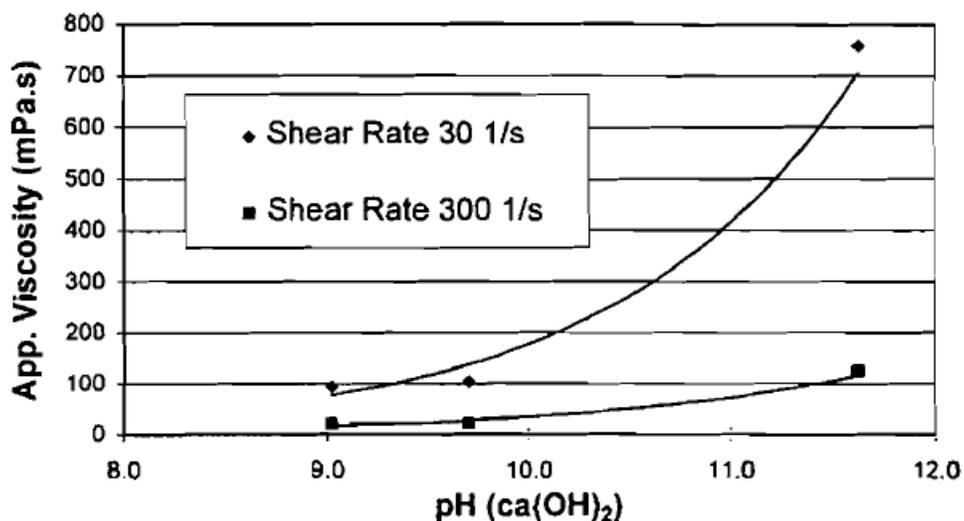
Para determinar el efecto de la adición de cal, las mediciones reológicas se realizaron en muestras de pulpa con 50 % de sólidos, p<sub>80</sub> de 76  $\mu\text{m}$  y a un intervalo de pH de 9,0 a 11,6.

Figura 7 Tensión de fluencia y viscosidad de Casson v/s pH.



En la figura 7 Que añadiendo cal para modificar el pH 9,0 a 9,7 tiene poco efecto sobre los valores de los dos coeficientes. Cuando se añade cal, los iones  $\text{Ca}_2^+$  adsorbidos pueden reducir la potencial zeta y las partículas se coagulen. Esta aumenta de tensión de fluencia y la viscosidad.

Figura 8 Viscosidad aparente v/s pH



En la figura 8 se distingue que a una velocidad mayor disminuyó la viscosidad aparente significativamente, que la diferencia entre la viscosidad aparente bajas y altas, la velocidades de

corte aumenta con el pH. Entonces, a pH alto, las propiedades pseudoplásticas de la pulpa serán más significativas.

### 2.2.8 Cianuración por agitación.

La lixiviación por cianuración por agitación radica en el tratamiento de la pulpa en tanque cilíndricos donde ingresa el mineral mas agua y el cianuro.

Para (Morante, Santos, Guerrero, Ramos, & Montalbán) Es un procedimiento mecánico de mezcla de pulpa con un abundancia de aire, en tanques circulares de tonelaje suficiente que permita el equilibrio del oro a diluirse en la solución cianurada. Los mezcladores o agitadores son de diferentes tipos, dividiéndose básicamente de dos tipos primordiales, aquellos que dependen completamente del consumo de aire y, aquellos que son basado en combinación de aire y agitación mecánica. Los mecánicos insuflan aire a un lado o en el centro del elevador de aire, para airear la pulpa mientras dependen de un mecanismo de agitación mecánica en el fondo para conservar la pulpa en suspensión. (Morante, Santos, Guerrero, Ramos, & Montalbán, 2005, pág. 2)

## 2.3 Definiciones de conceptos .

- a. **Cabeza Mineral:** Muestra inicial que va a ingresar a un proceso metalúrgico.
- b. **pH:** Es la concentración del ion hidrogeno presente en una disolución, indicador que mide el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- c. **Cranulometría:** Tamaño de partícula de un determinado de mineral representado por número de mallas o micras de acuerdo las normas.

- d. Disolvente:** Es la sustancia de mayor cantidad en una mezcla.
- e. Mena:** Compuesto de elementos mineralizados de interés o valor para un propósito.
- f. Optimización:** Es el proceso de modificación de un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.
- g. Oro:** Uno de los metales que se encuentra en la naturaleza como metal y aleados de color amarillo, brillante, muy dúctil y maleable, no es alterado en el medio ambiente.
- h. Oxidación:** Es el proceso en el cual los elementos químicos al exponerse al oxígeno modificando la composición química.
- i. Óxido:** Es el resulta de la exposición de los elementos con el oxígeno, produciendo una combinar oxígeno universalmente con un metal, metaloide. Capa de dar diversos colores, que se forma en la superficie de los metales por oxidación.
- j. Proceso:** Es una secuencia de “fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial” (Murrilla, 2006).

## 2.4 Formulación de hipótesis.

### 2.5.1. Hipótesis general.

Realizando un adecuado procedimiento y técnicas de la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, por consiguiente, nos permitirá obtener una extracción eficiente de oro a nivel laboratorio.

### **2.2.1. Hipótesis específicas.**

- Realizando en el tiempo la lixiviación por cianuración de minerales auríferos en agitación con presencia de cobre, tendrá una la recuperación ascendente de oro optimo a nivel laboratorio.
- Manteniendo la fuerza de cianuro en el tiempo tendrá, influencia en la lixiviación por cianuración de minerales auríferos por agitación, en presencia de cobre, para predecir el gasto de NaCN, en la extracción de oro a nivel laboratorio.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diseño metodológico.**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación.**

En el presente trabajo se realizará mediante indagación experimental, “el que observa procede seriamente sobre la peculiaridad del estudio, por consiguiente, los estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el estudio como mecanismo para probar sus hipótesis”. (Bernal, 2010, pág. 117).

Por otra parte, (Nuñoz) “los trabajos que son proyectadas para realizarse en un ambiente específico de ensayos. Para ello, se requiere un control de los experimentos, el cual simula las condiciones a las que se enfrentará el estudio” (Nuñoz, 2011, pág. 15).

**De acuerdo a su naturaleza:** Experimental.

**De acuerdo al propósito o utilización:** Investigación aplicada.

Por ello se determina, que la investigación será experimental y aplicada, ya que se realiza la parte experimental al nivel de laboratorio con un control mínimo, para posteriormente aplicar en el proceso de cianuración al nivel industrial.

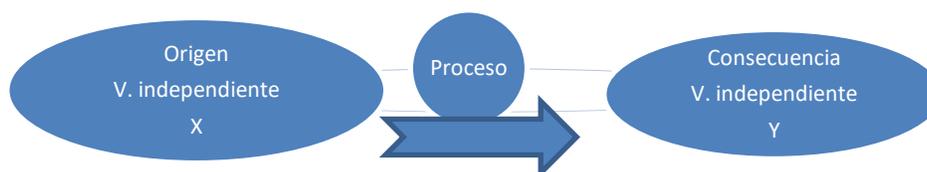
##### **3.1.2. Nivel de Investigación.**

Para esta investigación se aplicará, el nivel “predictiva experimental por ellos se aplicará métodos y técnicas para mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al estudio de investigación” (Carrasco, 2005, pág. 42).

### 3.1.3. Diseño de la Investigación.

En esta trabajo realizado se aplico, el diseño experimental, por que se manipularon las variables independientes, como concencia se observó su efecto sobre la variable dependiente con una situación de control (Fernandez, 2014, pág. 129).

*Figura 9 Esquema de experimento y variable*



### 3.1.4. Enfoque de la Investigación.

En la investigación se aplico el enfoque cuantitativo, porque el estudio son variables o fenómenos cuantificables o fácilmente mensurables. “se usa datos recolectados para probar la hipótesis con la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer pautas de comportamiento y probar teoría” (Fernandez, 2014, págs. 3-4).

## 3.2. Operacionalización de variables.

*Tabla 1: Operacionalización de Variables en estudio.*

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador
<b>Independiente</b>			
<b>Cianuración de minerales auríferos</b>	Técnica metalúrgica para la extracción del oro de mineral baja ley, que busca convertir el oro en aniones metálicos complejos de	Control	- Tiempo - Fuerza de cianuro

---

aurocianuro, solubles en agua, mediante un proceso de lixiviación.

**Dependiente**

**Extracción eficiente de oro**

Es el proceso de separar al oro de los minerales en forma de aniones denominado cianuro auroso, en medio acuoso con pocos recursos disponibles

Cuantificación - Recuperación de cianuro de sodio

**Intervinientes.**

**Condiciones constantes**

Son aquellos que intervienen en el proceso sin ser variado es decir invariables

- Densidad de pulpa.  
- Velocidad de agitación.  
- pH.

---

**3.3. Población y muestra.**

**3.3.1. Población.**

Para el estudio se tuvo en cuenta el mineral extraído de geología para ver el futuro proceso del proyecto alto chicama.

**3.3.2. Muestra.**

Para el estudio de investigación se tomaron el mineral extraído de geología de ello se prepararon y sacaron muestras de un kilogramo para realizar el estudio.

### **3.3.3. Tamaño de muestra.**

El tamaño de muestra es extraerá por incremento para ello se tiene 150 kg de muestras para el estudio realizados.

## **3.4. Técnica de recolección y procesamiento de datos.**

### **3.4.1. Fuentes.**

La información se recopilará de una fuente primaria respecto los proceso de flotación de pirita auríferos y de los productos obtenidos de las ensayos ejecutadas.

Respecto información para ello se dará validez de las bibliografías que son fuentes secundarias.

### **3.4.2. Técnicas.**

#### **a. Observación sistemática Directa.**

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

#### **b. Observación Sistemática Indirecta.**

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

#### **c. Observación experimental.**

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

### **3.4.3. Instrumentos.**

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

### **3.4.4. Procesamiento.**

Se usará el análisis estadístico y matemático, usando programas de cálculo como Excel, SPSS, XLSTAT, Minilat 18, Statgraphics, para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar, ecuaciones por regresión y otros.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Condiciones de las pruebas realizados.

##### 4.1.1. Ley de muestra del mineral.

El mineral para parte experimental tiene las siguientes leyes como se detalla en la tabla 2 que a continuación se describe.

*Tabla 2 Análisis químico de las muestras*

Cabeza		
Muestra	Au g/TM	Cu %
Composito1	0.431	0.100
Composito2	1.756	0.073
Composito3	1.055	0.099
Composito4	0.107	0.093
Composito5	0.077	0.041

En función de la tabla 2 la ley de cabeza para la parte experimental se tiene que para el composito1 0.431 g/TM de Au, 0.10% Cu, composito2 1.756 g/TM de Au, 0.073% Cu, composito3 1.055 g/TM de Au, 0.099% Cu, composito4 0.107 g/TM de Au, 0.093% Cu, y composito5 0.077 g/TM de Au, 0.041% Cu.

##### 4.1.2. Condiciones de la parte experimental.

Las condiciones para la parte experimental se describen en la tabla 3 que a continuación se presenta.

*Tabla 3 Condiciones de trabajo*

	Composito1 - 4	Composito5	Unidades
Peso Muestra	300.00	300.00	g
Volumen de H <sub>2</sub> O	800.00	1000.00	mL
	0.10	0.10	%
Fza NaCN	1.00	1.00	g/L
	1000.00	1000.00	ppm
AgNO <sub>3</sub>	0.025	0.025	N

De la tabla 4 se tiene un peso de 300 gramos de mineral, a un volumen de 800 mL para la prueba 1 al 4 y 1000 mL para la prueba 5, la fuerza del NaCN es de 0.1% equivalente a 1.00 g/L (1000 ppm), y para el análisis se prepara una concentración de 0.025 N de nitrato de plata.

*Tabla 4 Peso de las 5 muestras para el experimento*

N°	Bruto	tara	Peso
<b>1</b>	1040.90	740.50	300.40
<b>2</b>	1048.10	747.70	300.40
<b>3</b>	1030.80	730.80	300.00
<b>4</b>	1050.90	750.80	300.10
<b>5</b>	1026.40	726.00	300.40

## 4.2. Recursos.

### 4.2.1. Resultados de la recuperación de oro y cobre.

El resultado de las pruebas experimentales realizados de las 5 corridas se detalla a continuación en las tablas 5 al 9 y la figura del 10 al 14.

#### a. Primera prueba experimental.

La primera prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

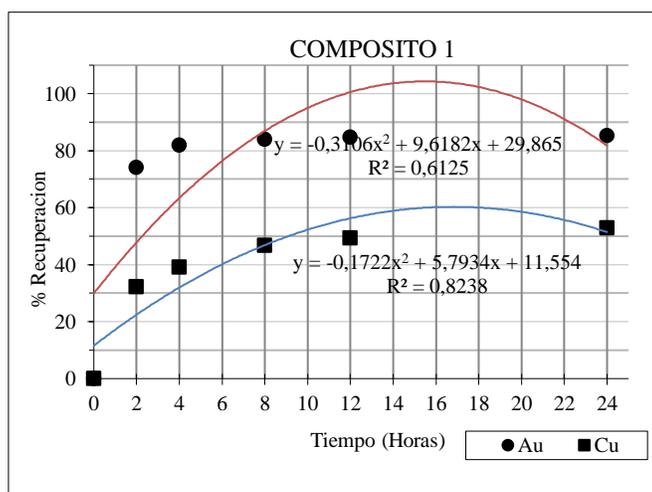
*Tabla 5 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 1*

	Tiempo (Horas)	Vol. Sol (Li)	Leyes (ppm)		Peso Fino (gr)		Pérdida (Alicuota Analisis)			Peso Fino Corregido (gr)		Tiempo (Horas)	% Recuperacion	
			Au	Cu	Au	Cu	ml	Au	Cu	Au	Cu		Au	Cu
Composito 1	0	0,80	0,000	0,00	0,000000	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,00	0,00
	2	0,80	0,120	121	0,000096	0,097040	30,00	0,000004	0,003639	0,000096	0,097040	2	74,25	32,38
	4	0,80	0,128	142	0,000102	0,113760	30,00	0,000004	0,004266	0,000106	0,117399	4	81,99	39,18
	8	0,80	0,131	170	0,000105	0,135760	30,00	0,000004	0,005091	0,000109	0,140026	8	84,03	46,73
	12	0,80	0,132	179	0,000106	0,142880	30,00	0,000004	0,005358	0,000110	0,147971	12	84,72	49,38
	24	0,80	0,133	191	0,000106	0,153120	0,00	0,000000	0,000000	0,000110	0,158478	24	85,36	52,88
							120,00	0,000015	0,018354					
RELAVE		300,4 g	0,063 g/Tn	0,047 %						0,00002	0,1412	RLV	14,64	47,12
CAB. CAL.		300,0 g	0,431 g/Tn	0,100 %						0,00013	0,2997	CAB	100,00	100,00
Ensayada 1			0,471 g/Tn	0,113 %										
Ensayada 2			0,481 g/Tn	0,107 %										
Ensayada 3			0,454 g/Tn	0,103 %										

Nota: Fuente resultado del composito1 procesado mediante el diseño experimental.

En función de la tabla 5 para una ley de cabeza de 0.431 g/Tn de oro y 0.10% de cobre y el relave con 0.063g/Tn de oro con 0.047% de cobre se tiene una recuperación 2 horas de 74.25%, 32.38% respectivamente, para 4 horas se tiene 81.99%, 39.18%, en 8 horas de 84.03%, 46.73%, en 12 horas de 84.72%, 49.38% y en 24 horas de 85.36% de oro y 52.88% de cobre.

Figura 10 Cinética de recuperación de oro y cobre prueba 1



Nota: Fuente procesado en función a la información de la investigación experimental

De la figura 10, la curva del porcentaje de extracción del oro y cobre en función del tiempo está presentada con el modelo matemático  $\text{Recup}(\text{Au}) = -0,3106(\text{hora})^2 + 9,6182(\text{hora}) + 29,865$ , con  $R^2 = 0,6125$  o coeficiente de correlación de 0,78262379 para el oro y para la plata el modelo matemático de  $\text{Recup}(\text{Cu}) = -0,1722(\text{hora})^2 + 5,7934(\text{hora}) + 11,554$ , con  $R^2 = 0,8238$  o coeficiente de correlación de 0,90763429.

Tabla 6 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre compuesto 1

%Recup Au	Tiempo horas	%Recup Cu	Tiempo horas
29,9	0,00	11,6	0,00
36,1	0,66	16,0	0,78
42,3	1,35	20,4	1,59
48,5	2,07	24,8	2,46
54,7	2,84	29,2	3,38

60,9	3,66	33,6	4,36
67,1	4,53	38,0	5,43
73,3	5,49	42,4	6,62
79,5	6,54	46,8	7,96
85,7	7,74	51,2	9,54
91,9	9,16	55,6	11,58
98,1	11,01	60,0	15,44

Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

De la tabla 6 la proyección máxima de la recuperación del oro es de 98.01% en un periodo de 11.01 hora y para el cobre del 60% en 15.44 horas.

### b. Segunda prueba experimental.

La primera prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

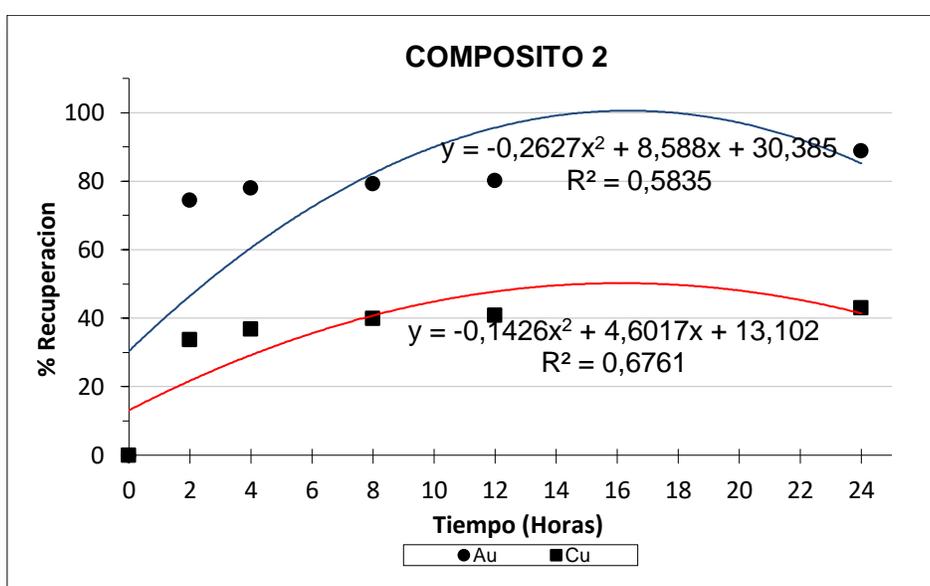
*Tabla 7 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 2*

Tiempo (Horas)	Vol. Sol (Lt)	Leyes (ppm)		Peso Fino (gr)		Perdida (Alicuota Analisis)			Peso Fino Corregido (gr)		Tiempo (Horas)	% Recuperacion	
		Au	Cu	Au	Cu	ml	Au	Cu	Au	Cu		Au	Cu
0	0,800	0,000	0,00	0,000000	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,00	0,00
2	0,800	0,491	92,99	0,000393	0,074392	30,00	0,000015	0,002790	0,000393	0,074392	2	74,46	33,63
4	0,800	0,496	98,33	0,000397	0,078664	30,00	0,000015	0,002950	0,000412	0,081454	4	78,01	36,83
8	0,800	0,504	106,50	0,000403	0,085200	30,00	0,000015	0,003195	0,000418	0,088150	8	79,25	39,85
12	0,800	0,509	108,70	0,000407	0,086960	30,00	0,000015	0,003261	0,000422	0,090155	12	80,05	40,76
24	0,800	0,566	114,70	0,000453	0,091760	0,00	0,000000	0,000000	0,000468	0,095021	24	88,73	42,96
						120,00	0,000060	0,012196					
RELAVE	300,4 g	0,198 g/Tn	0,042 %						0,00006	0,1262	RLV	11,27	57,04
CAB. CAL.	300,0 g	1,758 g/Tn	0,074 %						0,00053	0,2212	CAB	100,00	100,00
Ensayada 1		1,721 g/Tn	0,081 %										
Ensayada 2		1,669 g/Tn	0,079 %										
Ensayada 3		1,604 g/Tn	0,080 %										

Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

En función de la tabla 7 para una ley de cabeza de 1.758 g/Tn de oro y 0.074% de cobre y el relave con 0.198g/Tn de oro con 0.074% de cobre se tiene una recuperación 2 horas de 74.46%, 33.63% respectivamente, para 4 horas se tiene 78.01%, 36.83%, en 8 horas de 79.25%, 39.85%, en 12 horas de 80.05%, 40.76% y en 24 horas de 88.73% de oro y 42.96% de cobre.

Figura 11 Cinética de recuperación de oro y cobre prueba 2



Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

De la figura 11, la curva del porcentaje de extracción del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matemático  $Recup(Au) = -0.2627(hora)^2 + 8.588(hora) + 30.385$ , con  $R^2 = 0.5835$  o coeficiente de correlacional de 0,76387172 para el oro y para la plata el modelo matemático de  $Recup(Cu) = -0,1426(hora)^2 + 4,6017(hora) + 13,102$   $R^2 = 0,6761$  o coeficiente de correlacional de 0,822253.

*Tabla 8 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre composito2*

%Recup Au	Tiempo horas	%Recup Cu	Tiempo horas
30,4	0,00	13,1	0,00
36,5	0,73	16,5	0,75
42,7	1,50	19,8	1,54
48,8	2,31	23,2	2,37
55,0	3,17	26,6	3,26
61,1	4,09	30,0	4,21
67,3	5,09	33,3	5,25
73,4	6,18	36,7	6,39
79,6	7,41	40,1	7,69
85,7	8,83	43,4	9,23
91,9	10,59	46,8	11,23
98,0	13,24	50,2	15,52

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la tabla 8 la proyección máxima de la recuperación del oro es de 98.00% en un periodo de 13.24 hora y para el cobre del 50.2% en 15.52 horas.

### **c. Tercera prueba experimental.**

La tercera prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

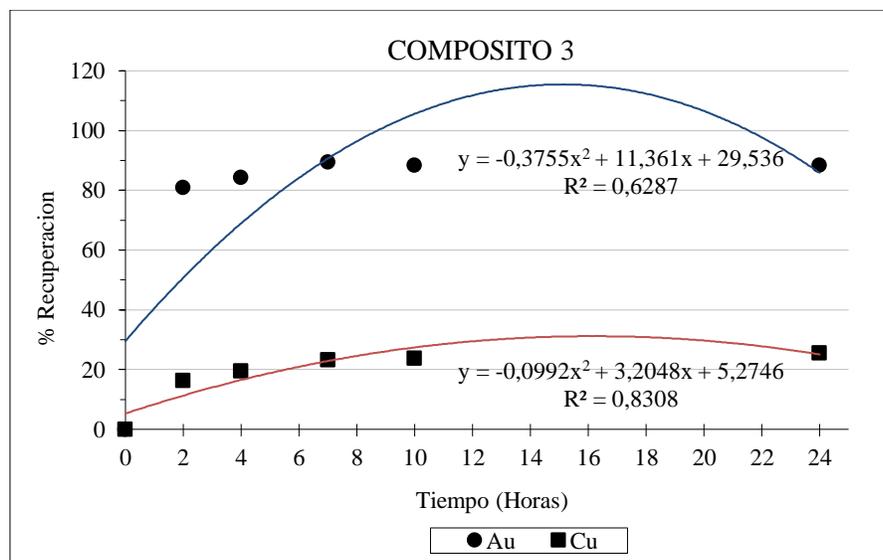
Tabla 9 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 3

	Tiempo (Horas)	Vol. Sol (Lt)	Leyes (ppm)		Peso Fino (gr)		Perdida (Alicuota Analisis)			Peso Fino Corregido (gr)		Tiempo (Horas)	% Recuperacion	
			Au	Cu	Au	Cu	ml	Au	Cu	Au	Cu		Au	Cu
Composito 3	0	0,800	0,000	0,00	0,000000	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,00	0,00
	2	0,800	0,320	60,88	0,000256	0,048704	30,00	0,000010	0,001826	0,000256	0,048704	2	80,86	16,33
	4	0,800	0,322	70,40	0,000258	0,056320	50,00	0,000016	0,003520	0,000267	0,058146	4	84,39	19,50
	7	0,800	0,334	82,12	0,000267	0,065696	30,00	0,000010	0,002464	0,000283	0,069216	8	89,48	23,21
	10	0,800	0,337	85,63	0,000270	0,068504	30,00	0,000010	0,002569	0,000280	0,070968	12	88,32	23,80
	24	0,800	0,337	92,01	0,000270	0,073608	0,00	0,000000	0,000000	0,000280	0,076177	24	88,35	25,55
							140,00	0,000046	0,010379					
RELAVE		300,0 g	0,123 g/Tn	0,074 %						0,00004	0,2220	RLV	11,65	74,45
CAB. CALC.		300,0 g	1,055 g/Tn	0,099 %						0,00032	0,2982	CAB	100,00	100,00
Ensayada 1			1,058 g/Tn	0,111 %										
Ensayada 2			1,015 g/Tn	0,106 %										
Ensayada 3														

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En función de la tabla 9 para una ley de cabeza de 1.055 g/Tn de oro y 0.099% de cobre y el relave con 0.123g/Tn de oro con 0.074% de cobre, se tiene una recuperación 2 horas de 80.86%, 16.33% respectivamente, para 4 horas se tiene 84.39%, 19.50%, en 8 horas de 89.48%, 23.21%, en 12 horas de 88.32%, 23.80% y en 24 horas de 88.35% de oro y 25.55% de cobre.

Figura 12 Cinética de recuperación de oro y cobre prueba 3



Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la figura 12, la curva del porcentaje de extracción del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matemático  $\text{Recup}(\text{Au}) = -0.3755(\text{hora})^2 + 11.361(\text{hora}) + 29.536$ , con  $R^2 = 0.6287$  o coeficiente de correlación de 0,7929 para el oro, y para el cobre el modelo matemático de  $\text{Recup}(\text{Cu}) = -0,099(\text{hora})^2 + 3.204(\text{hora}) + 5.2746$   $R^2 = 0,8308$  o coeficiente de correlación de 0,9115.

*Tabla 10 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre compuesto 3*

%Recup Au	Tiempo horas	%Recup Cu	Tiempo horas
29,5	0,00	5,3	0,00
35,8	0,56	7,6	0,75
42,0	1,14	10,0	1,54
48,2	1,75	12,3	2,37
54,4	2,38	14,7	3,26
60,7	3,05	17,0	4,22
66,9	3,76	19,4	5,25
73,1	4,51	21,7	6,40
79,4	5,32	24,1	7,70
85,6	6,21	26,4	9,25
91,8	7,19	28,8	11,25
98,0	8,32	31,1	15,57

Nota: Fuente procesado en función a la información de la investigación experimental

De la tabla 10 la proyección máxima de la recuperación del oro es de 98.00% en un periodo de 8.32 hora y para el cobre del 31.1% en 15.57 horas.

#### **d. Cuarta prueba experimental.**

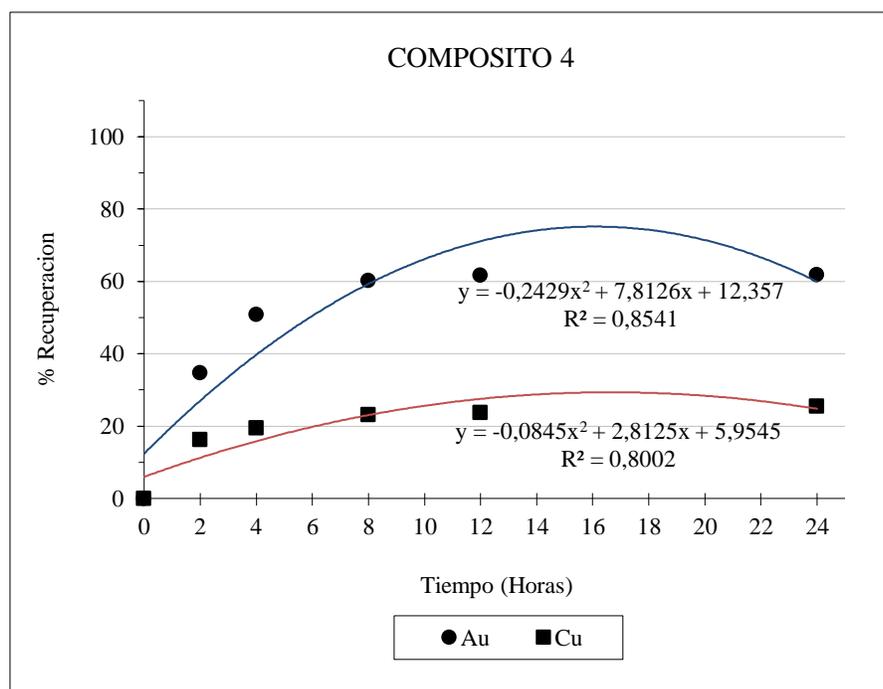
La cuarta prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

Tabla 11 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 4

Composito 4	Tiempo (Horas)	Vol. Sol (Lt)	Leyes (ppm)		Peso Fino (gr)		Pérdida (Alicuota Analisis)			Peso Fino Corregido (gr)		Tiempo (Horas)	% Recuperacion	
			Au	Cu	Au	Cu	ml	Au	Cu	Au	Cu		Au	Cu
	0	0,800	0,000	0,00	0,000000	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,00	0,00
	2	0,800	0,014	211,000	0,000011	0,168800	30,00	0,000000	0,006330	0,000011	0,168800	2	34,76	60,12
	4	0,800	0,020	224,100	0,000016	0,179280	50,00	0,000001	0,011205	0,000016	0,185610	4	50,96	66,11
	8	0,800	0,023	228,900	0,000018	0,183120	30,00	0,000001	0,006867	0,000019	0,194325	8	60,20	69,21
	12	0,800	0,024	229,700	0,000019	0,183760	30,00	0,000001	0,006891	0,000020	0,190627	12	61,72	67,90
	24	0,800	0,024	229,800	0,000019	0,183840	0,00	0,000000	0,000000	0,000020	0,190731	24	61,82	67,93
							140,00	0,000003	0,031293					
RELAVE		300,1 g	0,041 g/Tn	0,030 %						0,00001	0,0900	RLV	38,18	32,07
CAB. CALC.		300,0 g	0,107 g/Tn	0,094 %						0,00003	0,2808	CAB	100,00	100,00
Ensayada 1			0,266 g/Tn	0,167 %										
Ensayada 2			0,181 g/Tn	0,152 %										
Ensayada 3			0,107 g/Tn	0,102 %										

En la tabla 11 para una ley de cabeza de 0.107 g/Tn de oro y 0.094% de cobre y el relave con 0.041g/Tn de oro con 0.030% de cobre se tiene una recuperación en 2 horas de 34.76%, 60.12% respectivamente, para 4 horas se tiene 50.96%, 66.11%, en 8 horas de 60.20, 69.21%, en 12 horas de 61.72%, 67.90% y en 24 horas de 61.82% de oro y 67.93% de cobre.

Figura 13 Cinética de recuperación de oro y cobre prueba 4



De la figura 13, la curva del porcentaje de extracción del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matemático  $\text{Recup}(\text{Au}) = -0.2429(\text{hora})^2 + 7.8126(\text{hora}) + 12.7$ , con  $R^2 = 0.8541$  o coeficiente de correlación de 0,9242 para el oro, y para la cobre el modelo matemático de  $\text{Recup}(\text{Cu}) = -0,099(\text{hora})^2 + 3.204(\text{hora}) + 5.2746$   $R^2 = 0,8308$  o coeficiente de correlación de 0,9115.

*Tabla 12 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre compuesto4*

%Recup Au	Tiempo horas	%Recup Cu	Tiempo horas
12,4	0,00	6,0	0,00
18,1	0,75	8,1	0,77
23,8	1,53	10,2	1,58
29,5	2,36	12,3	2,44
35,1	3,24	14,4	3,35
40,8	4,19	16,6	4,33
46,5	5,22	18,7	5,40
52,2	6,36	20,8	6,58
57,9	7,66	22,9	7,91
63,6	9,19	25,0	9,49
69,3	11,18	27,2	11,54
75,0	15,32	29,3	15,65

Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

De la tabla 12 la proyección máxima de la recuperación del oro es de 75.00% en un periodo de 15.32 hora y para el cobre del 29.30% en 15.65 horas.

#### **e. Quinta prueba experimental.**

La quinta prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 1000mL y tres ensayos de réplica.

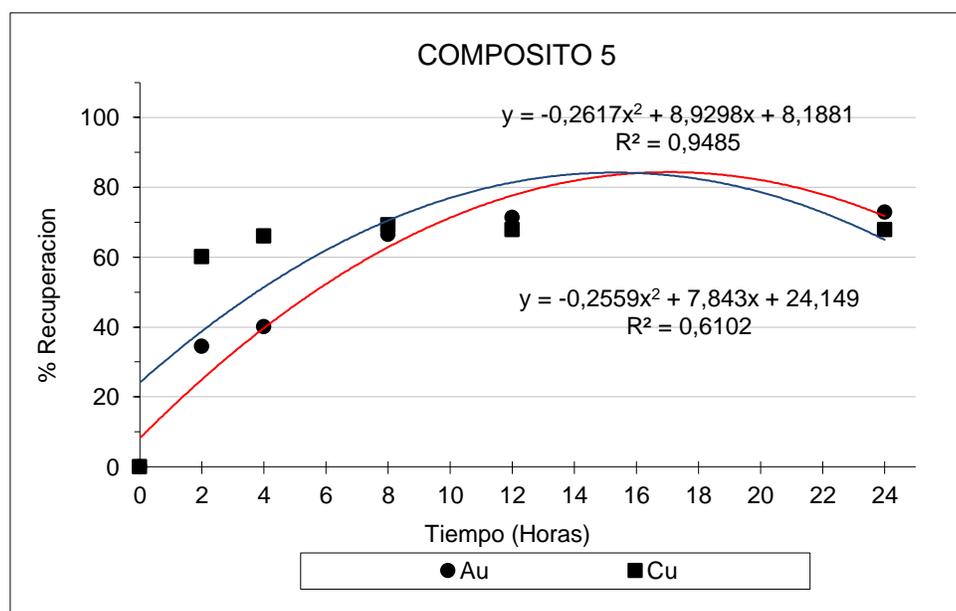
Tabla 13 Balance metalúrgico de oro y cobre prueba 5

	Tiempo (Horas)	Vol. Sol (Lt)	Leyes (ppm)		Peso Fino (gr)		Perdida (Alicuota Analisis)			Peso Fino Corregido (gr)		Tiempo (Horas)	% Recuperacion	
			Au	Cu	Au	Cu	ml	Au	Cu	Au	Cu		Au	Cu
Composito 5	0	1,000	0,00	0,00	0,000000	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	0,00	0,00
	2	1,000	0,008	76,000	0,000008	0,076000	40,00	0,000000	0,003040	0,000008	0,076000	2	34,41	62,02
	4	1,000	0,009	77,130	0,000009	0,077130	50,00	0,000000	0,003857	0,000009	0,080170	4	40,09	65,42
	8	1,000	0,015	77,140	0,000015	0,077140	40,00	0,000001	0,003086	0,000015	0,080997	8	66,46	66,09
	12	1,000	0,016	77,320	0,000016	0,077320	40,00	0,000001	0,003093	0,000017	0,080406	12	71,40	65,61
	24	1,000	0,016	77,400	0,000016	0,077400	0,00	0,000000	0,000000	0,000017	0,080493	24	72,87	65,68
							170,00	0,000002	0,013075					
RELAVE	300,4 g		0,021 g/Tn	0,014 %						0,00001	0,0421	RLV	27,13	34,32
CAB. CALC.	300,0 g		0,077 g/Tn	0,041 %						0,00002	0,1225	CAB	100,00	100,00
Ensayada 1			0,073 g/Tn	0,044 %										
Ensayada 2			0,078 g/Tn	0,042 %										
Ensayada 3			0,064 g/Tn	0,046 %										

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 13 para una ley de cabeza de 0.077 g/Tn de oro y 0.041% de cobre y el relave con 0.021g/Tn de oro con 0.014% de cobre se tiene una recuperación en 2 horas de 34.41%, 62.02% respectivamente, para 4 horas se tiene 40.09%, 65.42%, en 8 horas de 66.46, 66.06%, en 12 horas de 71.40%, 65.61% y en 24 horas de 72.87% de oro y 65.68% de cobre.

Figura 14 Cinética de recuperación de oro y cobre prueba 5



Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la figura 14, la curva del porcentaje de extracción del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matemático  $\text{Recup}(\text{Au}) = -0.2617(\text{hora})^2 + 8.9298(\text{hora}) + 8.1881$ , con  $R^2 = 0.9485$  o coeficiente de correlación de 0,9739 para el oro, y para la cobre el modelo matemático de  $\text{Recup}(\text{Cu}) = -0,2559x^2 + 7,843x + 24,149$   $R^2 = 0,6102$  o coeficiente de correlación de 0,7812.

*Tabla 14 Proyecciones de la recuperación del oro y cobre en el compuesto 5*

%Recup Au	Tiempo horas	%Recup Cu	Tiempo horas
8,2	0,00	24,1	0,00
15,1	0,79	29,6	0,71
22,0	1,63	35,1	1,46
29,0	2,51	40,5	2,26
35,9	3,45	46,0	3,10
42,8	4,46	51,5	4,01
49,7	5,56	56,9	4,99
56,7	6,77	62,4	6,08
63,6	8,15	67,9	7,32
70,5	9,79	73,3	8,79
77,4	11,92	78,8	10,70
84,4	17,00	84,2	15,29

Nota: Fuente procesado en función a la información de la investigación experimental

De la tabla 12 la proyección máxima de la recuperación del oro es de 85.40% en un periodo de 17.00 hora y para el cobre del 84.2% en 15.29 horas.

#### 4.2.2. Consumo del cianuro de sodio en la recuperación de oro y cobre.

El resultado de las pruebas experimentales realizados de las 5 corridas se detalla a continuación en las tablas 15 al 19 y la figura del 15 al 14.

##### a. Consumo de NaCN de la primera prueba experimental.

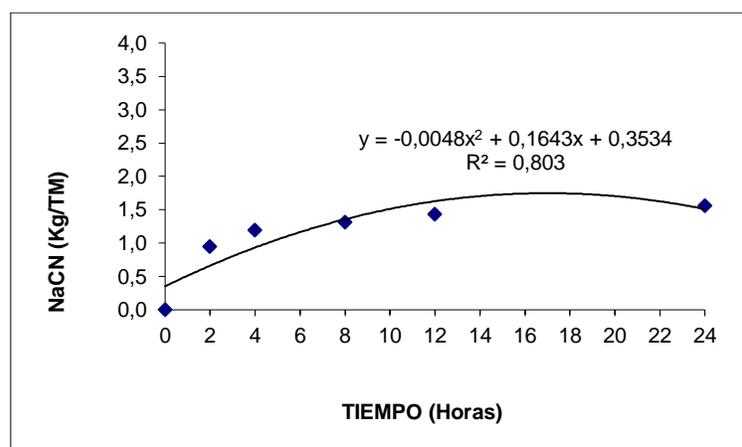
En la primera prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

Tabla 15 Consumo de cianuro de sodio prueba 1

	Tiempo (horas)	pH		Adición Cal (gr.)	Gasto AgNO <sub>3</sub> (cc)	Fza NaCN %	Final NaCN (gr.)	Consumo NaCN (gr.)	NaCN Acum (gr.)	Tiempo (horas)	NaCN Acum (Kg/TM)	NaCN TOTAL (Kg/TM)
		Inicial	Final									
Composito 1	0	6,48	12,6	0,30				0,80	0,00	0	0,00	1,56
	2		12,5		2,7	0,06	0,52	0,28	0,28	2	0,95	
	4		12,3		3,8	0,09	0,73	0,07	0,36	4	1,20	
	8		12,2		4,0	0,10	0,76	0,04	0,39	8	1,32	
	12		11,7		4,0	0,10	0,76	0,04	0,43	12	1,44	
	24		11,4		4,0	0,10	0,76			24	1,56	

En la tabla 15 el consumo de cianuro de sodio en la recuperación de oro se tiene en 2 horas de 0.95 kg/TM, para 4 horas se tiene 1.20 kg/TM, en 8 horas de 1.32 kg/TM, en 12 horas de 1.44 kg/TM y en 24 horas de 1.56 kg/TM.

Figura 15 Cinética de consumo de cianuro de sodio prueba 1



Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

De la figura 15, la cinetica de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matematico  $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = -0.0048(\text{hora})^2 + 0.1643(\text{hora}) + 0.3534$ , con  $R^2 = 0.803$  o coeficiente de correlacional de 0,8961 para el oro.

*Tabla 16 Proyecciones del consumo de NaCN el composito1*

kg/TM NaCN	Tiempo horas
0,4	0,00
0,5	1,07
0,7	2,21
0,9	3,45
1,0	4,82
1,2	6,35
1,4	8,15
1,5	10,41
1,7	14,02

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la tabla 16 la proyección máxima de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro es de 1.5 kg/TM en un periodo de 10.41 horas.

#### **b. Consumo de NaCN de la segunda prueba experimental.**

En la segunda prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

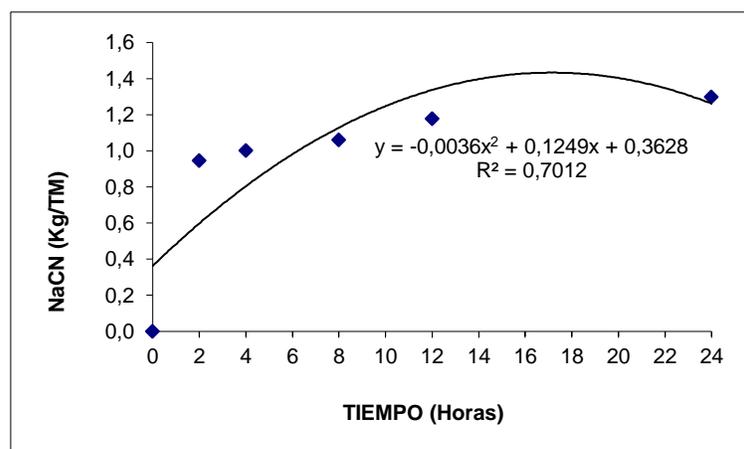
Tabla 17 Consumo de cianuro de sodio prueba 2

	Tiempo (horas)	pH		Adicion Cal (gr.)	Gasto AgNO <sub>3</sub> (cc)	Fza NaCN %	Final NaCN (gr.)	Consumo NaCN (gr.)	NaCN Acum (gr.)	Tiempo (horas)	NaCN Acum (Kg/TM)	NaCN TOTAL (Kg/TM)
		Inicial	Final									
Composito 2	0	6,29	11,7	0,64				0,80	0,00	0	0,00	1,30
	2		11,7		2,7	0,06	0,52	0,28	0,28	2	0,95	
	4		11,5		4,1	0,10	0,78	0,02	0,30	4	1,00	
	8		11,4		4,1	0,10	0,78	0,02	0,32	8	1,06	
	12		11,0		4,0	0,10	0,76	0,04	0,35	12	1,18	
	24		11,1		4,0	0,10	0,76			24	1,30	

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 17 el consumo de cianuro de sodio en la recuperación de oro se tiene en 2 horas de 0.95 kg/TM, para 4 horas se tiene 1.00 kg/TM, en 8 horas de 1.06 kg/TM, en 12 horas de 1.18 kg/TM y en 24 horas de 1.30 kg/TM.

Figura 16 Cinética de consumo de cianuro de sodio prueba 2



Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la figura 16, la cinetica de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el moldelo matematico  $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = -0.0036(\text{hora})^2 + 0.1249(\text{hora}) + 0.3628$ , con  $R^2 = 0.7012$  o coeficiente de correlacional de 0,8374 para el oro.

*Tabla 18 Proyecciones del consumo de NaCN el composito2*

kg/TM NaCN	Tiempo horas
0,36	0,00
0,49	1,00
0,61	2,06
0,73	3,21
0,85	4,45
0,97	5,83
1,10	7,39
1,22	9,24
1,34	11,65
1,46	17,00

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la tabla 18 la proyección máxima de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro es de 1.46 kg/TM en un periodo de 17.00 horas.

**c. Consumo de NaCN de la tercera prueba experimental.**

En la tercera prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

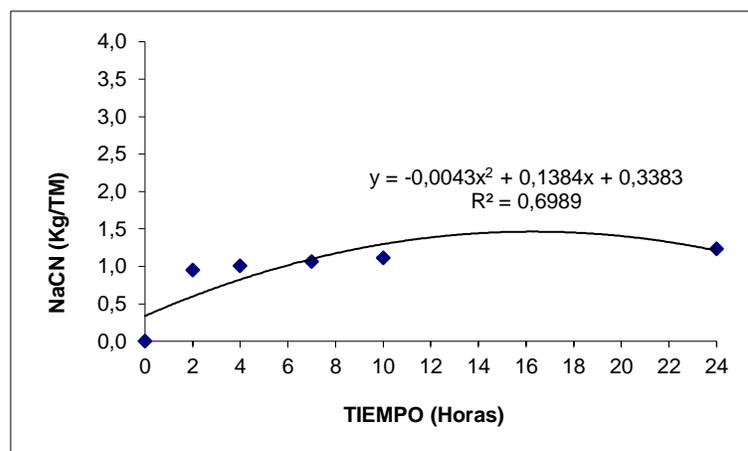
Tabla 19 Consumo de cianuro de sodio prueba 3

	Tiempo (horas)	pH		Adicion Cal (gr.)	Gasto AgNO <sub>3</sub> (cc)	Fza NaCN %	Final NaCN (gr.)	Consumo NaCN (gr.)	NaCN Acum (gr.)	Tiempo (horas)	NaCN Acum (Kg/TM)	NaCN TOTAL (Kg/TM)
		Inicial	Final									
Composito 3	0	6,15	11,9	0,20				0,80	0,00	0	0,00	
	2		11,2		2,7	0,06	0,52	0,28	0,28	2	0,95	
	4		11,2		4,1	0,10	0,78	0,02	0,30	4	1,00	1,24
	7		11,1		4,1	0,10	0,78	0,02	0,32	8	1,06	
	10		11,1		4,1	0,10	0,78	0,02	0,34	12	1,12	
	24		10,9		4,0	0,10	0,76			24	1,24	

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 19 el consumo de cianuro de sodio en la recuperación de oro se tiene en 2 horas de 0.95 kg/TM, para 4 horas se tiene 1.00 kg/TM, en 8 horas de 1.06 kg/TM, en 12 horas de 1.12 kg/TM y en 24 horas de 1.24 kg/TM.

Figura 17 Cinética de consumo de cianuro de sodio prueba 3



Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la figura 17, la cinetica de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el moldelo matematico  $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = -0.0043(\text{hora})^2 + 0.1384(\text{hora}) + 0.3383$ , con  $R^2 = 0.6989$  o coeficiente de correlacional de 0,8360 para el oro.

*Tabla 20 Proyecciones del consumo de NaCN el composito3*

kg/TM NaCN	Tiempo horas
0,34	0,00
0,47	1,00
0,60	1,98
0,72	3,02
0,84	4,16
0,96	5,42
1,08	6,85
1,21	8,55
1,33	10,76
1,45	16,03

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la tabla 20, la proyección máxima de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro es de 1.45 kg/TM en un periodo de 16.03 horas.

#### d. Consumo de NaCN de la cuarta prueba experimental.

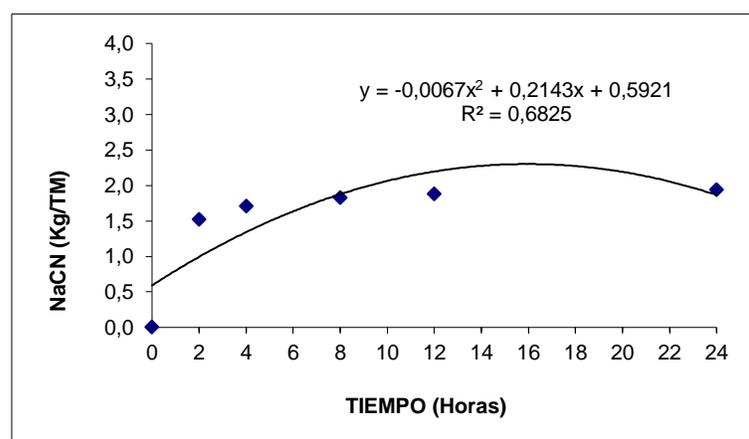
En la cuarta prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 800mL y tres ensayos de réplica.

Tabla 21 Consumo de cianuro de sodio prueba 4

	Tiempo (horas)	pH		Adición Cal (gr.)	Gasto AgNO <sub>3</sub> (cc)	Fza NaCN %	Final NaCN (gr.)	Consumo NaCN (gr.)	NaCN Acum (gr.)	Tiempo (horas)	NaCN Acum (Kg/TM)	NaCN TOTAL (Kg/TM)
		Inicial	Final									
Composito 4	0	4,79	12,4	1,40				0,80	0,00	0	0,00	
	2		12,3		1,8	0,04	0,34	0,46	0,46	2	1,52	
	4		12,3		3,9	0,09	0,74	0,06	0,51	4	1,70	
	8		12,2		4,0	0,10	0,76	0,04	0,55	8	1,82	1,94
	12		11,9		4,1	0,10	0,78	0,02	0,56	12	1,88	
	24		11,8		4,1	0,10	0,78			24	1,94	

En la tabla 21 el consumo de cianuro de sodio en la recuperación de oro se tiene en 2 horas de 1.52 kg/TM, para 4 horas se tiene 1.70 kg/TM, en 8 horas de 1.82 kg/TM, en 12 horas de 1.88 kg/TM y en 24 horas de 1.94 kg/TM.

Figura 18 Cinética de consumo de cianuro de sodio prueba 4



De la figura 18, la cinética de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matemático  $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = -0,0067(\text{hora})^2 + 0,2143(\text{hora}) + 0,5921$ , con  $R^2 = 0,6825$  o coeficiente de correlación de 0,8078 para el oro.

*Tabla 22 Proyecciones del consumo de NaCN el composito4*

kg/TM NaCN	Tiempo horas
0,59	0,00
0,78	0,91
0,97	1,89
1,16	2,93
1,35	4,07
1,54	5,33
1,73	6,75
1,92	8,45
2,11	10,65
2,30	15,63

De la tabla 22, la proyección máxima de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro es de 2.30 kg/TM en un periodo de 15.63 horas.

**e. Consumo de NaCN de la quinta prueba experimental.**

En la quinta prueba experimental se realiza con un intervalo de tiempo de 2, 4, 8, 12, 24 horas con un volumen de solución de 1000mL y tres ensayos de réplica.

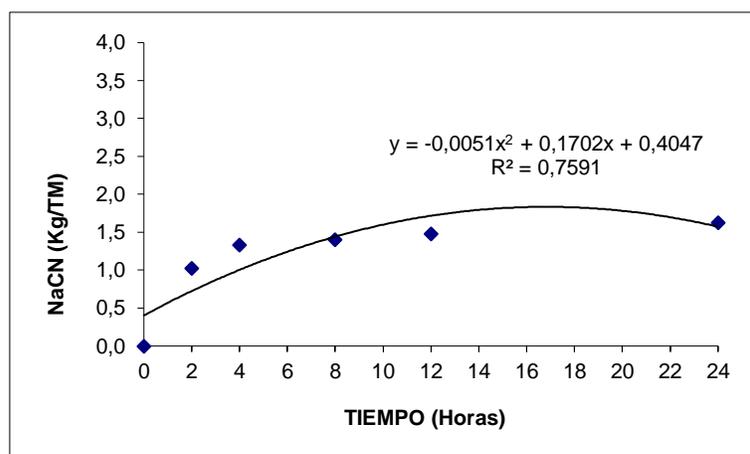
Tabla 23 Consumo de cianuro de sodio prueba 5

	Tiempo (horas)	pH		Adicion Cal (gr.)	Gasto AgNO <sub>3</sub> (cc)	Fza NaCN %	Final NaCN (gr.)	Consumo NaCN (gr.)	NaCN Acum (gr.)	Tiempo (horas)	NaCN Acum (Kg/TM)	NaCN TOTAL (Kg/TM)
		Inicial	Final									
Composito 5	0	4,73	12,3	1,20				1,00	0,00	0	0,00	
	2		12,0		2,9	0,07	0,69	0,31	0,31	2	1,03	
	4		12,0		3,8	0,09	0,91	0,09	0,40	4	1,33	1,63
	8		11,9		4,1	0,10	0,98	0,02	0,42	8	1,41	
	12		11,7		4,1	0,10	0,98	0,02	0,44	12	1,48	
	24		11,6		4,0	0,10	0,96			24	1,63	

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 23 el consumo de cianuro de sodio en la recuperación de oro se tiene en 2 horas de 1.03 kg/TM, para 4 horas se tiene 1.33 kg/TM, en 8 horas de 1.41 kg/TM, en 12 horas de 1.48 kg/TM y en 24 horas de 1.63 kg/TM.

Figura 19 Cinética de consumo de cianuro de sodio prueba 5



Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la figura 19, la cinetica de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro y cobre en función del tiempo esta representada con el modelo matematico  $\text{NaCN}(\text{kg/TM}) = -0.0051(\text{hora})^2 + 0.1702(\text{hora}) + 0.4047$ , con  $R^2 = 0.7591$  o coeficiente de correlacional de 0,8713 para el oro.

*Tabla 24 Proyecciones del consumo de NaCN en el composito5*

kg/TM NaCN	Tiempo horas
0,40	0,00
0,56	0,95
0,72	1,97
0,88	3,06
1,04	4,25
1,19	5,56
1,35	7,05
1,51	8,82
1,67	11,12
1,82	16,46

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

De la tabla 24, la proyección máxima de consumo de cianuro de sodio en la recuperación del oro es de 1.82 kg/TM en un periodo de 16.46 horas.

### 4.2.3. Recuperación de oro cobre y el consumo de cianuro de sodio y cal.

La recuperación de oro y cobre y su consumo de cianuro de sodio y cal, los resultados de las pruebas experimentales realizados de las 5 corridas se detallan a continuación en las tablas 25, la pérdida de oro en el relave en la tabla 26 y la proyección del consumo de cianuro de sodio en la tabla 27.

Tabla 25 Recuperación de oro, consumo de NaCN y CaO

Muestra	Au		Cu		NaCN	CaO	Inicial	
	Ley (g/TM)	% Recup.	Ley (%)	% Recup.	Kg/TM	kg/TM	pH	pH
Composito1	0.431	85.36	0.100	52.88	1.56	1.00	12.12	6.48
Composito2	1.758	88.73	0.074	42.96	1.30	2.13	11.40	6.29
Composito3	1.055	88.35	0.099	25.55	1.24	0.67	11.23	6.15
Composito4	0.107	61.82	0.094	67.93	1.94	4.67	12.15	4.79
Composito5	0.077	72.87	0.041	65.68	1.63	4.00	11.92	4.73

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 25 para una ley de cabeza la recuperación de oro y cobre en función del consumo de cianuro de sodio, cal a un pH se detalla, para el composito1 de 0.431 g/TM de oro la recuperación de 85.36%, para el cobre de 0.10% su recuperación de 52.88% se consume 1.56 kg/TM de NaCN 1.00 kg/TM de cal a un pH de 12.12 teniendo un pH natural de 6.48. Para el composito2 de 1.758 g/TM de oro la recuperación de 88.73%, para el cobre de 0.074% su recuperación de 42.96% se consume 1.30 kg/TM de NaCN 2.13kg/TM de cal a un pH de 11.40 teniendo un pH natural de 6.29. Para el composito3 de 1.055 g/TM de oro la recuperación de 88.35%, para el cobre de 0.099% su recuperación de 25.55% se consume 1.24 kg/TM de NaCN 0.67kg/TM de cal a un pH de 11.23 teniendo un pH natural de 6.15. Para el composito4 de 0.107

g/TM de oro la recuperación de 61.82%, para el cobre de 0.094% su recuperación de 67.93% se consume 1.94 kg/TM de NaCN 4.67kg/TM de cal a un pH de 12.15 teniendo un pH natural de 4.79. Para el composito5 de 0.077 g/TM de oro la recuperación de 72.87%, para el cobre de 0.041% su recuperación de 65.68% se consume 1.63 kg/TM de NaCN 1.63kg/TM de cal a un pH de 11.92 teniendo un pH natural de 64.73.

*Tabla 26 Perdida de oro en el relave*

Muestra	Cabeza		Relave			
	Au	Cu	Au	Cu	Au	Cu
	g/TM	%	g/TM	%	%	%
Composito1	0.431	0.100	0.063	0.047	14.64	47.12
Composito2	1.758	0.074	0.198	0.042	11.27	57.04
Composito3	1.055	0.099	0.123	0.074	11.65	74.45
Composito4	0.107	0.094	0.041	0.030	38.18	32.07
Composito5	0.077	0.041	0.021	0.014	27.13	34.32

Nota: Fuente procesado en función alas información de la investigación experimental

En la tabla 26 para una ley de cabeza la recuperación de oro y cobre en función a la perdida en el relave de los valores, se detalla, para el composito1 de 0.431 g/TM de oro, de 0.10% cobre, se tiene una pérdida de 0.063 g/TM de Au 0.047% Cu que es el 14.64% y 47.12% respetivamente. En el composito2 de 1.758 g/TM de oro, de 0.074% cobre, se tiene una pérdida de 0.198 g/TM de Au 0.042% Cu que es el 11.27% y 57.04% respetivamente. En el composito3 de 1.055 g/TM de oro, de 0.099% cobre, se tiene una pérdida de 0.123 g/TM de Au 0.074% Cu que es el 11.65% y 74.45% respetivamente. En el composito4 de 0.107 g/TM de oro, de 0.094% cobre, se tiene una pérdida de 0.041 g/TM de Au 0.030% Cu que es el 38.18% y 32.07%

respectivamente. En el composito5 de 0.077 g/TM de oro, de 0.041% cobre, se tiene una pérdida de 0.041 g/TM de Au 0.021% Cu que es el 27.13% y 34.32% respectivamente.

*Tabla 27 proyección del consumo de NaCN y de la recuperación de Au y Cu*

	Tiempo	kg/TM	Tiempo		Tiempo	
	Hora	NaCN	Hora	Recup Au	Hora	RecupCu
Composito1	14,02	1,71	11,01	98,12	15,44	59,95
Composito2	17,00	1,46	13,24	98,04	15,52	50,17
Composito3	16,03	1,45	8,32	98,04	15,57	31,12
Composito4	15,63	2,30	15,11	74,95	15,65	29,27
Composito5	16,46	1,82	17,00	84,36	15,29	84,24

Nota: Fuente procesado en función a las información de la investigación experimental

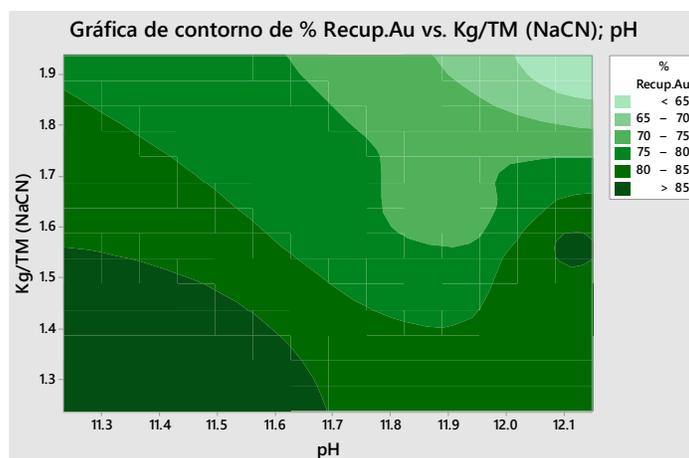
De la Tabla 27 para el composito1 se tiene un consumo de NaCN de 1.71 kg/TM en un tiempo de 14.02 horas como máximo y la recuperación del oro 98.12% en 11.01 hora y para el cobre de 59.95% en 15.44 horas. Para el composito2 el consumo de NaCN de 1.46 kg/TM en un tiempo de 17 horas como máximo y la recuperación del oro 98.04% en 13.24 hora y del cobre de 50.17% en 15.52 horas. Para el composito3 el consumo de NaCN de 1.45 kg/TM en un tiempo de 16.03 horas como máximo y la recuperación del oro 98.04% en 8.32 hora y del cobre de 31.12% en 15.57 horas. Para el composito4 el consumo de NaCN de 2.30 kg/TM en un tiempo de 15.63 horas como máximo y la recuperación del oro 74.95% en 15.11 hora y del cobre de 29.27% en 15.65 horas. Para el composito5 el consumo de NaCN de 1.82 kg/TM en un tiempo de 16.46 horas como máximo y la recuperación del oro 84.36% en 17.00 hora y del cobre de 84.24% en 15.29 horas.

#### 4.2.4. Recuperación de oro en función de las variables en estudio.

El resultado de las recuperaciones en función de las variables de las pruebas experimentales realizados se detalla a continuación en las figuras 20 al 23.

##### a. Recuperación de oro en función del NaCN y pH.

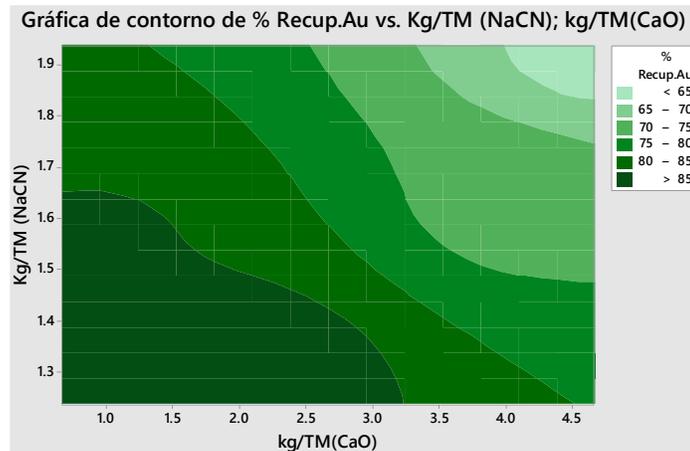
*Figura 20 Recuperación de oro en función de NaCN y pH*



En función de la figura 20 la recuperación del oro en función al consumo de NaCN y el pH para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la pH 11.25 a 11.68 kg/TM o superior, mientras que el consumo de NaCN este entre 1.25 kg/TM a 1.57 kg/TM.

b. Recuperación de oro en función del NaCN y CaO.

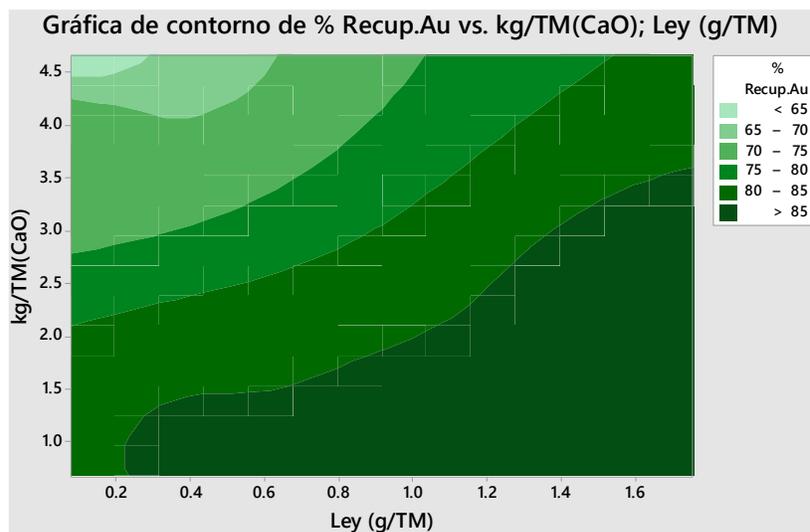
*Figura 21 Recuperación de oro en función de NaCN y CaO*



En función de la figura 21 la recuperación del oro en función al consumo de óxido de calcio (CaO) y NaCN para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones del NaCN tienen 1.27 kg/TM a 1.67 kg/TM o superior, mientras que el consumo de CaO (cal) este entre 0.5 kg/TM a 3.25 kg/TM.

c. Recuperación de oro en función de la ley de cabeza y CaO.

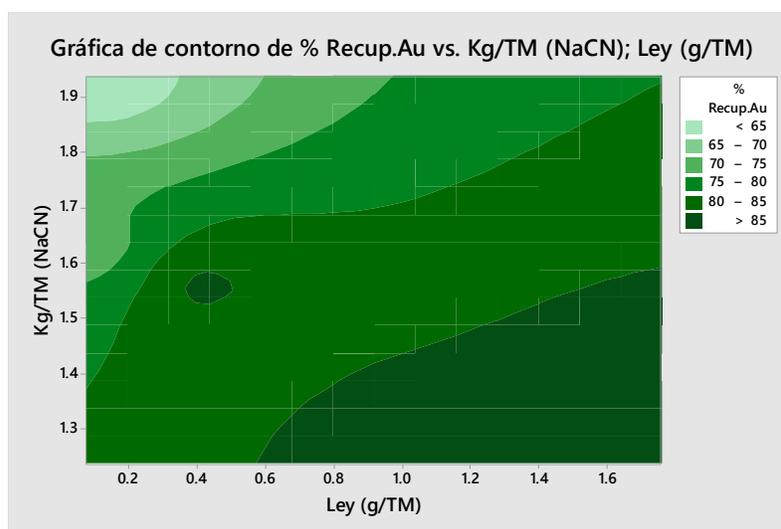
*Figura 22 Recuperación de oro en función de CaO y ley de cabeza*



En función de la figura 22 la recuperación del oro en función al consumo de óxido de calcio (CaO) y la ley de cabeza para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la ley de cabeza tienen 0.3 g/TM a 1.7 g/TM o superior, mientras que el consumo de CaO (cal) este entre 0.5 kg/TM a 3.5 kg/TM.

d. **Recuperación de oro en función de la ley de NaCN y ley de cabeza.**

*Figura 23 Recuperación de oro en función de NaCN y ley de cabeza*



En función de la figura 23 la recuperación del oro en función al consumo de cianuro de sodio y la ley de cabeza para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la ley de cabeza tienen 0.6 g/TM a 1.7 g/TM o superior, mientras que el consumo de NaCN este entre 1.2 kg/TM a 1.6 kg/TM.

## CAPITULO V

### DISCUSIONES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Discusiones.

Respecto el trabajo realizado sobre cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio, realiza el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se puede determinar que con las condiciones de experimentales de las prueba 1 al 4 con dilución de 2.7 y la prueba 5 con dilución de 3.3, y fuerza del NaCN es de 0.1% equivalente a 1.00 g/L, obtuvieron que, para el composito1 de 0.431 g/TM de oro la recuperación de 85.36%, para el cobre de 0.10% su recuperación de 52.88% se consume 1.56 kg/TM de NaCN 1.00 kg/TM de cal a un pH de 12.12 teniendo un pH natural de 6.48. Para el composito2 de 1.758 g/TM de oro la recuperación de 88.73%, para el cobre de 0.074% su recuperación de 42.96% se consume 1.30 kg/TM de NaCN 2.13kg/TM de cal a un pH de 11.40 teniendo un pH natural de 6.29. Para el composito3 de 1.055 g/TM de oro la recuperación de 88.35%, para el cobre de 0.099% su recuperación de 25.55% se consume 1.24 kg/TM de NaCN 0.67kg/TM de cal a un pH de 11.23 teniendo un pH natural de 6.15. Para el composito4 de 0.107 g/TM de oro la recuperación de 61.82%, para el cobre de 0.094% su recuperación de 67.93% se consume 1.94 kg/TM de NaCN 4.67kg/TM de cal a un pH de 12.15 teniendo un pH natural de 4.79. Para el composito5 de 0.077 g/TM de oro la recuperación de 72.87%, para el cobre de 0.041% su recuperación de 65.68% se consume 1.63 kg/TM de NaCN 1.63kg/TM de cal a un pH de 11.92 teniendo un pH natural de 64.73.

Las proyecciones de composito1 con un consumo de NaCN de 1.71 kg/TM en un tiempo de 14.02 horas como máximo y la recuperación del oro 98.12% en 11.01 hora y para el cobre de 59.95% en 15.44 horas. Para el composito2 el consumo de NaCN de 1.46 kg/TM en un tiempo de 17 horas como máximo y la recuperación del oro 98.04% en 13.24 hora y del cobre de 50.17% en 15.52 horas. Para el composito3 el consumo de NaCN de 1.45 kg/TM en un tiempo de 16.03 horas como máximo y la recuperación del oro 98.04% en 8.32 hora y del cobre de 31.12% en 15.57 horas. Para el composito4 el consumo de NaCN de 2.30 kg/TM en un tiempo de 15.63

horas como máximo y la recuperación del oro 74.95% en 15.11 hora y del cobre de 29.27% en 15.65 horas. Para el composito5 el consumo de NaCN de 1.82 kg/TM en un tiempo de 16.46 horas como máximo y la recuperación del oro 84.36% en 17.00 hora y del cobre de 84.24% en 15.29 horas.

Sobre las interacciones de las condiciones de trabajo se tiene que para NaCN y el pH para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la pH 11.25 a 11.68 kg/TM o superior, mientras que el consumo de NaCN este entre 1.25 kg/TM a 1.57 kg/TM. Respecto el óxido de calcio (CaO) y NaCN para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones del NaCN tienen 1.27 kg/TM a 1.67 kg/TM o superior, mientras que el consumo de CaO (cal) este entre 0.5 kg/TM a 3.25 kg/TM.

En la intervención de óxido de calcio (CaO) y la ley de cabeza para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la ley de cabeza tienen 0.3 g/TM a 1.7 g/TM o superior, mientras que el consumo de CaO (cal) este entre 0.5 kg/TM a 3.5 kg/TM. Respecto el cianuro de sodio y la ley de cabeza para tener una recuperación mayor a 85% se tiene cuando las condiciones de la ley de cabeza tienen 0.6 g/TM a 1.7 g/TM o superior, mientras que el consumo de NaCN este entre 1.2 kg/TM a 1.6 kg/TM.

Para (Julca & Ortiz) en el trabajo sobre “recuperación de oro en minerales sulfurados de baja ley en la provincia de Casma”, que “con granulometría de 80.27 % - 200 malla, con 72 horas de cianuración, se recupera 87.94 % oro. Con preconcentración gravimétrico, seguido de flotación de relaves y remoler los concentrados y cianuración, para una recuperación de 85.02 % oro”.

para (Palomino & Ramos), sobre “evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo: Minera Koricolqui”. “Para el oro en minerales en

matriz de cuarzo donde se encuentra fino, diseminado y libre. con preconcentración gravimétrico, seguido flotación de relave a granulometría de 66% - 200 mallas, logran obtener resultados satisfactorios en recuperación para el Au”.

(Flores) sobre “optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – minera Aruntani SAC”. “Durante el proceso de adsorción, en función del tiempo y la densidad, la máxima recuperación de Au con densidad de la pulpa  $1300 \text{ kg/m}^3$  es del 96 % en 24 h, y la mínima en 12 h con 94 %”.

(Rojas) sobre “recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración”. La temperatura en lixiviación es importante en cianuración, reduce el tiempo de recuperación del oro, desde 72 h. a temperatura ambiente, a tan solo 6 h. a temperatura de 75 C, con baja concentración 0.06 gpL de KCN.

(Guerra) sobre “estudio físico – químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio “franromec” del cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay”.

El mineral aurífero concentrado presentó un máximo de disolución de oro de 34,13% con cianuro y 32,29% con tiourea en un tiempo de cuatro horas de lixiviación, lixiviación con cianuro existen dos etapas controlantes que son difusión externa y difusión a través de capa de cenizas, para lixiviación con tiourea se determinó que su etapa controlante es difusión a través de capa de cenizas.

## **5.2. Conclusiones.**

En base al estudio realizado sobre cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio se llega a las siguientes conclusiones:

La mejor alternativa se tiene en el composito2 con una ley de cabeza de 1.758 g/TM de oro con una recupera 88.73% y cobre de 0.075% con una recupera el 42.96%, con un consumo de 1.30 kg/TM de NaCN y 2.13 kg/TM de CaO a un pH de 11.8 y la segundo absición el composito3 con una ley de cabeza de 1.055 g/TM de oro con una recuperación de 88.35% y cobre de 0.099% se recupera el 25.55% y un consumo de 1.24 kg/TM de NaCN, 0.67 kg/TM de CaO a un pH de 11.25.

En una proyección de la recuperación de las dos alternativas se tiene el composito3 con una recuperación de 98.04% de oro en 8.32 horas con un consumo de 1.54 kg/TM de NaCN y seguido el composito2 con una recuperación de 98.04% en 13.24 horas con un consumo de 1.46 kg/TM de NaCN.

En las interacciones de NaCN y el pH para una recuperación mayor a 85% es cuando el pH 11.25 a 11.68 y NaCN este entre 1.25 kg/TM a 1.57 kg/TM. para CaO y NaCN para una recuperación mayor a 85% cuando NaCN está entre 1.27 kg/TM a 1.67 kg/TM, mientras CaO este entre 0.5 kg/TM a 3.25 kg/TM.

Para CaO y la ley de cabeza para una recuperación mayor a 85% se tiene cuando la ley de cabeza 0.3 g/TM a 1.7 g/TM, y CaO (cal) entre 0.5 kg/TM a 3.5 kg/TM. Respecto a NaCN y la ley de cabeza una recuperación mayor a 85% cuando la ley de cabeza tienen 0.6 g/TM a 1.7 g/TM, y NaCN 1.2 kg/TM a 1.6 kg/TM.

En la recuperación es importante el control de los parámetros para tener optima recuperación de los valores de interés.

### **5.3. Recomendaciones.**

En virtud de los efectos logrados en el trabajo sobre cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio se recomienda los siguientes:

Realizar las pruebas necesarias con un blendin de toso los compositos para tener un mejor resultado real.

Realizar una prueba de pilotaje con la finalidad de ver más real la recuperación del oro en un proceso continuo.

evaluar los variables involucrado en qué medida están influenciando en a la recuperación en forma positiva o negativa en el proceso.

Realizar pruebas en función de la liberación del mineral para ver cómo influye la liberación de los minerales en la recuperación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Chia: Pearson.
- Flores, F. (2016). *Optimización del proceso de lixiviación de minerales auríferos de baja ley – minera Aruntani SAC*. Universidad nacional del altiplano, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4626/Flores\\_Calli\\_Fred\\_Ruben.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4626/Flores_Calli_Fred_Ruben.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guerra, R. (2015). Estudio físico – químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio “franromec” del cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay. *Titulo ingeniero químico*. Universidad Técnica de Machala, Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4272/1/CD000031-RESUMEN-pdf>
- Julca, D., & Ortiz, J. (2018). *Recuperación de oro en minerales sulfurados de baja*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6475/Julca\\_vd.pdf?sequence=1](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6475/Julca_vd.pdf?sequence=1)
- Mas, M., Aguirre, F., & Amaya, G. (2005). *Evaluación de los procesos de lixiviación por agitación convencional y carbón en pulpa en la hidrometalurgia del oro*. Obtenido de Scielo: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642005000500006](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000500006)
- Nuñoz, C. (2011). *Como elaborar y asesorar una tesis de investigación*. México: Pearson.
- Palomino, A., & Ramos, O. (2008). *Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo: Minera Koricolqui*. Universidad nacional

de san marcos, Lima. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi\\_blog/r/Evaluacion\\_en\\_la\\_recuperacion\\_del\\_oro\\_y\\_plata\\_a\\_partir.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi_blog/r/Evaluacion_en_la_recuperacion_del_oro_y_plata_a_partir.pdf)

Parga, J., & Carrillo, F. (1996). *Avances en los métodos de recuperación de oro y plata de minerales refractarios*. Obtenido de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tSOY3wYyx\\_sJ:revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/download/907/920%3Ffirmame%3Dtrue%26width%3D90%25%26height%3D90%25+&cd=35&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tSOY3wYyx_sJ:revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/download/907/920%3Ffirmame%3Dtrue%26width%3D90%25%26height%3D90%25+&cd=35&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe)

Rojas, N. (2003). *Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración. Magíster en Ciencias de la Ingeniería con Mención*. Universidad de Concepción, Concepción. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/1778/TESIS%20RECUPERACION%20DE%20ORO%20Y%20PLATA%20DESDE%20RESIDUOS%20FERRITICOS.Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero, A., & Flores, S. (2010). *La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados*. Obtenido de Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12\\_n24/pdf/a14v12n24.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12_n24/pdf/a14v12n24.pdf)

# ANEXO

*Anexo 1: Mina laguna norte*



*Anexo 2: Planta laguna norte - Barrick*



*Anexo 3 Análisis de la solución en 2 horas*

Muestras	Volumen de H <sub>2</sub> O ml	Peso Muestra g	Gasto AgNO <sub>3</sub> ml	Volumen extraído ml	Fza NaCN %	Adicion NaCN g
Composito 1	800	300	2,7	30	0,064	0,314
Composito 2	800	300	2,7	30	0,064	0,314
Composito 3	800	300	2,7	30	0,064	0,314
Composito 4	800	300	1,8	30	0,043	0,486
Composito 5	1000	300	2,9	40	0,069	0,348

*Anexo 4 Análisis de la solución en 4 horas*

Muestras	Volumen de H <sub>2</sub> O ml	Peso Muestra g	Gasto AgNO <sub>3</sub> ml	Volumen extraído ml	Fza NaCN %	Adicion NaCN g
Composito 1	800	300	3,8	30	0,091	0,104
Composito 2	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 3	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 4	800	300	3,9	30	0,093	0,085
Composito 5	1000	300	3,8	40	0,091	0,133

*Anexo 5 Análisis de la solución en 8 horas*

	Volumen	Peso	Gasto	Volumen	Fza	Adicion
Muestras	de H <sub>2</sub> O	Muestra	AgNO <sub>3</sub>	extraído	NaCN	NaCN
	ml	g	ml	ml	%	g
Composito 1	800	300	4,0	30	0,096	0,066
Composito 2	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 3	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 4	800	300	4,0	30	0,096	0,066
Composito 5	1000	300	4,1	40	0,098	0,061

*Anexo 6 Análisis de la solución en 12 horas*

	Volumen	Peso	Gasto	Volumen	Fza	Adicion
Muestras	de H <sub>2</sub> O	Muestra	AgNO <sub>3</sub>	extraído	NaCN	NaCN
	ml	g	ml	ml	%	g
Composito 1	800	300	4,0	30	0,096	0,066
Composito 2	800	300	4,0	30	0,096	0,066
Composito 3	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 4	800	300	4,1	30	0,098	0,047
Composito 5	1000	300	4,1	40	0,098	0,061

*Anexo 7 Análisis de la solución en 24 horas*

Muestras	Volumen de H <sub>2</sub> O ml	Peso Muestra g	Gasto AgNO <sub>3</sub> ml	Volumen extraído ml	Fza NaCN %	Adicion NaCN g
Composito 1	800	300	4,0		0,096	0,036
Composito 2	800	300	4,0		0,096	0,036
Composito 3	800	300	4,0		0,096	0,036
Composito 4	800	300	4,1		0,098	0,017
Composito 5	1000	300	4,0		0,096	0,045

*Anexo 8 Análisis de la solución en las pruebas experimentales*

Tiempo	Composito 1		Composito 2		Composito 3		Composito 4		Composito 5	
H	AgNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>								
0										
2	2,7	30	2,7	30	2,7	30	1,8	30	2,9	40
4	3,8	30	4,1	30	4,1	30	3,9	30	3,8	40
8	4,0	30	4,1	30	4,1	30	4,0	30	4,1	40
12	4,0	30	4,0	30	4,1	30	4,1	30	4,1	40
24	4,0		4,0		4,0		4,1		4,0	

## Anexo 9 Matriz de consistencia general

Titulo	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores	
		General		Independiente		
<b>CIANURACIÓN DE MINERALES</b>	<b>AURÍFEROS POR AGITACIÓN EN</b>	<b>PRESENCIA DE COBRE PARA LA</b>	¿Será posible la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, para la extracción eficiente de oro a nivel laboratorio?	Calcular en qué medida la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, nos permitirá una extracción eficiente de oro a nivel laboratorio.	Realizando un adecuado procedimiento y técnicas de la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, por consiguiente, nos permitirá obtener una extracción eficiente de oro a nivel laboratorio.	Cianuración de minerales auríferos - Tiempo - Fuerza de cianuro

Anexo 10 Matriz de consistencia específico.

Titulo	Problema	Objetivos Específicos	Hipótesis	Variable Dependiente	Indicadores
CIANURACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR AGITACIÓN EN PRESENCIA DE COBRE PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en la recuperación de oro eficientemente a nivel laboratorio?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar en qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en la recuperación de oro eficientemente a nivel laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizando en el tiempo el proceso de cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, tendrá una recuperación ascendente de oro optimo a nivel laboratorio.</li> </ul>	Extracción eficiente de oro	- Recuperación - Consumo de cianuro de sodio
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en el consumo de cianuro de sodio en la extracción de oro a nivel laboratorio?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar en qué medida el tiempo influirá en la cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre, en el consumo de cianuro de sodio en la extracción de oro a nivel laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manteniendo la fuerza de cianuro en el tiempo tendrá, influencia en el proceso de cianuración de minerales auríferos por agitación, en presencia de cobre, para predecir el consumo de cianuro de sodio, en la extracción de oro a nivel laboratorio.</li> </ul>		