

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**



**“EVALUACIÓN METALÚRGICA EN LA
RECUPERACIÓN DE ORO PARA LA MITIGACIÓN
DEL CONSUMO DE CIANURO DE SODIO EN LA
COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. - AREQUIPA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

Bach. GISELA MIRIAM ROSA VENTURO USCAMAYTA

CERRO DE PASCO – PERU

2016

i

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**



**“EVALUACIÓN METALÚRGICA EN LA
RECUPERACIÓN DE ORO PARA LA MITIGACIÓN
DEL CONSUMO DE CIANURO DE SODIO EN LA
COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C. - AREQUIPA”**

PRESENTADO POR:

GI SELA MIRIAM ROSA VENTURO USCAMAYTA

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS

Mg. Eusebio ROQUE HUAMAN Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN

Presidente

Jurado

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Jurado

RESUMEN

En la lixiviación de minerales auríferos el consumo de cianuro de sodio si hizo una costumbre sabiendo que su consumo es dañino. El oro en la mayoría de los minerales se encuentra asociado a diferentes minerales sulfurados tales como pirita, pirrotita, marcasita, entre otros. Muchos de estos minerales son altamente refractarios y no pueden ser satisfactoriamente tratados por cianuración convencional, constituyendo un serio problema los elevados consumos de cianuro y las recuperaciones limitadas, lo que nos condujo a investigar nuevos esquemas de tratamientos de dichos minerales. Se investigó la aplicación a minerales sulfurados basándonos en un esquema de pre-tratamiento consistente en el lavado alcalino de la pulpa, pre-aireado con cal y adición de litargirio, tratamientos que se aplicaron previo a la cianuración del mineral sulfurado.

En este estudio de investigación se pudo observar que la interacción de los tres pre-tratamientos alcanza una recuperación del 92,84 % y un consumo de NaCN de 3,78 kg/TM, es el pre-aireado alcalino el que ejerce mayor efecto sobre la recuperación de oro y la disminución del consumo de NaCN alcanzando niveles de 86,78 % y 3,81 kg/TM respectivamente, los mismos que mejoran al 76,39 % y 4,93 kg/TM del mineral sin pre-tratamiento.

DEDICATORIA

**A MIS PADRES QUE GRACIAS A SU SABIDURÍA
INFLUYERON EN MI MADUREZ PARA LOGRAR
TODOS LOS OBJETIVOS EN LA VIDA, ES PARA
USTEDES ESTA TESIS EN AGRADECIMIENTO POR
TODO SU AMOR Y CONFIANZA.**

AGRADECIMIENTO

Mediante el presente expreso mis sinceros agradecimientos a:

- A Dios por darme salud y bienestar,

- A mis padres por darme lo mejor de mi vida que es la educación y profesión,

- A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica por la orientación y apoyo recibido durante el desarrollo académico de mi persona. En especial al Ingeniero Cayo Palacios Espíritu, asesor de la presente investigación quien me brindo toda su confianza y sugerencias para que esto se haga realidad.

- Al personal Staff y a los trabajadores de la Compañía Minera Ares S.A.C., por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
INTRODUCCIÓN	ix

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos	7
1.3. OBJETIVOS	
1.3.1. Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4. IMPORTANCIA, LIMITACIONES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.4.1. Importancia	9
1.4.2. Limitaciones	9
1.4.3. Justificación	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	11
2.2. BASES TEÓRICAS	
2.2.1. Ubicación de Compañía Minera Ares SAC	14
2.2.2. Mineral de oro	18
2.2.3. Cianuración convencional	19
2.2.4. Lixiviación en pilas	22
2.2.5. Métodos de cianuración en minerales refractarios de oro	24
2.2.6. Parámetros de control en la cianuración	33
2.2.7. Características de un mineral refractario	46
2.2.8. Caracterización de los minerales de oro	47
2.2.9. Evaluación de las recuperaciones de oro	49
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	50
2.5. HIPÓTESIS	
2.5.1. Hipótesis General	51
2.5.2. Hipótesis específicos	51
2.6. VARIABLES	
2.6.1. Variable Dependiente	52
2.6.2. Variable Independiente	52
2.6.3. Variables Intervinientes	52

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	53
------------------------------	----

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	53
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	
3.4.1. Población	55
3.4.2. Muestra	55
3.5. Recolección de datos	47
3.6. Comparación del consumo de cianuro convencional con el propuesto	95
3.7. Comparación del método convencional con el propuesto	95

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES	96
4.2. DISEÑO DE LA PARTE EXPERIMENTAL	97
4.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PRELIMINARES	97
4.4. VARIABLES MANTENIDAS CONSTANTES	98
4.5. CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE AGITADOR	99
4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	99
4.6.1. Análisis de la varianza para la recuperación	100
4.6.2. Análisis de residuos para la recuperación	102
4.6.3. Análisis de la varianza para la recuperación	105
4.6.4. Análisis de residuos para el consumo de cianuro de sodio	106
4.7. EVALUACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	108

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se propuso el empleo de la tecnología con el fin de lograr un menor consumo de cianuro y el aumento en la recuperación del oro. Si bien el método de extracción de oro más importante y más empleado en la actualidad es la cianuración, no siempre se puede aplicar exitosamente en forma directa sobre el mineral si no se tiene en cuenta las características o composición mineralógica del mineral a tratar.

Las principales dificultades que se tiene en este proceso de cianuración es la presencia de minerales sulfurados en el que el oro esta finamente diseminado, como oro libre o encapsulado. La sola presencia de metales base, sulfuros de hierro, minerales de arsénico, bismuto, antimonio, etc. conocidos como cianicidas hacen difícil su tratamiento por cianuración convencional.

El problema de la cianuración de minerales sulfurados radica en la descomposición de estos minerales o los productos de descomposición que pueden reaccionar con el cianuro provocando un consumo mayor de oxígeno y cianuro además de reducir la velocidad de disolución del oro.

Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos de la tesis y la justificación e importancia de la tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, ubicación de la Compañía Minera Ares SAC, Bases teóricas, definición de términos básicos, las hipótesis, las variables.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que si es factible realizar, así mismo captar la información necesaria para realizar las pruebas experimentales.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, en este capítulo se han considerado los estudios experimentales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar con la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La CIA. De minas Buenaventura S.A.A cerrará en un año sus operaciones tanto en Orcopampa (Rampamario) como en Chilcaymarca (Chipmo), ambos distritos de la provincia de Castilla, Arequipa, en caso las operaciones de exploración no arrojen resultados positivos con vetas de alta ley, suficientes para justificar los costos de producción del oro y plata extraídos. La información fue confirmada por el superintendente de Asuntos Sociales, Sr.Walter Rondinelli Zaga en entrevista con diario Correo. La comunidad de Castilla alta percibe que la empresa ha reducido su producción. ¿Cuál es la verdad?

Nuestra producción de barras doré, una mezcla de oro, plata y otros metales, ha disminuido sensiblemente debido a la baja del precio de los metales en el mundo. Concentramos el 40 % de nuestro volumen en Orcopampa y 60 % en Chilcaymarca.

¿Hasta cuándo están garantizadas las reservas?

Toda la zona es mineralizada, el problema son los costos de producción en vetas de baja ley, no se justifican, por ende nos hemos visto en la necesidad de cerrar algunos proyectos. Con la zona en actual explotación tenemos garantía de un año como máximo.

¿Esa es una muy mala noticia para la provincia y la región Arequipa?

Sí, la minería viene a ser el motor de la economía orcopampina, pero si dejamos de producir pasaríamos a convertirnos en una unidad de exploración y de mil 700 trabajadores que tenemos actualmente reduciríamos entre 100 a 200 como trabajadores como máximo para atender el proceso de cierre, y otro grupo en exploraciones.

¿Cómo afectaría esa decisión a la provincia de Castilla alta?

Sería una pena porque la minería le ha dado a la zona un dinamismo económico equivalente a diez millones de nuevos soles mensuales, los trabajadores hacen su vida en Orcopampa allí mueven la economía, desde hoteles, restaurantes y otros. Tuvimos una mina satélite cerca de Orcopampa, Coracota, allí contratamos 800 trabajadores en su mejor momento, pero al haberse cerrado todos han cesado. También tuvimos otro denominado Pariguanas, en su momento tuvo 200 trabajadores, pero no ha dado resultados.

¿Otros proyectos han corrido la misma suerte?

La mina Ares, posiblemente tenga que cerrar su unidad productiva, pertenece a la empresa Hochschild, pero sus trabajadores se movían también en Orcopampa. Ha cerrado Shilla Paula y una buena parte de los trabajadores son del poblado. Estos cierres ocurrieron porque el costo de producción frente a la ley del metal precioso no compensaba. El oro llegó a estar U.S \$1900 /oz y ahora ha bajado U.S. \$1123/oz, casi un 50%, La plata que estuvo en U.S. \$ 34/oz ahora se cotiza en U.S. \$ 15,3/oz, por debajo del 50% inclusive.

¿Qué espera la Región Arequipa respecto a los proyectos manejados por la empresa Cía. minas Buenaventura?

Estamos en exploración constante y esperamos encontrar mayores reservas cuanto antes, todo depende de la suerte, solo así podríamos garantizar la permanencia de los trabajadores.

¿Qué puede hacer Arequipa como comunidad para proyectarse en el sector minero?

Yo quiero dar un mensaje a todos, tenemos el mejor propósito de seguir produciendo, pero requerimos condiciones adecuadas, hay poco dinero para la exploración, queremos desarrollo, pero es necesario hacer atractiva la inversión. Mucho depende de la propia comunidad, nuestra responsabilidad social es por el desarrollo y requerimos armonía, acuerdos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con 365 mil soles fue sancionada la Compañía Minera Ares S.A.C. por violar la norma ambiental referida al exceso del límite máximo permitido (LMP) para el parámetro de sólidos totales suspendidos (STS), circunstancia que se verificó en la supervisión realizada a la minera ubicada en el departamento de Arequipa.

Hay que señalar que el LMP es la medida de la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y

biológicos que al ser excedida causa daños a la salud y al ambiente. Por este motivo, mediante Resolución N° 237-2012-OEFA/TFA el Tribunal de Fiscalización Ambiental (TFA) confirmó la multa de 100 Unidades Impositivas Tributarias (UIT), equivalente al monto antes señalado, impuesta por la Dirección de Fiscalización, Sanción y Aplicación de Incentivos (DFSAI), perteneciente al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

Por un lado, se reportó un valor de 52,3 miligramos por litro para el parámetro STS del efluente proveniente de la Bocamina Victoria Nivel 4900, que descargaba en el río Collpa, excediendo en 2,4 miligramos el LMP de 50 miligramos por litro establecido por la norma.

Muy grave fue el reporte de un valor de 410,2 miligramos por litro para el parámetro STS del efluente proveniente de la salida del dique general de control de sólidos en suspensión, que descargaba en el río Collpa, excediendo en 360,2 miligramos el LMP de 50 miligramos por litro establecido por la norma.

En un comunicado enviado por el OEFA a INFOREGIÓN, se precisó que, durante el procedimiento, la empresa argumentó que no se había acreditado el daño ocasionado al ambiente como consecuencia del exceso del LMP.

Al respecto, el Tribunal de Fiscalización Ambiental (TFA) precisó que el “daño ambiental potencial” (circunstancia que se presenta al exceder los LMP) es reconocido por el numeral 142.2 del Artículo 142° de la Ley General del Ambiente como “daño” y, por tanto, condición suficiente para configurar la infracción administrativa.

El TFA agregó que exceder los LMP es calificado por la normativa ambiental como infracción grave. Por ese motivo, el OEFA aplicó las sanciones previstas legalmente, las cuales ascienden a 50 UIT por la primera infracción y 50 UIT por la segunda, sumando un total de 100 UIT.

Con el pronunciamiento del TFA, instancia revisora de los recursos impugnativos interpuestos contra las sanciones impuestas por la DFSAI, queda agotada la vía administrativa, por lo que la Compañía Minera Ares S.A.C. deberá pagar la multa impuesta.

La metodología convencional para la lixiviación de minerales de oro y plata se basa comúnmente en el proceso de cianuración, el cual ha prevalecido durante más de 100 años gracias a su gran versatilidad (Habashi, 1967). Sin embargo, debido a su alto grado de contaminación y toxicidad, se han impuesto severas restricciones para descargar los desechos al ambiente y requieren de un

cuidadoso monitoreo y control del proceso. Es por ello, la necesidad de la industria metalúrgica de desarrollar nuevas alternativas más seguras que permitan sustituir los procesos de cianuración.

Consecuentemente, las investigaciones se han enfocado en la búsqueda de reactivos que eliminen las inconveniencias provocadas de utilizar cianuro.

Con base en las consideraciones arriba mencionadas, el presente trabajo pretende mostrar un método alternativo de lixiviación de minerales sulfurados (con un alto contenido de oro y plata), basado en la utilización de un agente lixivante que asegure la competitividad del proceso y sea amigable para el medio ambiente

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo realizar la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro para la mitigación del consumo de cianuro de sodio en la Compañía Minera Ares S.A.C. - Arequipa?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Se podrá realizar la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro para minimizar el consumo de cianuro de sodio?
2. ¿Se podrá determinar el consumo de cianuro de sodio en la lixiviación para obtener oro de los minerales refractarios?
3. ¿Cuál será el método adecuado para realizar las pruebas metalúrgicas en la lixiviación de minerales refractarios?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro para mitigar del consumo de cianuro de sodio en la Compañía Minera Ares S.A.C. – Arequipa.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro para minimizar el consumo de cianuro de sodio.

2. Determinar el consumo de cianuro de sodio en la lixiviación para obtener oro en los minerales refractarios.
3. Establecer el método adecuado para realizar las pruebas metalúrgicas en la lixiviación de los minerales refractarios.

1.4. IMPORTANCIA, LIMITACIONES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA

El presente estudio de investigación nos conllevará a conocer la lixiviación a los minerales refractarios para la obtención de oro, previniendo la contaminación del medio ambiente por el alto consumo de cianuro de sodio y poder cumplir con las leyes ambientales y que las empresas mineras se vean favorecida económicamente en beneficio de sus trabajadores.

1.4.2. LIMITACIONES

La investigación a realizarse tendrá como tema principal a lixiviación a los minerales refractarios para la obtención de oro en la Compañía Minera Ares S.A.C., teniendo en cuenta que la

bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enmarcada en la aplicación del cianuro de sodio en la lixiviación de los minerales refractarios para la obtención de oro en la Compañía Minera Ares SAC. Es una investigación experimental para preservar el medio ambiente.

En su factibilidad económica podremos decir que sí es posible llevar a cabo esta aplicación toda vez que está en constante alza el precio de los metales en el mundo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente estudio de investigación se desarrollará con el uso adecuado del laboratorio metalúrgico.

2.1. ANTECEDENTES:

En el siglo XVI se dio una primera descripción de métodos para el minado y recuperación de minerales de oro. Muchos de los métodos descritos permanecieron en práctica durante años y algunas técnicas de separación gravimétrica que actualmente se usan están basados en principios similares. El mercurio fue usado para la amalgamación por los españoles. Un giro significativo se dio a fines

del siglo XIX con la introducción de la cianuración para la recuperación del oro y la plata.

Los procesos de cianuración de minerales de oro, han sido estudiados hace más de un siglo, se considera que los primeros procesos de cianuración para la extracción de oro y plata fue a partir de sus menas. En 1840, Elkington obtuvo una patente para el bañado de oro utilizando una solución de cianuro conteniendo oro, para ello era necesario el paso de energía eléctrica.

Bagration observó que no era necesaria una corriente eléctrica para la disolución de oro por cianuración y que el metal se disolvía lentamente si se le colocaba en una solución ya sea de cianuro de sodio o cianuro de potasio. En 1844, los investigadores Classford y Napier determinaron la molécula y fórmula cuando reaccionaba el cianuro de sodio con el oro, determinando que correspondía al aurocianuro de potasio, $\text{KAu}(\text{CN})_2$.

En 1864, ELSNER realizó el primer estudio sobre las reacciones químicas involucradas en las que se da la disolución de oro y plata con una solución de cianuro alcalino, y propuso la ecuación, conocida como la Ecuación de Elsner:



El proceso de cianuración, en el aspecto tecnológico fue desarrollado por J.S. Mac Arthur, R.V. Forrest y W. Forrest, el mismo que fue patentado en octubre de 1 887 y julio de 1 888.

A causa del agotamiento de las reservas de minerales de oro y debido al incremento en el precio de este elemento precioso, el tratamiento de minerales de bajo grado tanto como materiales de desecho están recibiendo considerable atención en la actualidad.

Algunos son tratados por técnicas convencionales, otros requieren de seguimientos complejos, por lo que los metalurgistas se ven en la necesidad de desarrollar nuevos métodos de procesamiento.

Así, dependiendo de la mineralogía, reservas, ley, topografía, clima, ubicación y la naturaleza de la distribución del oro dentro del mineral, un amplio rango de técnicas puede ser considerada para recuperar el metal precioso.

Las dificultades en el tratamiento por cianuración se presentan principalmente en minerales en que el oro está finamente diseminado en minerales sulfurados, sea que este se presente como “oro libre” o como “oro encapsulado”. La sola presencia de sulfuros de hierro y de metales base, de minerales de arsénico, antimonio,

bismuto, hierro, etc., hacen difícil su tratamiento por cianuración convencional.

El problema de la cianuración de minerales sulfurados es que estos o los productos de su descomposición pueden reaccionar con el cianuro causando un excesivo consumo del citado reactivo o pueden reaccionar con el oxígeno de la solución de cianuro y desde luego disminuir la velocidad de disolución de los minerales de oro. El desarrollo tecnológico ha sido enfocado a optimizar el aumento de la recuperación de oro y la disminución del consumo de cianuro en minerales sulfurados, aplicando un pre-tratamiento, que consiste en un lavado, pre-aireado con cal y la adición de sales de plomo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. UBICACIÓN DE LA COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C.

Compañía Minera Ares S.A.C., filial del productor peruano de metales preciosos Hochschild Mining Inc, ofrece servicios de exploración de oro y plata. La mina Ares, 100% de su propiedad, se localiza a unos 25 km de Arcata, mina de Hochschild en el sur de Perú. Ares, que comenzó a producir en 1998, suspendió sus faenas el segundo trimestre de 2015. En el primer semestre de ese año reportó 1,2 MM/oz de plata

equivalente. Tras un programa 2014 de mapeo geológico, está prevista para 2016 una campaña para perforar 2 500 metros, siempre y cuando se reciban los permisos de exploración.

Gráfico N° 2.1: Mapa de ubicación de la Compañía Minera Ares S.A.C.



Fuente: Gobierno Regional de Apurímac

Potencial Minero en Apurímac. - Las zonas de potencial minero en Apurímac existen 04 zonas de acuerdo a su metalogénesis de yacimiento mineros y son:

- a. Zona ferrítica.- cuya ocurrencia está preferentemente distribuida en la provincia de Andahuaylas, chincheros y Aymaraés.
- b. Zona polimetálica. - con incidencia de yacimientos de plata, plomo, zinc, molibdeno, wolframio y otros distribuidos en la zona de Antabamba, Aymaraés y Grau.

- c. Zona aurífera. - se distribuye preferentemente en la provincia de Grau, Antabamba, Cotabambas y Aymaráes.
- d. Zona cuprífera. - se encuentra preferentemente en Cotabambas, Aymaráes, Antabamba y Grau.

Gráfico N° 2.2: Vista panorámica de la planta de lixiviación y campamentos



Fuente: Elaboración propia

2.2.2. MINERAL DE ORO

El oro es un metal suave de color amarillo, con la más alta ductilidad y maleabilidad que cualquier metal. El oro cristaliza en el sistema cúbico, sin embargo, es muy raro encontrar cristales de oro (usualmente se encuentra como láminas o granos). El oro tiene alta conductividad eléctrica y térmica.

El único isótopo natural del oro¹ es el Au¹⁹⁷; sin embargo, se han producido artificialmente 19 isótopos que van desde Au¹⁸⁵ al Au²⁰³. Dichos isótopos son radiactivos, con tiempos de vida media que varían desde pocos segundos, a 199 días.

Gráfico N° 2.3: Vista panorámica de la Planta de Lixiviación



Fuente: Elaboración propia

El oro nativo y muchas aleaciones de oro no son magnéticas. Una aleación de oro y manganeso es algo magnética, y, aleaciones de oro con hierro, níquel o cobalto son ferromagnéticas.

El oro forma aleaciones con muchos metales. El mercurio moja las partículas de oro, formando amalgamas y es usado

en las operaciones de extracción de oro para separar selectivamente el oro de las menas terrosas. El oro tiene una baja solubilidad en el mercurio (0.16%). El mercurio forma una solución sólida con el oro hasta un 16% Hg. Contenidos mayores de mercurio forman compuestos intermetálicos como Au_3Hg y Au_2Hg . El plomo fundido es un solvente muy bueno para el oro, y es usado como tal en el ensayo al fuego y en algunas operaciones secundarias de fusión.

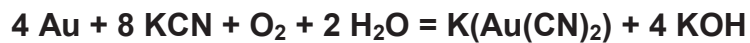
Propiedades químicas. - El oro es inerte. Muestra gran estabilidad y resistencia a la corrosión. Ácidos de minerales simples a excepción del ácido selénico, no disuelven al oro. El ácido clorhídrico en presencia de oxidantes (tales como el ácido nítrico, oxígeno, iones cúpricos o férricos, y, dióxido de manganeso) disuelve al oro. La combinación de los ácidos clorhídrico y nítrico, agua regia, ataca vigorosamente al oro.



El oro se disuelve, como se muestra en la reacción anterior, en soluciones acuosas que contengan un agente oxidante y un ligante para el oro.



Otro ejemplo del efecto ligante - oxidante, es la reacción principal de la extracción del oro a partir de sus menas en la disolución con cianuro y oxígeno como oxidante (la reacción de Elsner)².



El oro es el único metal que no es atacado a ninguna temperatura, ni por el oxígeno ni por el azufre. Sin embargo, a elevadas temperaturas reacciona con el telurio.



El oro reacciona con todos los halógenos; a temperatura ambiente reacciona exotérmicamente con el bromo.

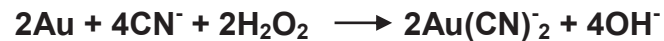


2.2.3. CIANURACIÓN CONVENCIONAL

El proceso de disolución del oro es de naturaleza electroquímica, cuya reacción global es:



Algo del peróxido de hidrógeno formado puede ser usado en la reacción:



Una planta convencional para el procesamiento de minerales de oro consiste de molienda fina, lixiviación en soluciones de cianuro, decantación en contracorriente para la separación líquido y lavado del residuo, clarificación de la solución impregnada por filtración, precipitación del oro con polvo de zinc y finalmente refinación del oro para producir el bullón doré.

La precipitación de oro con zinc es una etapa importante en el proceso convencional. La reacción puede ser representada por la siguiente reacción:



La clarificación de la solución impregnada antes de la precipitación es esencial. Esto elimina los constituyentes de lodos suspendidos que cubren las partículas de zinc y retardan la reacción de precipitación. La eliminación de oxígeno disuelto de la solución impregnada es también importante para prevenir

la redisolución del oro precipitado. La remoción de oxígeno es efectuada usualmente por un proceso de des aireación basado en el rociado o de otra manera distribuyendo la solución en una cámara de vacío. Excesivas cantidades de iones cianuro en la solución resultarán en un excesivo consumo de zinc.

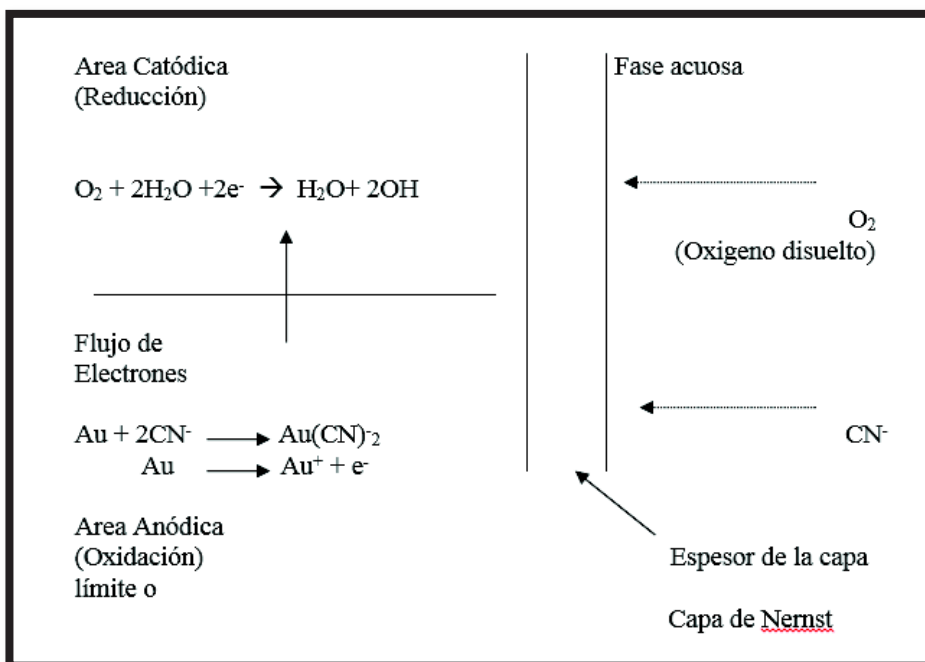


Las sales de plomo solubles tales como el acetato de plomo o nitrato de plomo son frecuentemente adicionadas a las soluciones impregnadas para formar un par zinc-plomo el cual exhibe una mayor actividad como precipitante que el zinc solo.

La disolución de oro y plata en soluciones de cianuro y peróxido, en ausencia de oxígeno, es un proceso lento, el exceso de peróxido, inhibe la disolución del oro debido a que el ion cianuro es oxidado a cianato, el que ha demostrado no tener acción disolvente sobre el oro, esto fue demostrado por Boonstra y Lund. Las soluciones con menos de 0,001 % de cianuro no disuelven el oro, a partir de este valor la solubilidad de oro crece (siempre que exista oxígeno libre) hasta alcanzar su máxima velocidad de disolución con una fuerza no mayor de 0,05% como NaCN.

El oro es un metal noble y estable en soluciones acuosas comunes. Sin embargo, la adición de cianuro conduce a un área de predominancia relativamente grande en el rango de pH, en esta región la estabilidad del cianuro hace posible la disolución de minerales auríferos con soluciones de cianuro, Se ha determinado que el pH más favorable para la disolución de oro es 9,4. Sin embargo para reducir perdidas de HCN, usualmente se prefiere en la práctica un exceso del pH como a 10,5. La Plata se disuelve a la mitad de velocidad del Oro. En el Gráfico N° 3.4, se ilustra el mecanismo de la reacción de disolución del oro en una solución de cianuro.

Gráfico N°. 2.4: Esquema de la Disolución de oro en una solución de cianuro



Fuente: Habashi, (Principles of extractive metallurgy vol "I" 1970

2.2.4. LIXIVIACIÓN EN PILAS

Muchos depósitos pequeños de mineral alguna vez considerados antieconómicos ahora son económicamente factibles para ser procesados por los métodos de lixiviación en pilas.

Los minerales se usan tal como salen de la mina y los que usan el mineral chancado, puede incorporar algunas variantes, tales como aglomeración (para mejorar la percolación) mezclado de cal, etc.

- **Mineral tal como sale de la mina.** - este método se usa principalmente para extraer oro y plata de material no chancado. El material tal como sale de la mina se genera usualmente por voladura y por lo general, contiene material que varía en tamaño, desde finos hasta grandes bloques. Este tipo de lixiviación en pila puede operarse años, terminando cuando el límite económico del impregnado ha sido alcanzado.
- **Mineral Chancado.** - En este método, el mineral generalmente se chanca a menos de 1" o menos de ½" y se apila a 5 – 10 pies de altura sobre el lecho de lixiviación. La altura de la pila depende de la permeabilidad del material,

así como la máxima altura que alcanza la cuchara del cargador frontal.

- **Solución de cianuro.**- La solución de cianuro se prepara agregando de 1 a 4 lb. de cianuro por tonelada de solución (una tonelada de solución es aproximadamente 250 galones de agua). Cada día se aplican 4 – 75 gl/pie cuadrado de área superficial por el sistema de rociado.

La solución de cianuro percola a través de la pila, disuelve el oro y la plata y se colecta en la base de la pila impermeable. La base es inclinada para hacer que la solución fértil fluya a los canales y luego al respectivo, tanque de almacenamiento. La solución fértil es bombeada a través de un sistema de recuperación de oro y plata (columnas de carbón activado) y luego transferida al tanque de solución estéril.

Se agrega cal y cianuro al tanque de solución estéril para que ésta vuelva a tener la requerida potencia de operación y un pH de 10 – 11. Esta solución es revitalizada hasta que los valores económicos de oro y plata hayan sido lixiviados.

2.2.5. MÉTODOS DE CIANURACIÓN EN MINERALES REFRACTARIOS DE ORO

- **Oxidación por tostación – cianuración.**- Cuando el oro está asociado a menas piríticas y el proceso de cianuración convencional no logra una extracción del nivel deseado, es necesario el proceso de tostación previo antes de aplicar cianuración. Este caso se da también cuando el consumo de cianuro es excesivo, por la presencia de cianidas, muchos de estos son descompuestos por tostación. Al oxidar la pirita se expone la superficie de las partículas de oro a las soluciones alcalinas de cianuro, es la tostación.

En el caso de las piritas este proceso se realiza a temperaturas entre 500 a 600 °C; a esta temperatura se consigue descomponer la pirita y calcinar el material carbonáceo, el material debe retirarse como mínimo a una temperatura de 95 °C y la pirita debe oxidarse por completo con una alta presión parcial de oxígeno, hasta conseguir que por lo menos el 20 % oxide a magnetita. Para alcanzar resultados exitosos se debe controlar cuidadosamente la temperatura y las presiones parciales de los distintos gases.

Por diversas experiencias se conoce que a temperatura de 450 a 500 °C se favorece a la oxidación directa del Fe_3O_4 , mientras que a temperaturas mayores de 650 °C se favorece a la

formación de la pirrotita y que no se tiene formación de sulfatos.

Para Gill y Schwab, la velocidad de oxidación de la pirita está determinada, por la difusión de la fase gaseosa y que la formación de sulfatos tiende a cerrar los poros del óxido de hierro, deteniendo la reacción, no interviniendo en la velocidad de reacción el proceso químico. La ausencia de porosidad en la calcina se atribuye a la oxidación incompleta y a la formación de sulfato ferroso.

Si el mineral tiene alto contenido de arsénico, el proceso de tostación necesariamente tiene que hacerse en dos etapas:

- Primera etapa: eliminación del arsénico, este se consigue eliminar a una temperatura por debajo de los 500°C, por volatilización, en forma de trióxido de arsénico.
- Segunda etapa: se da el proceso de tostación de la pirita propiamente.

Este proceso se realiza en equipos sencillos, si sólo se tuesta piritas se recomienda un horno de Lecho Fluidizado, pero si el contenido de arsénico es elevado se recomienda un horno de Hogares múltiples.

- **Oxidación a alta presión y temperatura.**- Una serie de reacciones hidrometalúrgicas no se dan a condiciones normales y sólo se realizan a elevadas presiones y temperaturas. Uno de los ejemplos más típicos es el proceso Bayer para la extracción del aluminio de la Bauxita. Las reacciones de este proceso se realizan en autoclaves horizontales, verticales o esféricas equipadas con agitadores mecánicos, la aplicación de estos procesos se ha extendido a la oxidación de minerales refractarios de oro.

El proceso de oxidación a alta presión y temperatura se realiza por lo general, en medio ácido y a una temperatura que oscila entre los 150 a 200 °C, la presión del sistema depende de la temperatura y está en un rango de trabajo de 180 a 400 PSI, del total de esta presión el 50 a 75 % corresponde a la presión parcial de vapor de agua. La cinética del proceso de disolución de oro en este tipo de proceso, en gran medida depende de la densidad de la pulpa, a menor densidad de pulpa mejora la disolución de oro.

Los minerales refractarios de oro que en su composición tiene una alta proporción de elementos calcáreos que consumen ácido, deben previamente seleccionarlos, dado que estos minerales además de consumir ácido, dan lugar

a la formación de CO_2 , el mismo que afecta a la presión parcial de oxígeno, una menor presión parcial de oxígeno disminuye la cinética de disolución de oro. Si se tiene presencia de arsénico, debe buscarse la oxidación del mismo y formar el arseniato férrico, el cual es altamente estable y no interfiere en el posterior proceso de cianuración. La oxidación a alta presión y alta temperatura es posible desarrollarla en medio ácido o en medio alcalino, para minerales o para concentrados.

- **Oxidación neutra o alcalina de minerales.-** Este tipo de proceso se utiliza cuando los minerales o concentrados tienen un alto contenido de materiales carbonáceos o calcareos, donde el proceso de oxidación y posterior lixiviación es impracticable en medio ácido. El consumo de ácido es excesivamente elevado y la formación de CO_2 , hace que la presión parcial del mismo disminuya la presión parcial de oxígeno.

Necesariamente tiene que utilizarse una alta presión parcial de oxígeno, la recuperación de metal es menor que cuando se lixivia con ácido. Las ventajas de este proceso son su menor inversión en equipo, y que el proceso de cianuración se puede realizar en la misma autoclave, es decir no se requiere de una etapa intermedia de neutralización.

- **Proceso NITROX.**- El Proceso NITROX, permite oxidar los sulfuros antes de ser sometidos al proceso de cianuración. Es un proceso auto-catalítico, emplea como reactivo lixivante el ácido nítrico, este proceso se realiza a la presión atmosférica y utiliza aire en lugar de oxígeno puro, el oxígeno que se inyecta con el aire oxida el ácido nítrico a óxido nitroso (en concentraciones bajas de ácido nítrico) producido el ajuste del pH, las reacciones de oxidación de la pirita y la arsenopirita se realizan en forma espontánea. La temperatura de trabajo para este proceso es de 85 °C. Por lo general, en este proceso el ácido nítrico se regenera a partir del nitrato de calcio filtrado del tratamiento de precipitación. La solución de reciclaje se ajusta a pH por debajo de 1,0 produciendo la regeneración de ácido nítrico y formación de sulfato de calcio (yeso). En la sección de precipitación la pulpa oxidada se mezcla con cal, generándose el nitrato de calcio el cual es reciclado después de la filtración y lavado de los sólidos. Los óxidos de dióxidos de carbono y óxidos de nitrógeno (NO_x) producidos en el reactor se limpian y neutralizan con cal antes de su descarga. El material oxidado pasa a la siguiente etapa de cianuración.

- **Proceso Arseno.-** Consiste en la oxidación la pirita y otros sulfuros por medio del ácido nítrico. Las reacciones tienen lugar a temperaturas entre 80 a 100 °C y entre 400 a 800 KPa de presión. La cinética es espontánea y violenta que permite la oxidación completa de la pirita en un tiempo de 15 minutos.

El ácido nítrico se transforma a óxido nitroso en el reactor de recuperación catalítica y se regenera en el reactor de oxidación. En el reactor de recuperación catalítica se produce sulfato férrico, ácido sulfúrico y óxido nitroso gaseoso. El óxido nitroso se recupera y se inyecta en la siguiente etapa de oxidación.

La pulpa tratada en la primera etapa se envía a un condensador. En los reactores de oxidación se inyecta el óxido nitroso producido en la etapa anterior junto con oxígeno puro y exceso de ácido nítrico, éste reacciona conjuntamente con el ácido nítrico con la pirita. El ácido nítrico se regenera por hidrólisis del dióxido de nitrógeno libre.

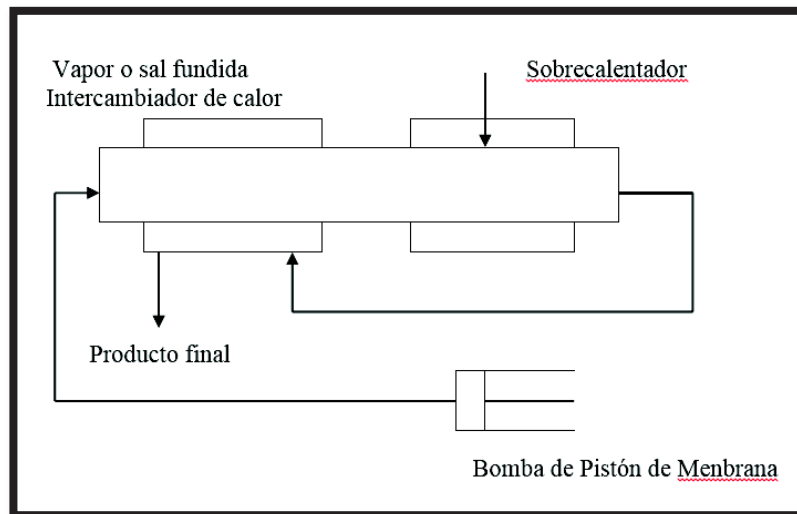
La baja temperatura de oxidación evita que se forme sulfuro elemental, de esta manera se previene la oclusión del oro. La pulpa oxidada se condensa y filtra, en la solución se recupera el ácido nítrico regenerado; el material oxidado se neutraliza y se lleva a cianuración.

- **Oxidación en reactor a tubo de cianuración.-** La tecnología del Reactor a Tubo es ampliamente aplicado en la lixiviación de minerales o concentrados de bauxita para obtener aluminio.

El proceso consiste en impulsar la pulpa, por medio de una bomba de membrana de pistón, en forma continua a través de dos tubos concéntricos, la pulpa fluye primero a través del tubo central hasta la temperatura de reacción, luego fluye en contra-corriente a la suspensión de ingreso a través del espacio anula, es decir, en el espacio entre el tubo interior y el exterior; de esta forma se logra calentar la pulpa de ingreso y enfriar la pulpa lixiviada. De esta forma se realiza un intercambio de calor ideal, como se muestra en el gráfico N° 3.6.

Este proceso está en plena investigación y se considera que en el futuro será una alternativa importante en el procesamiento de minerales refractarios de oro.

Gráfico N° 2.5: Flujo de un Reactor a Tubo



Fuente: Habashi, (Principles of extractive metallurgy vol "I" 2007

- **Agitación en tanques Pachucas.**- La cianuración en tanques Pachucas, el más practicada utiliza aire para la homogenización de la pulpa, generalmente ha sido usado para minerales de oro de alta ley y poco lamosos, por la necesidad de una separación liquido-sólido para su posterior tratamiento de la solución rica.
- **Agitación carbón en pulpa CIP.**- Método practicado desde 1973 a nivel industrial (Homestake minig compny USA), utilizando la agitación mecánica en la cual el mineral es lixiviado en una serie de tanques, antes que la pulpa lixiviada entre en contacto con el carbón activado, y la adsorción se efectúa en una serie de tanques en cascada,

en la que la pulpa fluye por rebose y en contra corriente con el carbón.

- **Agitación carbón en lixiviación CIL.**- La cianuración CIL, método más reciente de agitación mecánica, en la que su principal ventaja es que puede procesar minerales de oro lamosos sin tener que realizar una separación líquido-sólido, ya que la cianuración y adsorción es simultánea y en contra corriente con el carbón, eliminándose la necesidad de una adsorción en cascada.

2.2.6. PARÁMETROS DE CONTROL EN LA CIANURACIÓN

- **Efecto del tamaño de partícula sobre la velocidad de disolución.**- Cuando el oro grueso libre ocurre en los minerales, la práctica usual es recuperarlo por medio de trampas, jig, mantas, etc., antes de la cianuración. De otro modo estas partículas gruesas no podrían ser completamente disueltas en el tiempo adecuado para la cianuración. Otra práctica que reduce el tamaño de las partículas de oro que se va a la cianuración, es la molienda y la clasificación de minerales de oro en circuito cerrado. Esta práctica mantiene en recirculación las partículas de oro más pesadas a la molienda hasta que ellos sean lo

suficientemente pequeñas o lo suficientemente delgadas para rebozar el clasificador en el circuito de cianuración.

Barsky et al, encontraron que la velocidad máxima de disolución de oro fue de $3,25 \text{ mg/cm}^2/\text{h.}$, siendo igual a una penetración de 1,68 micrones en cada lado de una partícula plana de oro, o una reducción total en espesor de 3,36 micrones por hora. Así una pieza de oro de 44 micrones de espesor (malla 325) tomaría no menos de que 13 horas y una pieza de 1,19 micrones de espesor (malla 100) no mayor que 44 horas para disolver. La plata metálica del mismo espesor como el oro tomaría dos veces más el tiempo para disolverse.

- **Efecto del oxígeno sobre la disolución de oro.-** El uso del oxígeno o un agente oxidante es esencial para la disolución de oro bajo condiciones normales de cianuración. Agentes oxidantes como el peróxido de sodio, permanganato de potasio, bromo, cloro han sido usados con aceptable éxito en el pasado; pero debido al costo de estos reactivos y las complicaciones para manipularlos han caído en desuso. Además un conocimiento más completo de los efectos que causan los constituyentes indeseables en los minerales, han mostrado que una aireación adecuada bajo condiciones

correctas frecuentemente dará tan buenos resultados como oxidantes químicos.

Barsky, Swainson y Hedley, determinaron la velocidad de disolución del oro en 0,10% de NaCN usando nitrógeno, oxígeno y mezclas de nitrógeno y oxígeno. Las pruebas fueron conducidas sobre volúmenes de 100 ml de solución de cianuro, a 25 °C y con volúmenes iguales de gas para cada prueba, siendo la disolución uniforme excepto cuando fue usado el oxígeno solo. El oro es disuelto rápidamente durante la primera media hora y luego es retardado considerablemente. Los investigadores atribuyeron esto a la polarización. Los resultados son mostrados en la tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1: Efecto del oxígeno sobre la disolución de oro

OXÍGENO %	VELOCIDAD DE DISOLUCIÓN mg/cm ² /h
0,0	0,04
9,0	1,03
20,9	2,36
60,1	4,62
99,5	12,62

Fuente: Habashi **Habashi**, (**Principles of extractive metallurgy vol "I" 2007**)

A partir de estos resultados puede ser observado que la velocidad de disolución del oro fue directamente proporcional al contenido de oxígeno. A partir de esto, los

experimentadores sugieren que la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno.

- **Efecto de la alcalinidad sobre la disolución de oro.**- Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes:

- a) Evita pérdida de cianuro por hidrólisis.
- b) Evita pérdida de cianuro por acción del dióxido de carbono del aire.
- c) Descompone los bicarbonatos en el agua antes de ser usados en cianuración.
- d) Neutraliza los compuestos ácidos tales como sales ferrosas, sales férricas y sulfato de magnesio en el agua antes de adicionar al circuito de cianuro.
- e) Neutraliza los constituyentes ácidos del mineral.
- f) Neutraliza los compuestos ácidos que resultan a partir de la descomposición de varios minerales en soluciones de cianuro.
- g) Ayuda a la sedimentación de partículas de mineral fino de modo que la solución impregnada clara puede ser separada a partir del mineral cianurado.

h) Mejora la extracción cuando se trata minerales conteniendo por ejemplo, telururos, los que se descomponen más rápidamente a mayores alcalinidades.

Aunque el uso de álcali es esencial en cianuración, muchos investigadores han declarado que álcalis tales como el hidróxido de sodio y particularmente hidróxido de calcio, retardan la disolución del oro en soluciones de cianuro. Los investigadores Barsky, Swainson y Hedley encontraron que cuando se usó hidróxido de calcio la velocidad de disolución disminuyó rápidamente cuando el pH de la solución de cianuro estuvo cerca de 11 y la solución fue prácticamente negligible a un pH de 12.2. El efecto del ion calcio sobre la disolución de oro fue investigado mediante adiciones de cloruro de calcio y sulfato de calcio a una solución de cianuro.

- **Efecto de la temperatura sobre la cianuración.**- Cuando el calor es aplicado a una solución de cianuro conteniendo oro metálico dos factores contrarios afectan la velocidad de disolución, por un lado el incremento en la temperatura producirá un aumento en la actividad de la solución y así se incrementaría la velocidad de disolución de oro. Al mismo tiempo la cantidad de oxígeno en la solución disminuiría

porque la solubilidad de los gases disminuye con el incremento de temperatura.

En la práctica, el uso de soluciones calientes para la extracción de oro a partir de un mineral tiene muchas desventajas tales como el costo de calentamiento del mineral y solución, el aumento en la descomposición del cianuro debido al calor, el incremento en el consumo de cianuro debido a la reacción acelerada entre cianidas en el mineral tales como sulfuros de cobre, hierro, etc.

En la tabla N° 2.3, podemos ver un resumen de los diferentes procesos de cianuración y los parámetros de control que se tiene en cuenta para un determinado proceso teniendo en cuenta la composición química del mineral.

Tabla. N° 2.3: Parámetros de control del proceso de cianuración de distintas minas en el Perú

<i>MINA</i>	PROCESO APLICADO	LEY gr/TM	TIEMPO horas	pH	% NaCN	% RECUPERACION	COMPOSICION QUIMICA
MINAS ESPECIAL MISHKY	L. PILA	7	504 (21 días)	10,5	0,15	70,0	Pirita, hematita, limonita, no metalicos, Au
CIA MINERA GAVILAN DE ORO S.A. SANDIA PUNO	L. PILA	10 a 20	variable	10-11	0,15	variable	Oro, blenda, galena, pirrotita, chalcopirita, arsenopirita, pirita cuarzo, hematita, molibdenita.
CIA MINERA ORCOPAMPA	L.AGITACION	0,028	96	10-10,8	0,2	81,2	Plata, oro, cobre, zinc, fierro, arsenico, antimonio, sulfuros de fierro
MINA OCOÑA	L.AGITACION	6,5	123	12	0,4	85,0	Cuarzo, pirita, chalcopirita, pirrotita, oro libre, siderita, ortroza, galena, esfalerita, bornita, malaquita, yeso, etc.
YANACOCCHA	L.PILA	1,08	1440 (60dias)	mayor a 9	0,3	70,0	Cuarzo, oxidos de hierro, alunita, sericita, pirita, covelita, sulfuro elemental, etc.
CIA MINERA AURIFERA CALPA S.A. MINA CALPA	L. DCC	30,0	60-65	10,5-11	0,2	78-82	Pirita, cuarzo, calcopirita, rodonita, limonita y hematita, Au rodeado por los tres primeros

Fuente: Elaboración propia

2.2.7. CARACTERÍSTICAS DE UN MINERAL REFRACTARIO

Se considera que las propiedades del oro son metalúrgicamente refractarias cuando hay una mínima reacción de los minerales, concentrados o relaves a la lixiviación con soluciones alcalinas de cianuro de sodio. Las causas por el cual se da dicho comportamiento es:

- a. La oclusión o diseminación de partículas de oro de grano fino o submicroscópicas dentro de los minerales sulfurosos, generalmente, pirita, arsenopirita o pirrotita, conocida como solución sólida en los minerales.
- b. La presencia de antimonio, arsénico y bismuto están en forma de minerales: Antimonita, rejalgar, oropimente y bismutina.
- c. La presencia de metales de base que forma complejos de cianuro en forma de solución y se comportan como cianidas
- d. La presencia de arcillas que absorben el producto de la cianuración como son los complejos aurocianuros o que pueden inhibir la difusión de la solución de cianuro en la superficie de las partículas de oro.
- e. La oclusión o diseminación de partículas de oro fino o submicroscópicas dentro del material silíceo, especialmente en diversos tipos de sílica amorfa.

- f. La asociación de plata y oro con sales sulfurosas de cobre, como la enargita, tetrahedrita, tennantita, etc.
- g. La asociación del oro y la plata con telurios como la silvanita (Au,AgTe_4) o Krennerita (AuTe_2) o con otros teluridos.
- h. La presencia de sustancias carbonáceas que causan precipitación extemporánea del oro, entre estas sustancias se tiene el grafito, ácidos húmicos.
- i. La matriz más común del oro refractario es la pirita, hay casos que ni una molienda extremadamente fina es suficiente para extraer el oro, generalmente hay necesidad de oxidar la matriz para exponer el oro a la solución de cianuro.

Tabla N° 2.4: Consumo de Cianuro

MINA	CONSUMO DE CIANURO
CIA MINERA AURIFERA CALPA S.A.	2,8 Kg de NaCN/TM
MINAS OCOÑA	4,5 Kg de NaCN/TM
MINAS ESPECIAL MISHKI	1,00 Kg de Na CN/TM
CIA MINERA ORCOPAMPA	2,96 Kg de NaCN/TC
CIA MINERA GAVILAN DE ORO S.A.	16,95 Kg de NaCN/dia

Fuente: Elaboración propia

2.2.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MINERALES DE ORO

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto que tiene los pre-tratamientos en la mejora de la recuperación de oro y la disminución del consumo de cianuro. Para las pruebas experimentales se tuvo varias muestras representativas de mineral

de oro con alto contenido de fierro y otros cianicidas que afectan el proceso.

El presente trabajo es evaluar el efecto que tiene los pre-tratamientos en la mejora de la recuperación de oro y la disminución del consumo de cianuro. Para las pruebas experimentales se tuvo varias muestras representativas de mineral de oro con alto contenido de fierro y otros cianicidas que afectan el proceso. De acuerdo a la observación microscópica y análisis químicos, el mineral tiene la siguiente composición química:

Tabla N° 2.6: Composición Química del Mineral

Elemento	Distribución
Au	90,19 g/TM
Ag	6,22 g/TM
Fe	31,7 %
S	32,8 %
As	0,5 %
Cu	0,1 %
Pb	0,5 %
Zn	0,4 %
SiO ₂	32,5 %

Fuente: Laboratorio químico Cía. Minera Ares

Tabla N° 2.7: Distribución Volumétrica

Mineral	Distribución %
Pirita	51,45
Pirrotita	11,39
Arsenopirita	0,99
Chacopirita	1,00
Galena	0,99
Esfalerita	0,99
Ganga Silicosa	33,19

Fuente Laboratorio químico Cía. Minera Ares

2.2.9. EVALUACIÓN DE LAS RECUPERACIONES DE ORO

Se puede observar que las recuperaciones obtenidas teniendo en cuenta las referencias de las distintas minas que usan el proceso de lixiviación de oro usando cianuro tiene una recuperación que varía de acuerdo al proceso aplicado, es así que cuando se usa la Cianuración en Pilas se tiene una recuperación que varía entre 70 a 75 % y usando el proceso de Cianuración por Agitación que es uno de los procesos en los que se tiene una de las más altas recuperaciones en el orden del 81 a 85 %.

Mientras que las recuperaciones que se tiene aplicando Pre-Tratamientos al mineral con alto contenido de fierro (mineral piritoso) se puede llegar a tener recuperaciones por encima del 90 % con un tiempo de lixiviación menor aplicando el proceso de lixiviación por agitación.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Mineral.- Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Metalurgia.- Es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos hasta los no metálicos.

Lixiviación.- Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.

Lixiviación bacteriana.- La biolixiviación de minerales, concentrados y relaves sulfurados que contienen Au y Cu encapsulados es un concepto relativamente nuevo en comparación a los procesos de tostación, oxidación a presión y/o oxidación química, y rápidamente fue establecido como un pre-tratamiento alternativo de oxidación viable.

Proceso Metalúrgico.- Obtención del metal a partir del mineral que lo contiene en estado natural, separándolo de la ganga.

Mena: Minerales de valor económico, los cuales constituyen entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo cobre, molibdeno, zinc, etc.

2.4. HIPÓTESIS:

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si realizamos la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro entonces podemos mitigar del consumo de cianuro de sodio en la Compañía Minera Ares S.A.C. – Arequipa.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

1. Si realizamos la evaluación metalúrgica en la recuperación del oro entonces podemos minimizar el consumo de cianuro de sodio.
2. Si determinamos el consumo de cianuro de sodio en la lixiviación entonces podemos obtener oro en los minerales refractarios.
3. Si establecemos el método adecuado entonces podemos realizar las pruebas metalúrgicas en la lixiviación de los minerales refractarios.

2.5. VARIABLES:

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Evaluación metalúrgica en la recuperación del oro.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Mitigar del consumo de cianuro de sodio

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

- Consumo de cianuro sodio
- pH del Mineral
- Grado de recuperación de oro

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de Investigación, por tener una naturaleza de carácter práctico, ha sido objeto del empleo del método **APLICATIVO**, a fin de conocer sobre la aplicación de la lixiviación con cianuro de sodio en la obtención de oro en los minerales refractarios, habiéndose para tal efecto realizado el estudio correspondiente de las variables independiente y dependiente.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño empleado en la presenta investigación es el de carácter **causa – efecto**; metodología que permite establecer la relación

existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como experimental – condicionada.

Para cumplir con la metodología y diseño de la investigación, el control de las pruebas experimentales se llevará a cabo mediante una observación controlada de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y la naturaleza del problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el tipo de investigación “**EXPERIMENTAL**”, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo la caracterización sobre la evaluación metalúrgica de la lixiviación de oro y plata mediante cianuro de sodio en los minerales refractarios, describiendo y explicando las causas y efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Como población de estudio lo considero a los minerales refractarios de la Compañía Minea Ares S.A.C., en la región Arequipa.

3.4.2. MUESTRA

Como muestra de estudio es la recolección de minerales refractarios con contenido de oro en una cantidad aproximada de 50 kilos en un muestreo aleatorio por mallas del cual utilizaremos diez kilos y un kilo que fue utilizado en gramos, para realizar su tratamiento metalúrgico mediante el proceso de lixiviación.

3.5. DETERMINACIÓN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD

Para determinar el orden de reacción de hizo pruebas usando el siguiente equipo:

1. Un tanque de 5 litros con agitación mecánica a 300 RPM para el caso de pruebas de inyección de oxígeno, se acoplo en las

paredes laterales una manguera de 0,635 cm de diámetro adherida a la pared que alimentaba un promedio de $\frac{1}{2}$ litro de aire por minuto con lo que se saturaba la solución ocasionando una solubilización de oxígeno aproximado de 0,8 mg de oxígeno por litro.

2. Un motor con potencia de $\frac{1}{4}$ HP, con poleas de reducción de velocidad.
3. Un termómetro.
4. Material de vidrio (probeta, vaso de precipitado, etc.)

A fin de establecer el orden de reacción y la constante de velocidad. Las mismas que han sido agrupadas, según el grupo de pruebas:

CASO 1

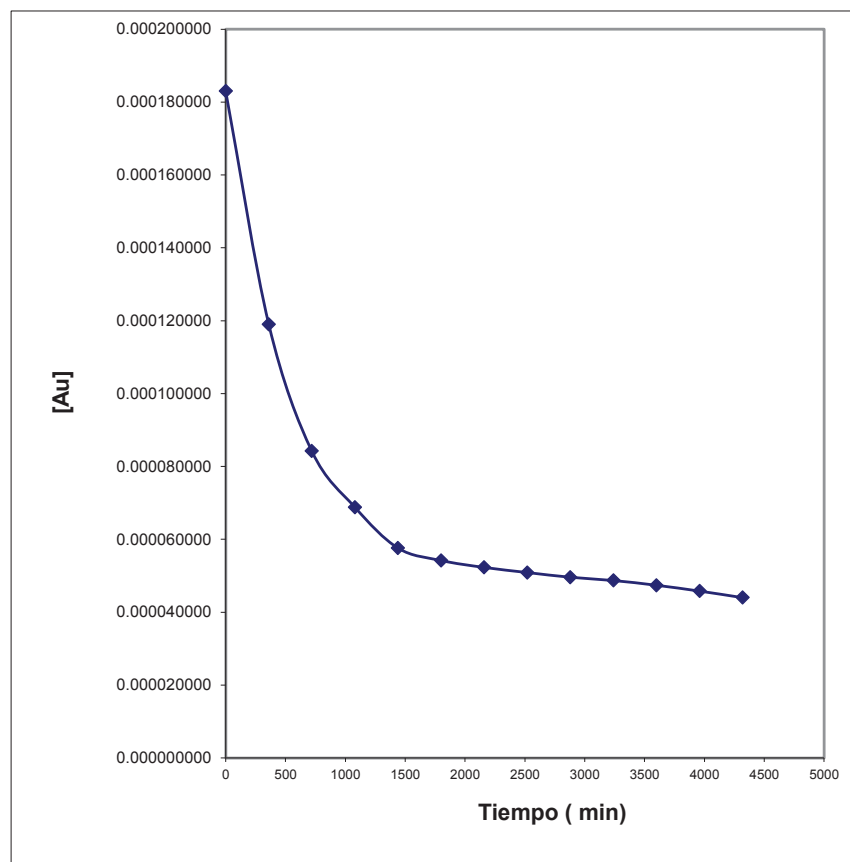
Tabla N° 3.1: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento

								4.72277619		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000119000	0.0000640	0.00000178	0.4304	0.00120	2938.8805	8.163557	8.7355E+13	2.4265E+11	0.000156831
720	0.000084200	0.0000988	0.00000137	0.7763	0.00108	6412.0037	8.905561	3.7450E+14	5.2014E+11	0.000134404
1080	0.000068800	0.0001142	0.00000106	0.9783	0.00091	9070.4028	8.398521	8.1908E+14	7.5841E+11	0.000115185
1440	0.000057600	0.0001254	0.00000087	1.1560	0.00080	11896.6302	8.261549	1.6077E+15	1.1165E+12	9.87134E-05
1800	0.000054200	0.0001288	0.00000072	1.2168	0.00068	12985.7036	7.214280	2.0220E+15	1.1234E+12	8.45975E-05
2160	0.000052300	0.0001307	0.00000061	1.2525	0.00058	13655.9780	6.322212	2.3125E+15	1.0706E+12	7.25001E-05
2520	0.000050900	0.0001321	0.00000052	1.2796	0.00051	14181.8845	5.627732	2.5606E+15	1.0161E+12	6.21327E-05
2880	0.000049600	0.0001334	0.00000046	1.3055	0.00045	14696.8094	5.103059	2.8217E+15	9.7976E+11	5.32477E-05
3240	0.000048700	0.0001343	0.00000041	1.3238	0.00041	15069.4000	4.651049	3.0223E+15	9.3282E+11	4.56334E-05
3600	0.000047400	0.0001356	0.00000038	1.3509	0.00038	15632.5655	4.342379	3.3450E+15	9.2915E+11	3.91078E-05
3960	0.000045800	0.0001372	0.00000035	1.3852	0.00035	16369.5803	4.133732	3.8041E+15	9.6063E+11	3.35154E-05
4320	0.000044000	0.0001390	0.00000032	1.4253	0.00033	17262.7919	3.996017	4.4200E+15	1.0232E+12	2.87228E-05
		promedio	0.00000074		0.00064		6.259971		8.8944E+11	
		devst	0.00000046		0.00030		1.852944		2.6312E+11	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.722776185
k = 4.3879E-08	0 4.2866E-04	0 4.8438	0 9.8181E+11	0
4.8638E-09	#N/A 3.8789E-05	#N/A 0.3250	#N/A 2.1935E+10	#N/A
-0.2524	4.4641E-05 0.3020	0.3560 0.6936	2982.9167 0.9803815	2.0132E+14
-2.4182	12 5.1929	12 27.1631	12 599.67	12
-4.8191E-09	2.3914E-08 0.6582	1.5210 2.4169E+08	1.0677E+08 2.4305E+31	4.8637E+29
9.022	11.051	14.904	44.760	

Gráfico N° 3.1: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento



Fuente: elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.2: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento

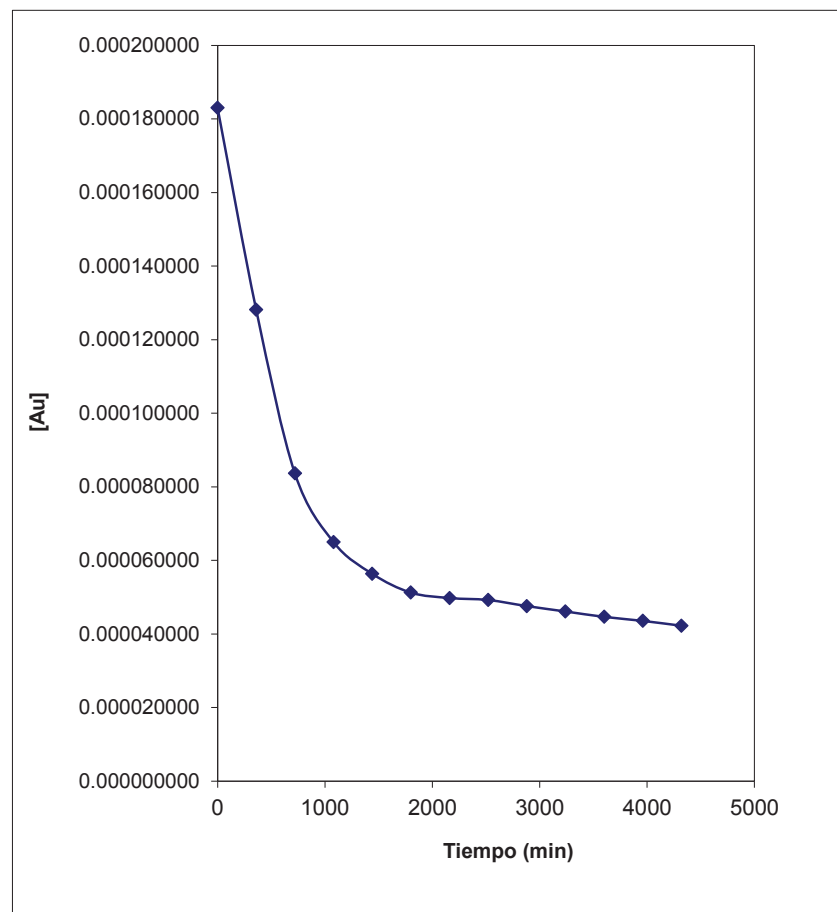
								4.70012306		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 $y=k_0t$	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	n=opt k_{opt}^*t	k_{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000128100	0.0000549	0.000000153	0.3567	0.00099	2341.9204	6.505334	5.0040E+13	1.3900E+11	0.000155995
720	0.000083631	0.0000994	0.000000138	0.7831	0.00109	6492.8077	9.017788	3.1252E+14	4.3406E+11	0.000132975
1080	0.000064965	0.0001180	0.000000109	1.0356	0.00096	9928.4230	9.192984	8.2390E+14	7.6287E+11	0.000113352
1440	0.000056364	0.0001266	0.000000088	1.1777	0.00082	12277.3401	8.525931	1.4060E+15	9.7642E+11	9.66249E-05
1800	0.000051240	0.0001318	0.000000073	1.2730	0.00071	14051.5222	7.806401	2.0083E+15	1.1157E+12	8.23662E-05
2160	0.000049776	0.0001332	0.000000062	1.3020	0.00060	14625.5223	6.771075	2.2378E+15	1.0360E+12	7.02115E-05
2520	0.000049227	0.0001338	0.000000053	1.3130	0.00052	14849.5744	5.892688	2.3323E+15	9.2550E+11	5.98505E-05
2880	0.000047580	0.0001354	0.000000047	1.3471	0.00047	15552.7533	5.400262	2.6477E+15	9.1933E+11	5.10185E-05
3240	0.000046116	0.0001369	0.000000042	1.3783	0.00043	16219.9670	5.006163	2.9745E+15	9.1805E+11	4.34898E-05
3600	0.000044652	0.0001383	0.000000038	1.4106	0.00039	16930.9325	4.703037	3.3539E+15	9.3164E+11	3.7072E-05
3960	0.000043554	0.0001394	0.000000035	1.4355	0.00036	17495.5228	4.418061	3.6793E+15	9.2912E+11	3.16014E-05
4320	0.000042236	0.0001408	0.000000033	1.4662	0.00034	18212.0036	4.215742	4.1246E+15	9.5476E+11	2.6938E-05
		promedio	0.000000073		0.00064		6.454622		8.3687E+11	
		devst	0.000000041		0.00027		1.810135		2.7704E+11	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.700123056
k = 4.4576E-08	0 4.4351E-04	0 5.1576	0 9.4027E+11	0
4.8678E-09	#N/A 3.9587E-05	#N/A 0.3407	#N/A 2.0262E+10	#N/A
-0.1466	4.4678E-05 0.3589	0.3633 0.7166	3126.8888 0.9820258	1.8597E+14
-1.5343	12 6.7166	12 30.3475	12 655.62	12
-3.0625E-09	2.3953E-08 0.8867	1.5842 2.9672E+08	1.1733E+08 2.2674E+31	4.1500E+29
9.157	11.203	15.139	46.406	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.2: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento



Fuente: elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.3: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento

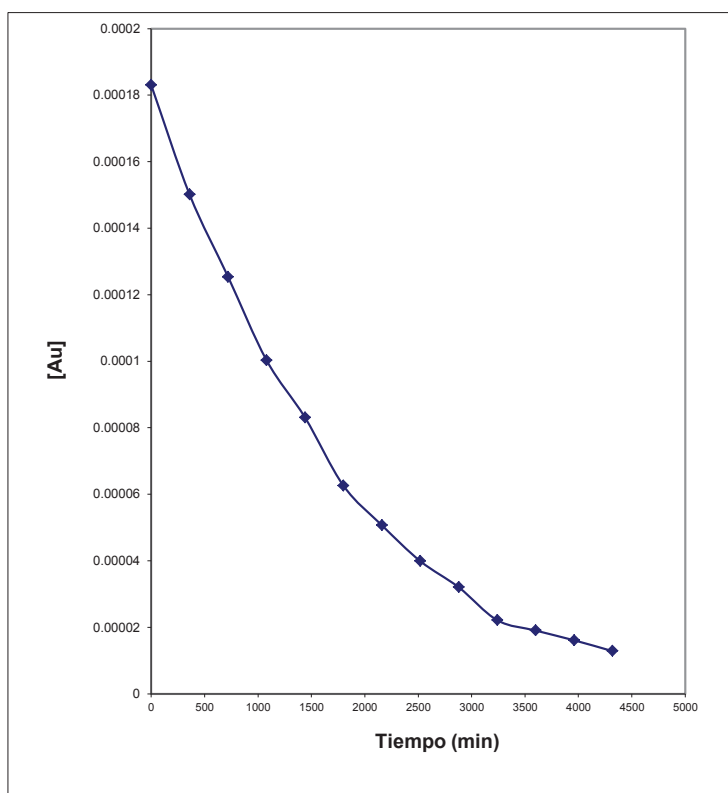
								5.099293825		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000123708	0.0000593	0.000000165	0.3916	0.00109	2619.0707	7.275196	2.0339E+15	5.6496E+12	0.000155934
720	0.000081252	0.0001017	0.000000141	0.8119	0.00113	6842.9085	9.504040	1.3748E+16	1.9094E+13	0.000132871
1080	0.000065880	0.0001171	0.000000108	1.0217	0.00095	9714.6327	8.995030	3.3175E+16	3.0717E+13	0.000113219
1440	0.000055266	0.0001277	0.000000089	1.1973	0.00083	12629.8267	8.770713	6.8705E+16	4.7712E+13	9.64734E-05
1800	0.000050508	0.0001325	0.000000074	1.2874	0.00072	14334.3629	7.963535	9.9599E+16	5.5333E+13	8.22048E-05
2160	0.000049593	0.0001334	0.000000062	1.3056	0.00060	14699.6552	6.805396	1.0739E+17	4.9718E+13	7.00464E-05
2520	0.000048678	0.0001343	0.000000053	1.3243	0.00053	15078.6803	5.983603	1.1595E+17	4.6012E+13	5.96864E-05
2880	0.000047214	0.0001358	0.000000047	1.3548	0.00047	15715.6776	5.456832	1.3148E+17	4.5653E+13	5.08586E-05
3240	0.000045933	0.0001371	0.000000042	1.3823	0.00043	16306.3593	5.032827	1.4723E+17	4.5443E+13	4.33365E-05
3600	0.000044469	0.0001385	0.000000038	1.4147	0.00039	17023.0947	4.728637	1.6821E+17	4.6726E+13	3.69269E-05
3960	0.000043371	0.0001396	0.000000035	1.4397	0.00036	17592.4005	4.442525	1.8642E+17	4.7077E+13	3.14653E-05
4320	0.000043060	0.0001399	0.000000032	1.4469	0.00033	17758.9823	4.110876	1.9202E+17	4.4450E+13	2.68115E-05
		promedio	0.000000074		0.00065		6.589101		4.0299E+13	
		devst	0.000000044		0.00028		1.900544		1.4472E+13	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	5.099293825
k = 4.4652E-08	0 4.4460E-04	0 5.1740	0 4.6034E+13	0
4.9561E-09	#N/A 4.0621E-05	#N/A 0.3570	#N/A 1.1277E+12	#N/A
-0.2178	4.5489E-05 0.3099	0.3728 0.6834	3277.0010 0.9772531	1.0350E+16
-2.1461	12 5.3889	12 25.9023	12 515.54	12
-4.4408E-09	2.4831E-08 0.7491	1.6680 2.7816E+08	1.2886E+08 5.5229E+34	1.2855E+33
9.009	10.945	14.491	40.821	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 3.3: Caso 3. Sin Pre-tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con sin pre-tratamiento puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $7,4 \cdot 10^{-8}$ y un k de $3 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1. Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 1, donde nos da un $k = 4,28 \cdot 10^{-4}$ dándonos un k óptimo igual a $9,818 \cdot 10^{11}$ con un orden óptimo de 4,722, de donde podemos decir que la velocidad cinética de la reacción del oro es demasiado alto por lo cual se desechas estas pruebas.

CASO 1

Tabla N° 3.4: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada

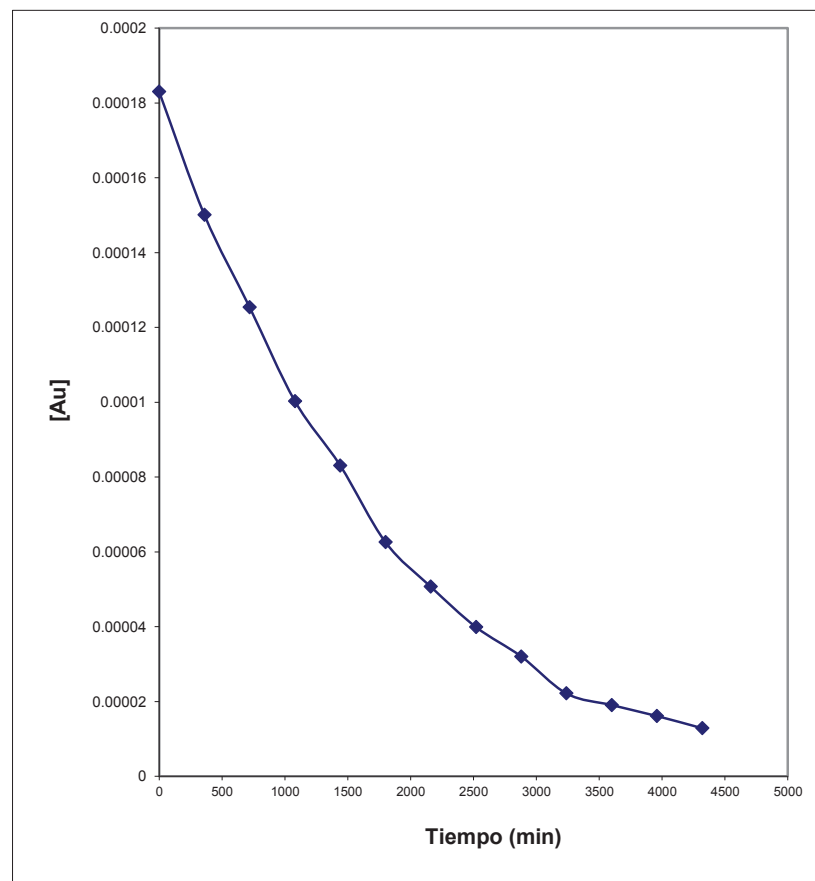
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	3.64957292 n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000116022	0.0000670	0.000000186	0.4557	0.00127	3154.5741	8.762706	7.0770E+09	1.9658E+07	0.000154717
720	0.000077592	0.0001054	0.000000146	0.8580	0.00119	7423.4457	10.310341	2.6294E+10	3.6520E+07	0.000130806
1080	0.000064965	0.0001180	0.000000109	1.0356	0.00096	9928.4230	9.192984	4.3910E+10	4.0658E+07	0.00011059
1440	0.000055266	0.0001277	0.000000089	1.1973	0.00083	12629.8267	8.770713	6.9008E+10	4.7922E+07	9.34983E-05
1800	0.000050508	0.0001325	0.000000074	1.2874	0.00072	14334.3629	7.963535	8.8411E+10	4.9117E+07	7.90482E-05
2160	0.000049044	0.0001340	0.000000062	1.3168	0.00061	14925.3731	6.909895	9.5822E+10	4.4362E+07	6.68314E-05
2520	0.000046482	0.0001365	0.000000054	1.3704	0.00054	16049.2234	6.368739	1.1092E+11	4.4016E+07	5.65026E-05
2880	0.000044652	0.0001383	0.000000048	1.4106	0.00049	16930.9325	5.878796	1.2371E+11	4.2956E+07	4.77702E-05
3240	0.000042639	0.0001404	0.000000043	1.4567	0.00045	17988.2267	5.551922	1.4019E+11	4.3269E+07	4.03873E-05
3600	0.000041358	0.0001416	0.000000039	1.4872	0.00041	18714.6380	5.198511	1.5225E+11	4.2290E+07	3.41455E-05
3960	0.000039162	0.0001438	0.000000036	1.5418	0.00039	20070.4765	5.068302	1.7639E+11	4.4544E+07	2.88683E-05
4320	0.000037881	0.0001451	0.000000034	1.5750	0.00036	20933.9775	4.845828	1.9292E+11	4.4657E+07	2.44067E-05
		promedio	0.000000077		0.00069		7.068523		4.1664E+07	
		devst	0.000000048		0.00031		1.864990		7.6345E+06	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	3.649572923
k = 4.5619E-08	0 4.6635E-04	0 5.6767	0 4.3975E+07	0
5.0052E-09	#N/A 3.9535E-05	#N/A 0.3080	#N/A 5.4600E+05	#N/A
-0.2376	4.5939E-05 0.3946	0.3629 0.8105	2826.5266 0.9936437	5.0113E+09
-2.3038	12 7.8232	12 51.3396	12 1875.88	12
-4.8619E-09	2.5325E-08 1.0301	1.5800 4.1016E+08	9.5871E+07 4.7110E+22	3.0136E+20
9.114	11.796	18.433	80.540	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.4: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.5: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada

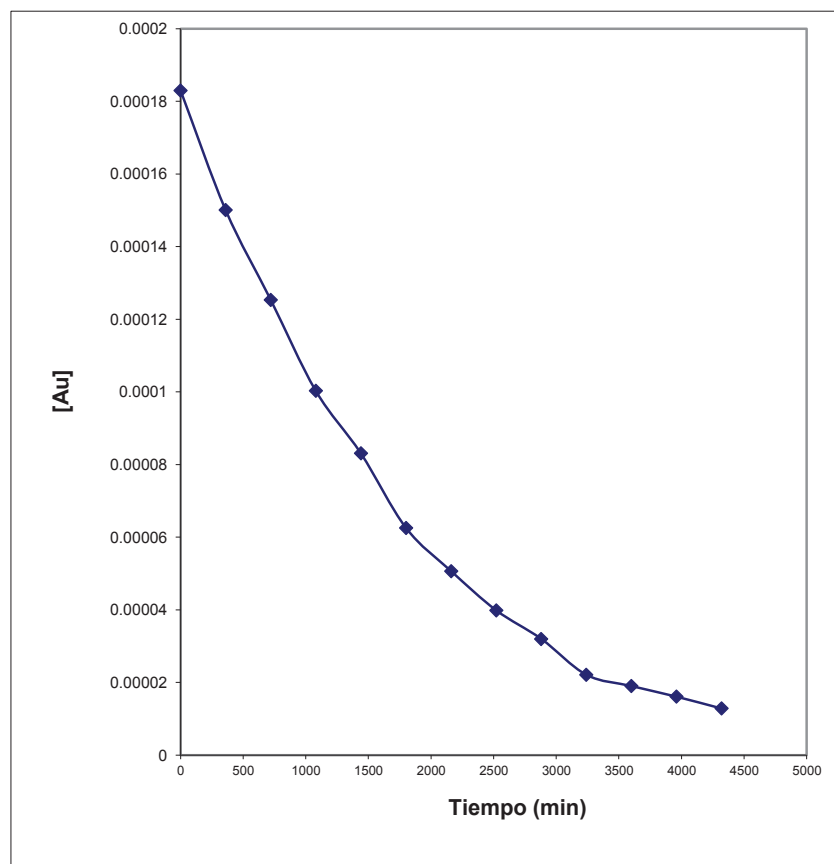
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	4.157047919 n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000115656	0.0000673	0.000000187	0.4589	0.00127	3181.8496	8.838471	6.5045E+11	1.8068E+09	0.000154767
720	0.000078690	0.0001043	0.000000145	0.8440	0.00117	7243.6142	10.060575	2.6678E+12	3.7052E+09	0.000130889
1080	0.000065514	0.0001175	0.000000109	1.0272	0.00095	9799.4322	9.073548	4.9142E+12	4.5502E+09	0.000110696
1440	0.000054900	0.0001281	0.000000089	1.2040	0.00084	12750.4554	8.854483	8.7353E+12	6.0662E+09	9.36177E-05
1800	0.000049227	0.0001338	0.000000074	1.3130	0.00073	14849.5744	8.249764	1.2408E+13	6.8934E+09	7.91744E-05
2160	0.000047580	0.0001354	0.000000063	1.3471	0.00062	15552.7533	7.200349	1.3838E+13	6.4065E+09	6.69594E-05
2520	0.000045933	0.0001371	0.000000054	1.3823	0.00055	16306.3593	6.470777	1.5489E+13	6.1466E+09	5.6629E-05
2880	0.000044286	0.0001387	0.000000048	1.4188	0.00049	17116.0186	5.943062	1.7406E+13	6.0439E+09	4.78923E-05
3240	0.000042273	0.0001407	0.000000043	1.4653	0.00045	18191.2805	5.614593	2.0192E+13	6.2320E+09	4.05035E-05
3600	0.000041358	0.0001416	0.000000039	1.4872	0.00041	18714.6380	5.198511	2.1650E+13	6.0140E+09	3.42546E-05
3960	0.000040242	0.0001428	0.000000036	1.5146	0.00038	19385.1787	4.895247	2.3621E+13	5.9649E+09	2.89698E-05
4320	0.000039235	0.0001438	0.000000033	1.5399	0.00036	20022.9666	4.634946	2.5605E+13	5.9271E+09	2.45004E-05
		promedio	0.000000077		0.00069		7.086194		5.4797E+09	
		devst	0.000000048		0.00031		1.872870		1.4383E+09	

REGRESION LINEAL

	n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.157047919
k =	4.5598E-08	0 4.6546E-04	0 5.6457	0 6.0416E+09	0
	5.0380E-09	#N/A 4.0564E-05	#N/A 0.3377	#N/A 1.0675E+08	#N/A
	-0.2531	4.6240E-05 0.3606	0.3723 0.7671	3099.5199 0.9877000	9.7975E+11
	-2.4235	12 6.7672	12 39.5296	12 963.61	12
	-5.1818E-09	2.5658E-08 0.9380	1.6633 3.7976E+08	1.1528E+08 9.2497E+26	1.1519E+25
	9.051	11.475	16.718	56.598	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.5: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.6: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada

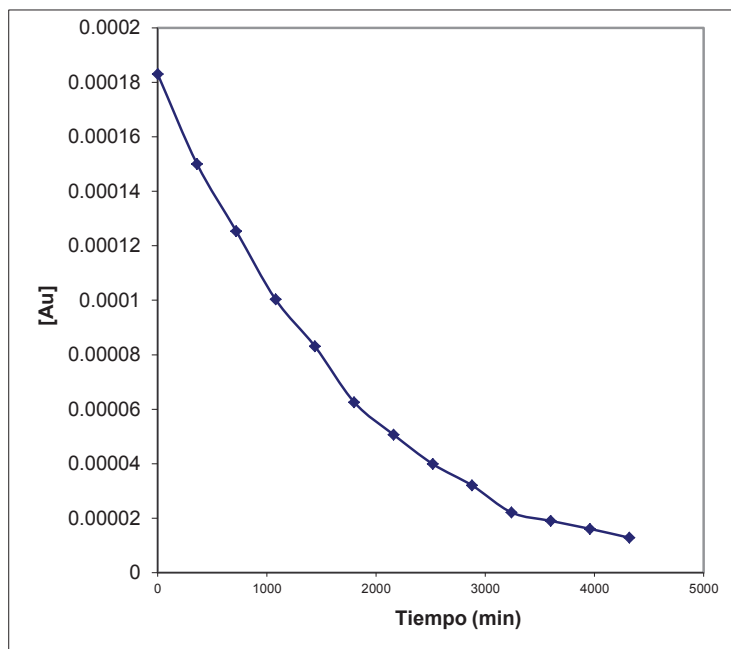
								4.00650677		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000115656	0.0000673	0.000000187	0.4589	0.00127	3181.8496	8.838471	1.7066E+11	4.7406E+08	0.000154765
720	0.000078507	0.0001045	0.000000145	0.8463	0.00118	7273.2368	10.101718	6.7361E+11	9.3557E+08	0.000130886
1080	0.000064965	0.0001180	0.000000109	1.0356	0.00096	9928.4230	9.192984	1.2343E+12	1.1428E+09	0.000110692
1440	0.000055083	0.0001279	0.000000089	1.2006	0.00083	12689.9406	8.812459	2.0639E+12	1.4332E+09	9.3613E-05
1800	0.000049593	0.0001334	0.000000074	1.3056	0.00073	14699.6552	8.166475	2.8512E+12	1.5840E+09	7.91694E-05
2160	0.000047763	0.0001352	0.000000063	1.3432	0.00062	15472.2275	7.163068	3.1993E+12	1.4812E+09	6.69543E-05
2520	0.000045842	0.0001372	0.000000054	1.3843	0.00055	16349.5761	6.487927	3.6271E+12	1.4393E+09	5.66239E-05
2880	0.000044286	0.0001387	0.000000048	1.4188	0.00049	17116.0186	5.943062	4.0302E+12	1.3994E+09	4.78874E-05
3240	0.000043188	0.0001398	0.000000043	1.4439	0.00045	17690.0991	5.459907	4.3507E+12	1.3428E+09	4.04988E-05
3600	0.000041358	0.0001416	0.000000039	1.4872	0.00041	18714.6380	5.198511	4.9635E+12	1.3787E+09	3.42503E-05
3960	0.000039894	0.0001431	0.000000036	1.5233	0.00038	19601.9452	4.949986	5.5381E+12	1.3985E+09	2.89658E-05
4320	0.000038796	0.0001442	0.000000033	1.5512	0.00036	20311.3723	4.701707	6.0279E+12	1.3953E+09	2.44966E-05
		promedio	0.000000077		0.00069		7.084690		1.2837E+09	
		devst	0.000000048		0.00031		1.879973		3.0509E+08	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.006506768
k = 4.5597E-08	0 4.6550E-04	0 5.6483	0 1.3957E+09	0
5.0353E-09	#N/A 4.0383E-05	#N/A 0.3311	#N/A 2.2055E+07	#N/A
-0.2532	4.6215E-05 0.3652	0.3706 0.7763	3039.0339 0.9900078	2.0243E+11
-2.4243	12 6.9041	12 41.6322	12 1188.93	12
-5.1780E-09	2.5630E-08 0.9484	1.6485 3.8450E+08	1.1083E+08 4.8720E+25	4.9174E+23
9.055	11.527	17.058	63.283	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.6: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada



Fuente: Elaboración propia

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $7,7 \cdot 10^{-8}$ y un k de $6,9 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1. Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 1, donde nos da un $k = 4,66 \cdot 10^{-4}$ dándonos un k óptimo igual a $4,39 \cdot 10^{-4}$ con un orden óptimo de 3,649, de donde podemos decir que la velocidad cinética de la reacción del oro es demasiado alto por lo cual se desechan estas pruebas.

CASO 1

Tabla N° 3.7: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación

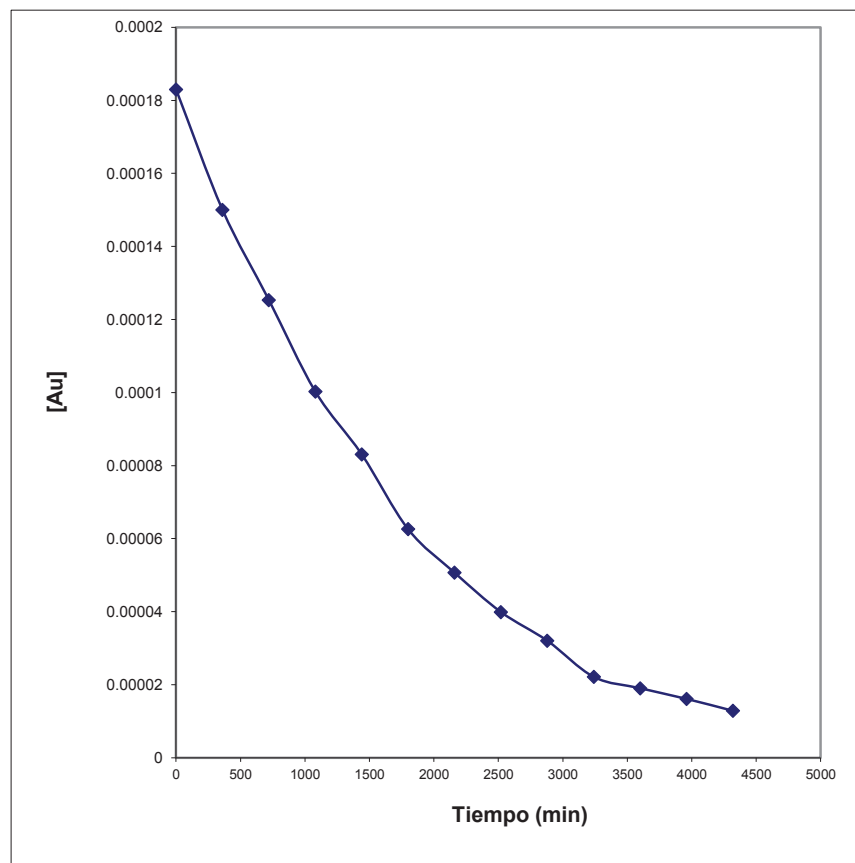
								2.189465807		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000111813	0.0000712	0.000000198	0.4927	0.00137	3479.0230	9.663953	1.8693E+04	51.9248	0.000147464
720	0.000073566	0.0001094	0.000000152	0.9113	0.00127	8128.7551	11.289938	4.5897E+04	63.7462	0.000118828
1080	0.000056913	0.0001261	0.000000117	1.1680	0.00108	12106.1972	11.209442	7.0659E+04	65.4250	9.5753E-05
1440	0.000049410	0.0001336	0.000000093	1.3093	0.00091	14774.3372	10.259956	8.7894E+04	61.0376	7.71589E-05
1800	0.000042456	0.0001405	0.000000078	1.4610	0.00081	18089.3160	10.049620	1.0991E+05	61.0621	6.21756E-05
2160	0.000036966	0.0001460	0.000000068	1.5995	0.00074	21587.4046	9.994169	1.3379E+05	61.9405	5.01018E-05
2520	0.000032391	0.0001506	0.000000060	1.7316	0.00069	25408.2924	10.082656	1.6055E+05	63.7107	4.03727E-05
2880	0.000028365	0.0001546	0.000000054	1.8643	0.00065	29790.2344	10.343831	1.9202E+05	66.6736	3.25328E-05
3240	0.000027450	0.0001556	0.000000048	1.8971	0.00059	30965.3916	9.557220	2.0059E+05	61.9105	2.62153E-05
3600	0.000023973	0.0001590	0.000000044	2.0326	0.00056	36249.1136	10.069198	2.3975E+05	66.5985	2.11246E-05
3960	0.000023241	0.0001598	0.000000040	2.0636	0.00052	37562.9276	9.485588	2.4964E+05	63.0416	1.70225E-05
4320	0.000022326	0.0001607	0.000000037	2.1037	0.00049	39326.3460	9.103321	2.6301E+05	60.8817	1.37169E-05
		promedio	0.000000082		0.00081		10.092408		62.3294	
		devst	0.000000050		0.00029		0.646794		3.8736	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.18946581
k = 5.0208E-08	0 5.9974E-04	0 9.7333	0 63.2112	0
5.1616E-09	#N/A 3.7657E-05	#N/A 0.1372	#N/A 0.6475	#N/A
-0.0565	4.7375E-05 0.7145	0.3456 0.9908	1259.5819 0.9955555	5.9432E+03
-0.6420	12 30.0359	12 1297.4640	12 2687.96	12
-1.4408E-09	2.6932E-08 3.5880	1.4335 2.0585E+09	1.9039E+07 9.4943E+10	4.2386E+08
9.727	15.926	70.924	97.618	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.7: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.8: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación

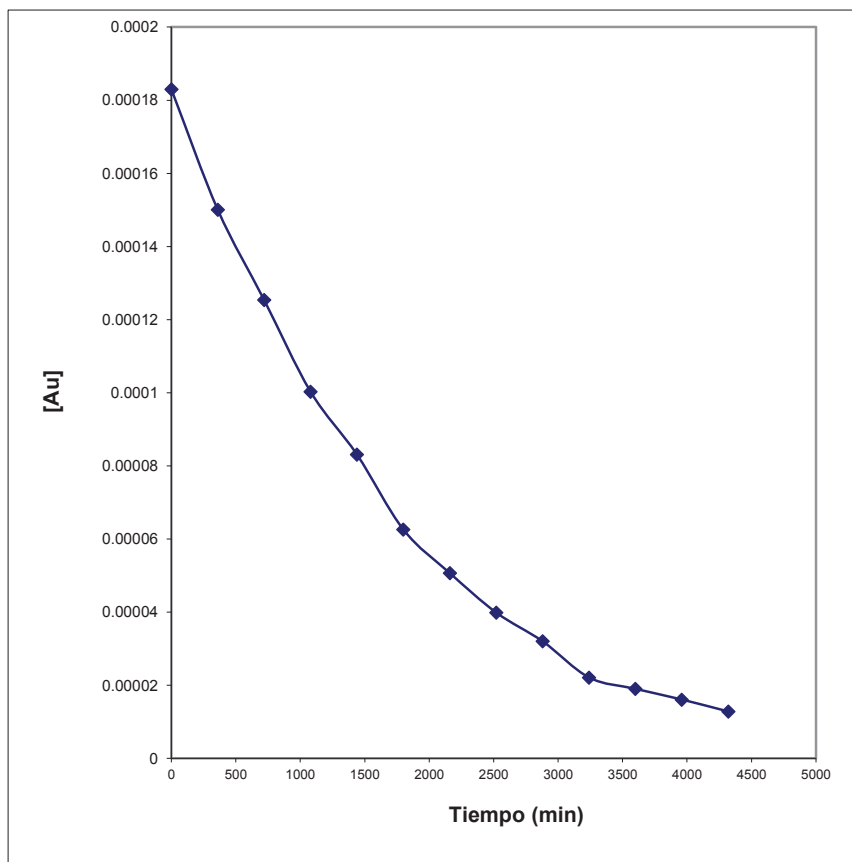
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	2.70268676 n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0.0000E+00		0.000183
360	0.000112362	0.0000706	0.000000196	0.4878	0.00135	3435.3251	9.542570	1.7572E+06	4881.2461	0.00014931
720	0.000075030	0.0001080	0.000000150	0.8916	0.00124	7863.5213	10.921557	4.8376E+06	6718.8823	0.000121822
1080	0.000057645	0.0001254	0.000000116	1.1552	0.00107	11883.0775	11.002849	8.3467E+06	7728.4355	9.93951E-05
1440	0.000049593	0.0001334	0.000000093	1.3056	0.00091	14699.6552	10.208094	1.1180E+07	7763.9886	8.10966E-05
1800	0.000042090	0.0001409	0.000000078	1.4697	0.00082	18294.1316	10.163406	1.5220E+07	8455.5296	6.61669E-05
2160	0.000038430	0.0001446	0.000000067	1.5606	0.00072	20556.8566	9.517063	1.7997E+07	8332.0792	5.39857E-05
2520	0.000034770	0.0001482	0.000000059	1.6607	0.00066	23295.9448	9.244423	2.1593E+07	8568.7515	4.4047E-05
2880	0.000030744	0.0001523	0.000000053	1.7838	0.00062	27062.1910	9.396594	2.6943E+07	9355.2487	3.59381E-05
3240	0.000029280	0.0001537	0.000000047	1.8326	0.00057	28688.5246	8.854483	2.9395E+07	9072.4043	2.93219E-05
3600	0.000028914	0.0001541	0.000000043	1.8452	0.00051	29120.8411	8.089123	3.0060E+07	8350.0927	2.39238E-05
3960	0.000027633	0.0001554	0.000000039	1.8905	0.00048	30724.1342	7.758620	3.2580E+07	8227.3813	1.95195E-05
4320	0.000027047	0.0001560	0.000000036	1.9119	0.00044	31508.1963	7.293564	3.3842E+07	7833.7786	1.5926E-05
		promedio	0.000000081		0.00078		9.332695		7940.6515	
		devst	0.000000050		0.00030		1.178255		1178.7890	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.70268676
k = 4.9268E-08	0 5.6517E-04	0 8.4336	0 8382.9779	0
5.2084E-09	#N/A 4.0913E-05	#N/A 0.2803	#N/A 152.2110	#N/A
-0.1245	4.7804E-05 0.6010	0.3755 0.9421	2572.8204 0.9865419	1.3970E+06
-1.3282	12 18.0747	12 195.4216	12 879.65	12
-3.0352E-09	2.7422E-08 2.5487	1.6921 1.2936E+09	7.9433E+07 1.7168E+15	2.3420E+13
9.459	13.814	30.086	55.075	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.8: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.9: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación

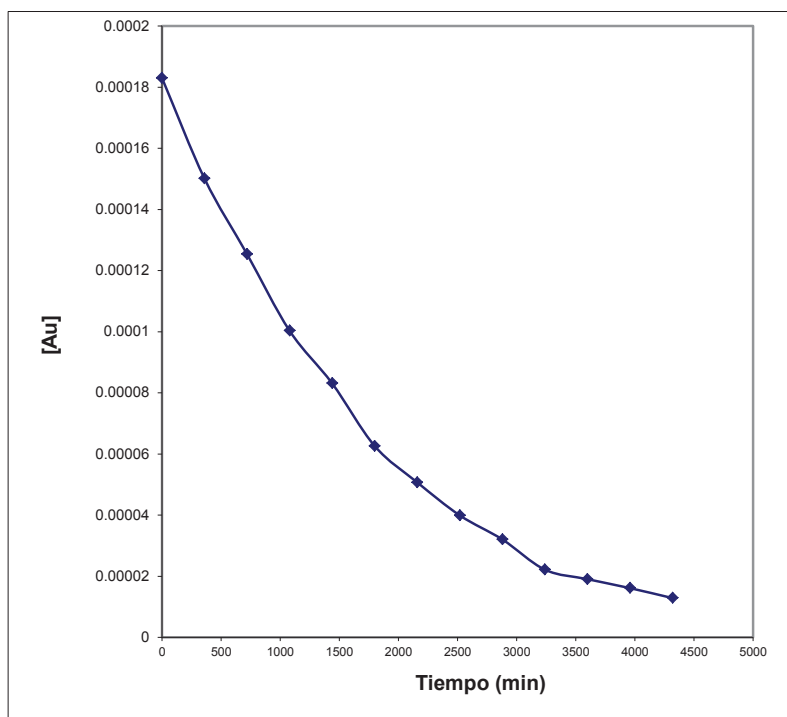
								2.224821935		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 $y=k_0t$	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	n=opt $k_{opt} * t$	k_{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000113094	0.0000699	0.000000194	0.4813	0.00134	3377.7212	9.382559	2.4802E+04	68.8947	0.000147858
720	0.000073932	0.0001091	0.000000151	0.9063	0.00126	8061.4619	11.196475	6.2843E+04	87.2815	0.000119465
1080	0.000057279	0.0001257	0.000000116	1.1616	0.00108	11993.9245	11.105486	9.7237E+04	90.0345	9.6524E-05
1440	0.000049776	0.0001332	0.000000093	1.3020	0.00090	14625.5223	10.156613	1.2128E+05	84.2208	7.79885E-05
1800	0.000043920	0.0001391	0.000000077	1.4271	0.00079	17304.1894	9.613439	1.4649E+05	81.3823	6.30123E-05
2160	0.000038613	0.0001444	0.000000067	1.5559	0.00072	20433.5327	9.459969	1.7679E+05	81.8487	5.0912E-05
2520	0.000032940	0.0001501	0.000000060	1.7148	0.00068	24893.7462	9.878471	2.2141E+05	87.8628	4.11353E-05
2880	0.000028182	0.0001548	0.000000054	1.8708	0.00065	30019.1612	10.423320	2.7454E+05	95.3253	3.32361E-05
3240	0.000027267	0.0001557	0.000000048	1.9038	0.00059	31209.8874	9.632681	2.8714E+05	88.6226	2.68537E-05
3600	0.000025254	0.0001577	0.000000044	1.9805	0.00055	34133.2066	9.481446	3.1846E+05	88.4607	2.1697E-05
3960	0.000023790	0.0001592	0.000000040	2.0402	0.00052	36569.9874	9.234845	3.4497E+05	87.1135	1.75305E-05
4320	0.000023186	0.0001598	0.000000037	2.0659	0.00048	37664.9938	8.718749	3.5700E+05	82.6381	1.41641E-05
		promedio	0.000000082		0.00080		9.857004		85.3071	
		devst	0.000000049		0.00029		0.743454		6.4834	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.224821935
k = 4.9987E-08	0 5.9231E-04	0 9.4615	0 86.813	0
5.1249E-09	#N/A 3.7464E-05	#N/A 0.1603	#N/A 1.126	#N/A
-0.0459	4.7037E-05 0.7105	0.3439 0.9867	1471.4416 0.9929071	1.0338E+04
-0.5267	12 29.4501	12 887.4722	12 1679.83	12
-1.1653E-09	2.6550E-08 3.4820	1.4188 1.9215E+09	2.5982E+07 1.7954E+11	1.2826E+09
9.754	15.810	59.017	77.071	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.9: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con pre-aireación



Caso 3. Pre-tratamiento con Pre-aireación

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $5 \cdot 10^{-8}$ y un k de $2,9 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1.

Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 2, donde nos da un $k = 9,7$ dándonos un k óptimo igual a 63 con un orden óptimo de 2,189, de donde podemos decir que la velocidad cinética de la reacción del oro es demasiado alto por lo cual se desechan estas pruebas.

CASO 1

Tabla N° 3.10: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación

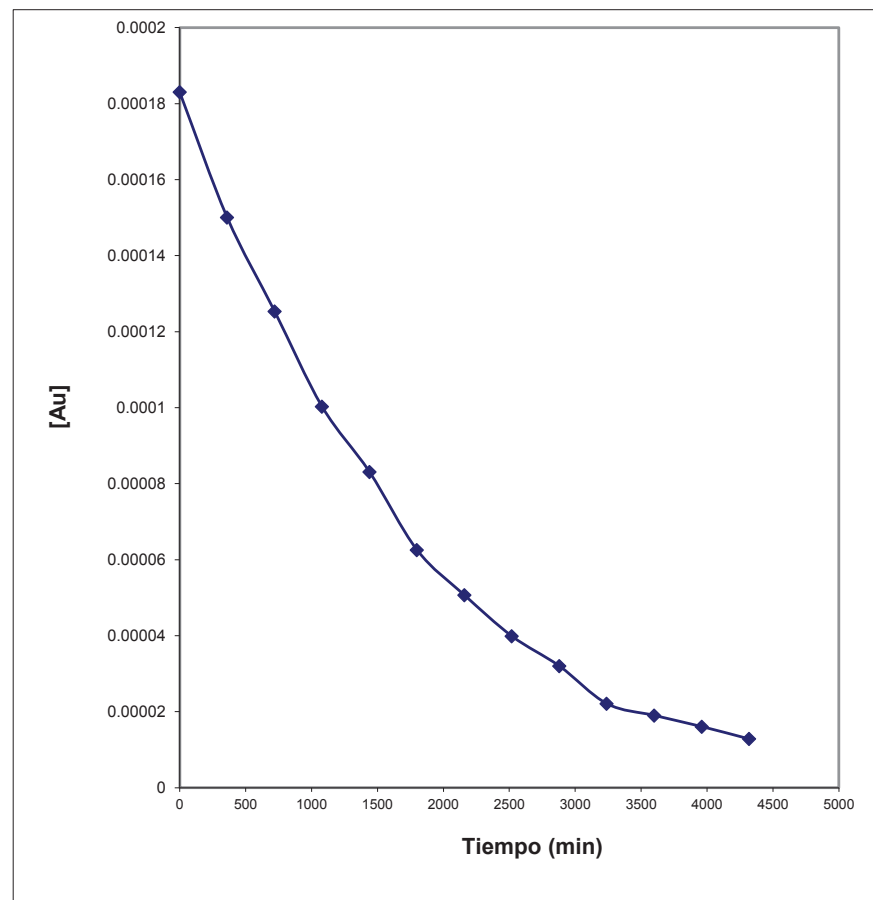
								1.73917886		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000137250	0.0000458	0.000000127	0.2877	0.00080	1821.4936	5.059705	185.6196	5.1561E-01	0.0001545
720	0.000110715	0.0000723	0.000000100	0.5025	0.00070	3567.7189	4.955165	352.3962	4.8944E-01	0.000130439
1080	0.000091500	0.0000915	0.000000085	0.6931	0.00064	5464.4809	5.059705	524.2520	4.8542E-01	0.000110125
1440	0.000078690	0.0001043	0.000000072	0.8440	0.00059	7243.6142	5.030288	678.4692	4.7116E-01	9.29746E-05
1800	0.000065880	0.0001171	0.000000065	1.0217	0.00057	9714.6327	5.397018	883.6434	4.9091E-01	7.84951E-05
2160	0.000054900	0.0001281	0.000000059	1.2040	0.00056	12750.4554	5.902989	1124.1462	5.2044E-01	6.62706E-05
2520	0.000047580	0.0001354	0.000000054	1.3471	0.00053	15552.7533	6.171727	1336.9758	5.3055E-01	5.59499E-05
2880	0.000043920	0.0001391	0.000000048	1.4271	0.00050	17304.1894	6.008399	1466.2135	5.0910E-01	4.72365E-05
3240	0.000040260	0.0001427	0.000000044	1.5141	0.00047	19374.0686	5.979651	1615.6543	4.9866E-01	3.98801E-05
3600	0.000036600	0.0001464	0.000000041	1.6094	0.00045	21857.9235	6.071645	1790.7646	4.9743E-01	3.36693E-05
3960	0.000032940	0.0001501	0.000000038	1.7148	0.00043	24893.7462	6.286300	1999.2522	5.0486E-01	2.84258E-05
4320	0.000030433	0.0001526	0.000000035	1.7940	0.00042	27394.5866	6.341339	2166.9312	5.0160E-01	2.39989E-05
		promedio	0.000000064		0.00055		5.688661		5.0127E-01	
		devst	0.000000028		0.00012		0.543033		1.6324E-02	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.73917886
k = 4.4987E-08	0 4.7025E-04	0 6.0778	0 5.0373E-01	0
3.3720E-09	#N/A 1.6818E-05	#N/A 0.0895	#N/A 3.1833E-03	#N/A
0.5529	3.0949E-05 0.9271	0.1544 0.9917	821.1608 0.9983039	2.9217E+01
14.8383	12 152.7082	12 1435.6769	12 7063.03	12
1.4213E-08	1.1494E-08 3.6386	0.2859 9.6808E+08	8.0917E+06 6.0293E+06	1.0244E+04
13.341	27.961	67.933	158.240	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.10: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.11: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación

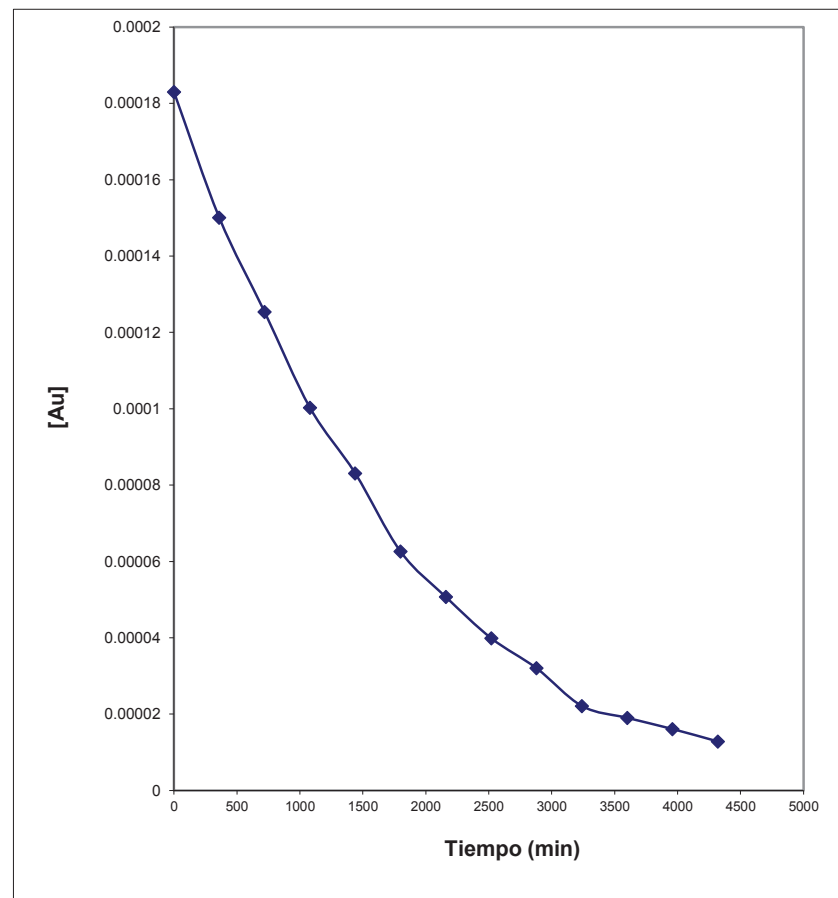
								1.902900799		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000139080	0.0000439	0.000000122	0.2744	0.00076	1725.6255	4.793404	737.8967	2.0497E+00	0.000155217
720	0.000111996	0.0000710	0.000000099	0.4910	0.00068	3464.4094	4.811680	1464.0633	2.0334E+00	0.000131652
1080	0.000092232	0.0000908	0.000000084	0.6852	0.00063	5377.7431	4.979392	2247.4058	2.0809E+00	0.000111664
1440	0.000080520	0.0001025	0.000000071	0.8210	0.00057	6954.7938	4.829718	2882.9034	2.0020E+00	9.47115E-05
1800	0.000067710	0.0001153	0.000000064	0.9943	0.00055	9304.3864	5.169104	3815.5247	2.1197E+00	8.03324E-05
2160	0.000054900	0.0001281	0.000000059	1.2040	0.00056	12750.4554	5.902989	5158.0263	2.3880E+00	6.81363E-05
2520	0.000048495	0.0001345	0.000000053	1.3280	0.00053	15156.2017	6.014366	6080.3824	2.4129E+00	5.77919E-05
2880	0.000044286	0.0001387	0.000000048	1.4188	0.00049	17116.0186	5.943062	6824.0147	2.3694E+00	4.90179E-05
3240	0.000040992	0.0001420	0.000000044	1.4961	0.00046	18930.5230	5.842754	7506.9261	2.3170E+00	4.1576E-05
3600	0.000036966	0.0001460	0.000000041	1.5995	0.00044	21587.4046	5.996501	8498.1079	2.3606E+00	3.52639E-05
3960	0.000035502	0.0001475	0.000000037	1.6399	0.00041	22702.9463	5.733067	8911.4080	2.2504E+00	2.99101E-05
4320	0.000034294	0.0001487	0.000000034	1.6745	0.00039	23695.1389	5.484986	9277.6728	2.1476E+00	2.53692E-05
		promedio	0.000000063		0.00054		5.458419		2.2110E+00	
		devst	0.000000027		0.00011		0.506677		1.5457E-01	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.902900799
k = 4.4486E-08	0 4.5740E-04	0 5.7221	0 2.2693E+00	0
3.3572E-09	#N/A 1.8359E-05	#N/A 0.0838	#N/A 3.1305E-02	#N/A
0.5512	3.0813E-05 0.9074	0.1685 0.9914	769.5697 0.9921107	2.8733E+02
14.7395	12 117.6509	12 1383.3584	12 1509.04	12
1.3994E-08	1.1393E-08 3.3403	0.3407 8.1928E+08	7.1069E+06 1.2458E+08	9.9068E+05
13.251	24.915	68.245	72.490	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.11: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.12: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación

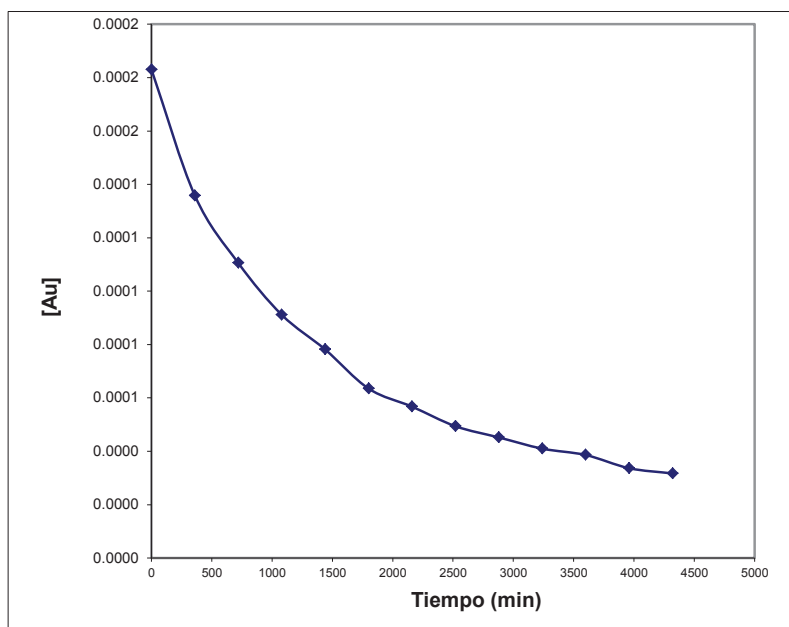
								1.804569871		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000135786	0.0000472	0.000000131	0.2984	0.00083	1900.0486	5.277913	342.8499	9.5236E-01	0.000154948
720	0.000110532	0.0000725	0.000000101	0.5042	0.00070	3582.6729	4.975935	632.0696	8.7787E-01	0.000131196
1080	0.000091134	0.0000919	0.000000085	0.6972	0.00065	5508.3723	5.100345	950.4454	8.8004E-01	0.00011085
1440	0.000078141	0.0001049	0.000000073	0.8510	0.00059	7332.8982	5.092290	1242.1017	8.6257E-01	9.40567E-05
1800	0.000063501	0.0001195	0.000000066	1.0584	0.00059	10283.3026	5.712946	1697.2448	9.4291E-01	7.96387E-05
2160	0.000056730	0.0001263	0.000000058	1.1712	0.00054	12162.8768	5.630961	1978.3897	9.1592E-01	6.74309E-05
2520	0.000049410	0.0001336	0.000000053	1.3093	0.00052	14774.3372	5.862832	2359.5135	9.3631E-01	5.70944E-05
2880	0.000045201	0.0001378	0.000000048	1.3984	0.00049	16658.9235	5.784348	2628.5609	9.1269E-01	4.83424E-05
3240	0.000040992	0.0001420	0.000000044	1.4961	0.00046	18930.5230	5.842754	2946.9865	9.0956E-01	4.0932E-05
3600	0.000038613	0.0001444	0.000000040	1.5559	0.00043	20433.5327	5.675981	3154.4735	8.7624E-01	3.46575E-05
3960	0.000033672	0.0001493	0.000000038	1.6928	0.00043	24233.7847	6.119643	3668.9873	9.2651E-01	2.93449E-05
4320	0.000031696	0.0001513	0.000000035	1.7533	0.00041	26085.2415	6.038250	3914.9206	9.0623E-01	2.48466E-05
		promedio	0.000000064		0.00055		5.592850		9.0827E-01	
		devst	0.000000029		0.00013		0.386545		2.8892E-02	

REGRESION LINEAL

	n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.80456987
k =	4.4701E-08	0 4.6221E-04	0 5.8560	0 9.0912E-01	1
	3.4244E-09	#N/A 1.7702E-05	#N/A 0.0689	#N/A 5.7872E-03	0
	0.5248	3.1430E-05 0.9142	0.1625 0.9945	632.2868 0.9982703	5.3116E+01
	13.2503	12 127.9376	12 2183.4467	12 6925.79	12
	1.3089E-09	1.1854E-08 3.3774	0.3168 8.7291E+08	4.7974E+06	1.9540E+07 3.3856E+04
	13.054	26.110	85.006	157.091	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 3.12: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua oxigenada y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

Caso 3. Pre-tratamiento con Agua Oxigenada y Pre-aireación

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $2,8 \cdot 10^{-8}$ y un k de $1,2 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1.

Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 1, donde nos da un $k = 4,7 \cdot 10^{-4}$ dándonos un k óptimo igual a 0,5373 con un orden óptimo de 1,739.

CASO 1

Tabla N° 3.13: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio

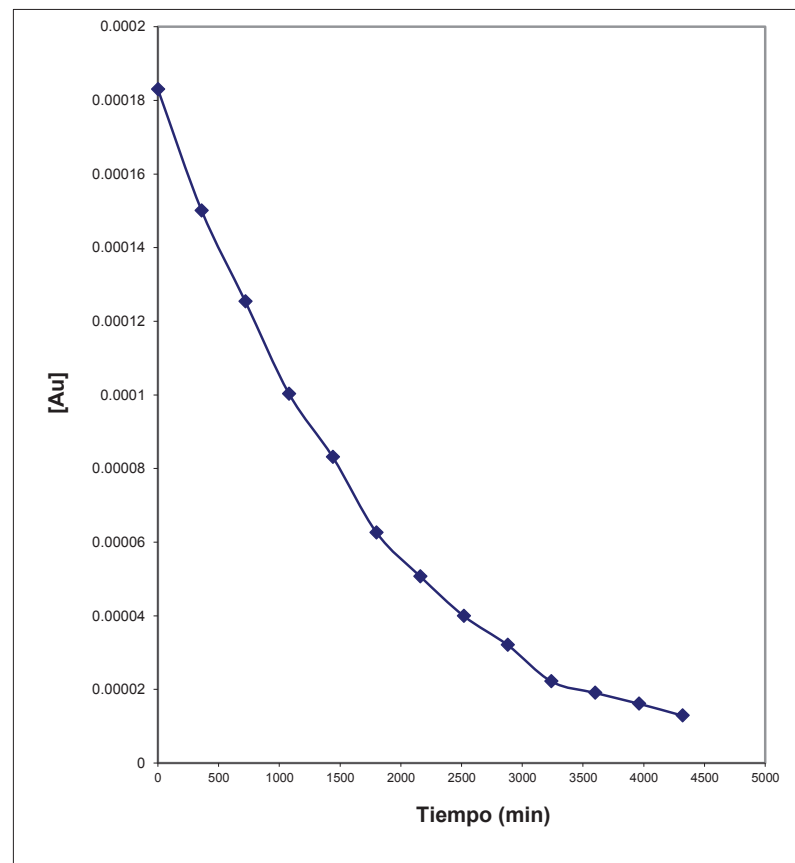
								4.207606951		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000116022	0.0000670	0.000000186	0.4557	0.00127	3154.5741	8.76271	1.0062E+12	2.7950E+09	0.000154678
720	0.000079056	0.0001039	0.000000144	0.8393	0.00117	7184.7804	9.97886	4.1800E+12	5.8055E+09	0.000130739
1080	0.000064050	0.0001190	0.000000110	1.0498	0.00097	10148.3216	9.39659	8.5039E+12	7.8740E+09	0.000110506
1440	0.000055083	0.0001279	0.000000089	1.2006	0.00083	12689.9406	8.81246	1.3984E+13	9.7111E+09	9.34032E-05
1800	0.000049776	0.0001332	0.000000074	1.3020	0.00072	14625.5223	8.12529	1.9470E+13	1.0817E+10	7.89477E-05
2160	0.000046482	0.0001365	0.000000063	1.3704	0.00063	16049.2234	7.43020	2.4326E+13	1.1262E+10	6.67294E-05
2520	0.000045384	0.0001376	0.000000055	1.3943	0.00055	16569.7162	6.57528	2.6289E+13	1.0432E+10	5.64021E-05
2880	0.000043920	0.0001391	0.000000048	1.4271	0.00050	17304.1894	6.00840	2.9239E+13	1.0152E+10	4.7673E-05
3240	0.000042273	0.0001407	0.000000043	1.4653	0.00045	18191.2805	5.61459	3.3092E+13	1.0214E+10	4.02949E-05
3600	0.000041358	0.0001416	0.000000039	1.4872	0.00041	18714.6380	5.19851	3.5520E+13	9.8667E+09	3.40587E-05
3960	0.000039894	0.0001431	0.000000036	1.5233	0.00038	19601.9452	4.94999	3.9910E+13	1.0078E+10	2.87876E-05
4320	0.000039235	0.0001438	0.000000033	1.5399	0.00036	20022.9666	4.63495	4.2117E+13	9.7494E+09	2.43323E-05
		promedio	0.000000077		0.00069		7.12399		9.0631E+09	
		devst	0.000000048		0.00031		1.86841		2.4528E+09	

REGRESION LINEAL

	n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.207606951
k =	4.5670E-08	0 4.6706E-04	0 5.6809	0 1.0041E+10	0
	5.0497E-09	#N/A 4.0818E-05	#N/A 0.3427	#N/A 1.8368E+08	#N/A
	-0.2515	4.6348E-05 0.3585	0.3746 0.7633	3145.2080 0.9868688	1.6858E+12
	-2.4113	12 6.7060	12 38.7034	12 901.85	12
	-5.1797E-09	2.5777E-08 0.9412	1.6843 3.8287E+08	1.1871E+08 2.5631E+27	3.4105E+25
	9.044	11.442	16.578	54.664	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.13: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.14: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio

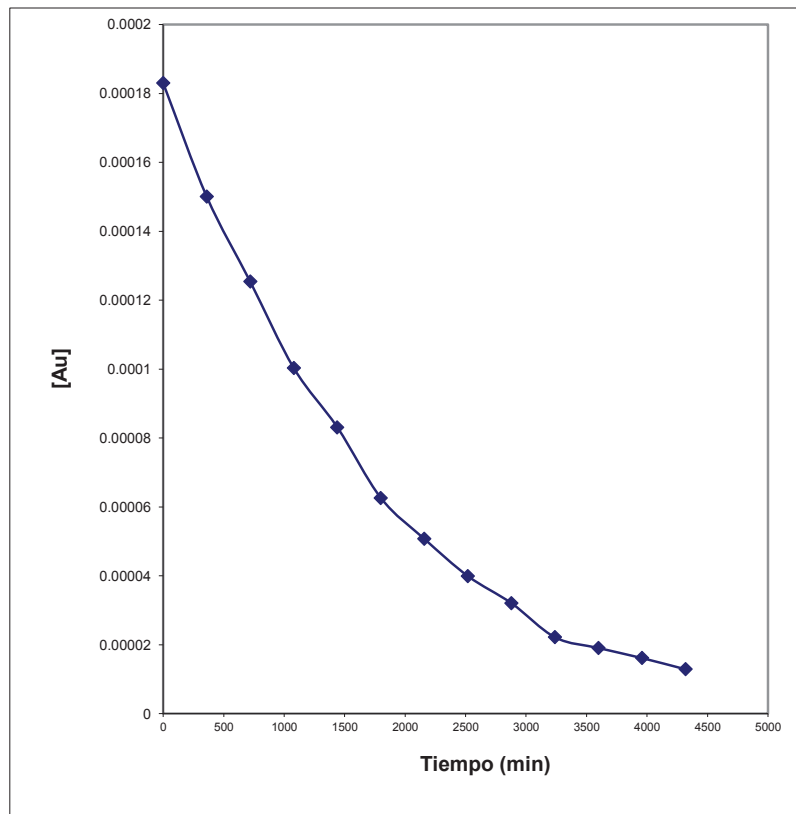
								4.06326065		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000124257	0.0000587	0.000000163	0.3871	0.00108	2583.3555	7.175987	2.0875E+11	5.7985E+08	0.00015547
720	0.000083814	0.0000992	0.000000138	0.7809	0.00108	6466.7001	8.981528	9.1225E+11	1.2670E+09	0.000132082
1080	0.000066978	0.0001160	0.000000107	1.0051	0.00093	9465.7947	8.764625	1.9038E+12	1.7628E+09	0.000112212
1440	0.000056730	0.0001263	0.000000088	1.1712	0.00081	12162.8768	8.446442	3.2271E+12	2.2410E+09	9.53318E-05
1800	0.000052704	0.0001303	0.000000072	1.2448	0.00069	13509.4111	7.505228	4.0666E+12	2.2592E+09	8.09906E-05
2160	0.000049044	0.0001340	0.000000062	1.3168	0.00061	14925.3731	6.909895	5.0923E+12	2.3575E+09	6.88068E-05
2520	0.000047580	0.0001354	0.000000054	1.3471	0.00053	15552.7533	6.171727	5.5966E+12	2.2209E+09	5.84559E-05
2880	0.000045750	0.0001373	0.000000048	1.3863	0.00048	16393.4426	5.692168	6.3228E+12	2.1954E+09	4.96621E-05
3240	0.000044286	0.0001387	0.000000043	1.4188	0.00044	17116.0186	5.282722	6.9948E+12	2.1589E+09	4.21912E-05
3600	0.000042822	0.0001402	0.000000039	1.4524	0.00040	17888.0015	4.968889	7.7634E+12	2.1565E+09	3.58441E-05
3960	0.000041541	0.0001415	0.000000036	1.4828	0.00037	18608.1221	4.699021	8.5293E+12	2.1539E+09	3.04519E-05
4320	0.000040589	0.0001424	0.000000033	1.5060	0.00035	19172.7361	4.438133	9.1638E+12	2.1213E+09	2.58709E-05
		promedio	0.000000074		0.00065		6.586364		1.9562E+09	
		devst	0.000000043		0.00027		1.615334		5.2358E+08	

REGRESION LINEAL

	n=0	n=1	n=2	n=Opt	4.063260646
k =	4.4985E-08	0 4.5286E-04	0 5.3734	0 2.1610E+09	0
	4.8213E-09	#N/A 3.8191E-05	#N/A 0.3089	#N/A 3.4615E+07	#N/A
	-0.1233	4.4251E-05 0.4284	0.3505 0.7920	2835.1801 0.9898806	3.1771E+11
	-1.3170	12 8.9920	12 45.6897	12 1173.84	12
	-2.5790E-09	2.3498E-08 1.1048	1.4744 3.6726E+08	9.6459E+07 1.1848E+26	1.2112E+24
	9.330	11.858	17.395	62.429	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.14: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

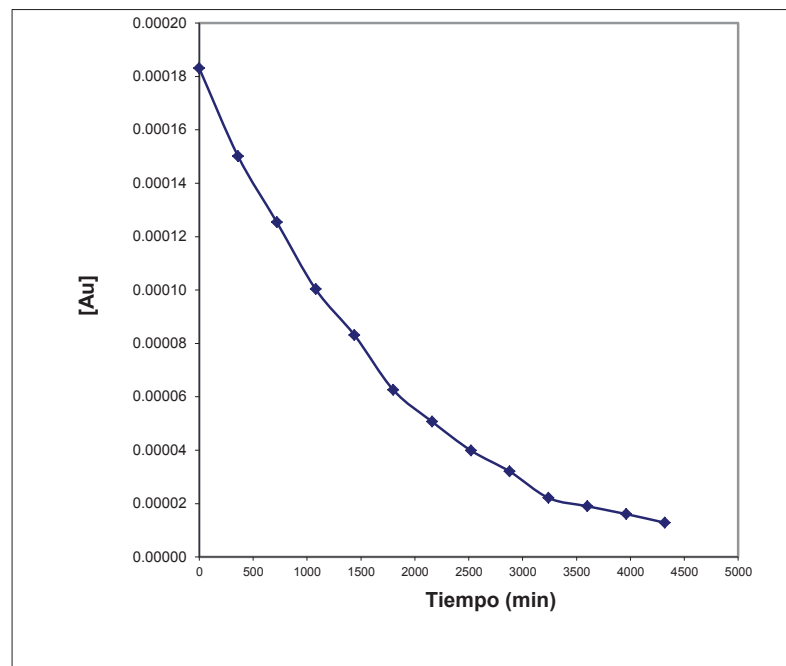
Tabla N° 3.15: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio

								4.49016035		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 $y=k_0t$	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	n=opt $k_{opt} * t$	k_{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000124440	0.0000586	0.000000163	0.3857	0.00107	2571.5204	7.143112	9.0249E+12	2.5069E+10	0.000155348
720	0.000084363	0.0000986	0.000000137	0.7744	0.00108	6389.0568	8.873690	4.4198E+13	6.1387E+10	0.000131874
1080	0.000067893	0.0001151	0.000000107	0.9916	0.00092	9264.5781	8.578313	9.7925E+13	9.0671E+10	0.000111947
1440	0.000055266	0.0001277	0.000000089	1.1973	0.00083	12629.8267	8.770713	2.0415E+14	1.4177E+11	9.50312E-05
1800	0.000049776	0.0001332	0.000000074	1.3020	0.00072	14625.5223	8.125290	2.9553E+14	1.6418E+11	8.06715E-05
2160	0.000049044	0.0001340	0.000000062	1.3168	0.00061	14925.3731	6.909895	3.1138E+14	1.4416E+11	6.84816E-05
2520	0.000047031	0.0001360	0.000000054	1.3587	0.00054	15798.0906	6.269084	3.6093E+14	1.4323E+11	5.81337E-05
2880	0.000045018	0.0001380	0.000000048	1.4024	0.00049	16748.8560	5.815575	4.2099E+14	1.4618E+11	4.93494E-05
3240	0.000043920	0.0001391	0.000000043	1.4271	0.00044	17304.1894	5.340799	4.5916E+14	1.4172E+11	4.18924E-05
3600	0.000042273	0.0001407	0.000000039	1.4653	0.00041	18191.2805	5.053133	5.2514E+14	1.4587E+11	3.55623E-05
3960	0.000041541	0.0001415	0.000000036	1.4828	0.00037	18608.1221	4.699021	5.5835E+14	1.4100E+11	3.01886E-05
4320	0.000041395	0.0001416	0.000000033	1.4863	0.00034	18693.0261	4.327089	5.6530E+14	1.3086E+11	2.5627E-05
		promedio	0.000000074		0.00065		6.658810		1.2301E+11	
		devst	0.000000042		0.00027		1.650192		4.1706E+10	

REGRESION LINEAL

	n=0		n=1		n=2		n=Opt	4.490160349
k =	4.5094E-08		0 4.5506E-04		0 5.4170		0 1.3999E+11	0
	4.8581E-09	#N/A	3.9215E-05	#N/A	0.3353	#N/A	3.4701E+09	#N/A
	-0.1284	4.4589E-05	0.4074	0.3599	0.7593	3077.8944	0.9766627	3.1850E+13
	-1.3654	12	8.2509	12	37.8557	12	502.20	12
	-2.7147E-09	2.3858E-08	1.0689	1.5546	3.5862E+08	1.1368E+08	5.0943E+29	1.2173E+28
	9.282		11.604		16.153		40.342	

Gráfico N° 3.15: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $4.8 \cdot 10^{-8}$ y un k de $3.1 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1.

Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 2, donde nos da un $k = 5.68$ dándonos un k óptimo igual a $1 \cdot 10^{10}$ con un orden óptimo de 4.207, de donde podemos decir que la velocidad cinética de la reacción es demasiado alta comparada con la velocidad cinética del oro que es baja.

CASO 1

Tabla N° 3.16: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio

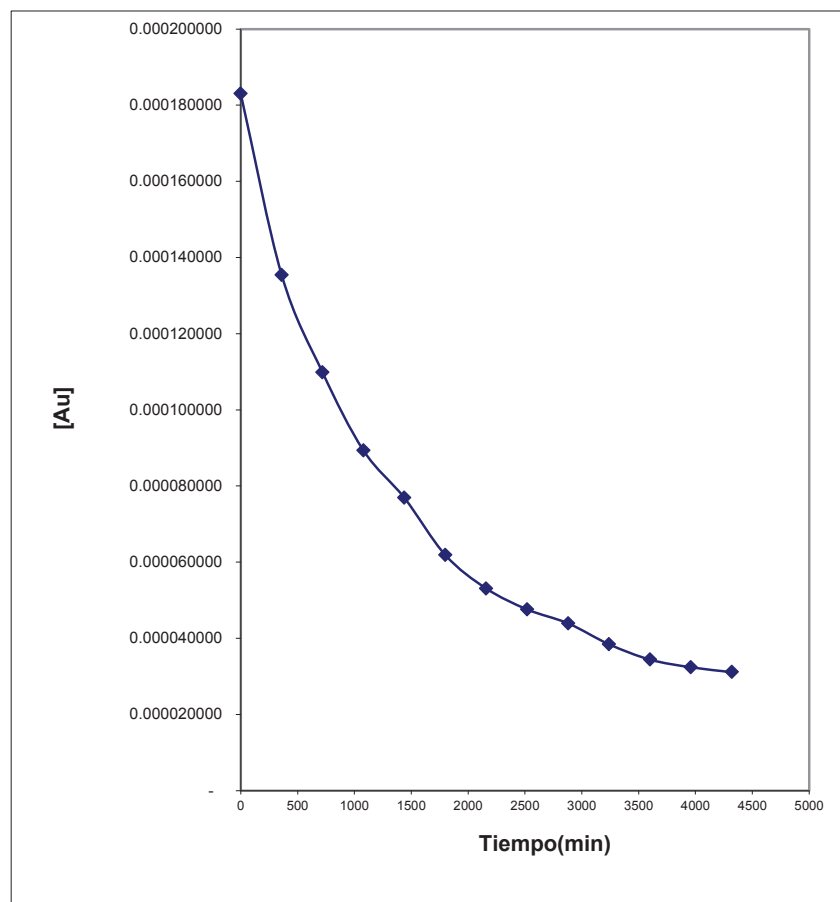
								1.81152346		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0.0000E+00		0.000183
360	0.000135420	0.0000476	0.000000132	0.3011	0.00084	1919.9527	5.333202	3.6810E+02	1.022504	0.0001541
720	0.000109800	0.0000732	0.000000102	0.5108	0.00071	3642.9872	5.059705	6.8313E+02	0.948794	0.0001298
1080	0.000089304	0.0000937	0.000000087	0.7174	0.00066	5733.2258	5.308542	1.0506E+03	0.972780	0.0001093
1440	0.000076860	0.0001061	0.000000074	0.8675	0.00060	7546.1879	5.240408	1.3589E+03	0.943667	9.202E-05
1800	0.000061854	0.0001211	0.000000067	1.0847	0.00060	10702.6223	5.945901	1.8772E+03	1.042868	7.749E-05
2160	0.000053070	0.0001299	0.000000060	1.2379	0.00057	13378.5566	6.193776	2.3016E+03	1.065565	6.525E-05
2520	0.000047580	0.0001354	0.000000054	1.3471	0.00053	15552.7533	6.171727	2.6381E+03	1.046874	5.495E-05
2880	0.000043920	0.0001391	0.000000048	1.4271	0.00050	17304.1894	6.008399	2.9044E+03	1.008481	4.627E-05
3240	0.000038430	0.0001446	0.000000045	1.5606	0.00048	20556.8566	6.344709	3.3891E+03	1.046004	3.897E-05
3600	0.000034404	0.0001486	0.000000041	1.6713	0.00046	23601.9068	6.556085	3.8325E+03	1.064573	3.281E-05
3960	0.000032391	0.0001506	0.000000038	1.7316	0.00044	25408.2924	6.416235	4.0913E+03	1.033164	2.763E-05
4320	0.000031110	0.0001519	0.000000035	1.7720	0.00041	26679.5243	6.175816	4.2718E+03	0.988840	2.327E-05
		promedio	0.000000065		0.00057		5.896209		1.0153427	
		devst	0.000000029		0.00012		0.518464		0.0427828	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.811523461
k = 4.5350E-08	0 4.7740E-04	0 6.2323	0 1.0269730	0
3.5008E-09	#N/A 1.8522E-05	#N/A 0.0811	#N/A 0.0091140	#N/A
0.5184	3.2131E-05 0.9127	0.1700 0.9934	744.2108 0.9966777	8.3650E+01
12.9148	12 125.4326	12 1797.5734	12 3599.95	12
1.3333E-08	1.2389E-08 3.6249	0.3468 9.9559E+08	6.6462E+06 2.5190E+07	8.3968E+04
12.954	25.775	76.862	112.681	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.16: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.17: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio

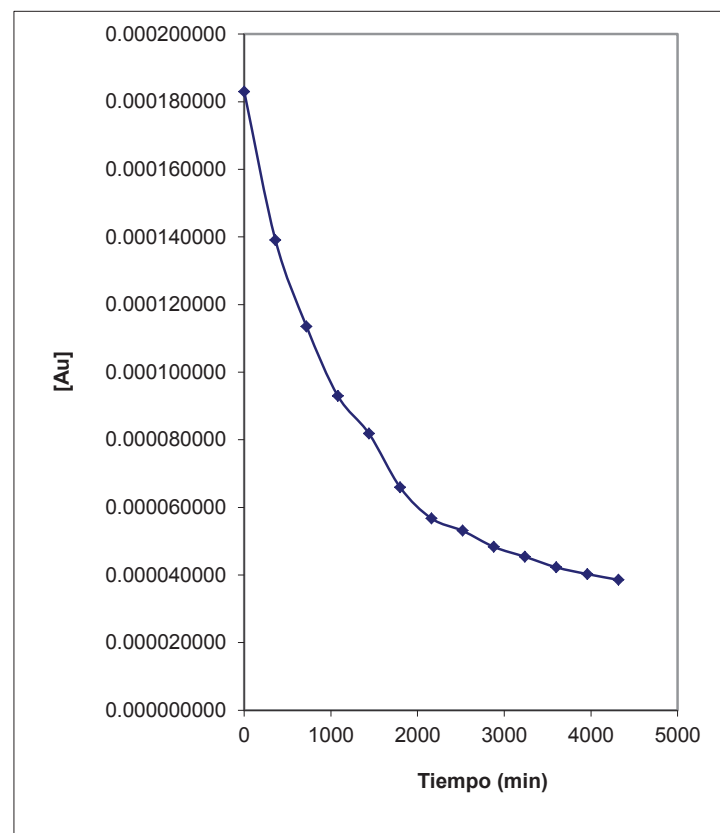
								2.20538079		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000139080	0.0000439	0.000000122	0.2744	0.00076	1725.6255	4.793404	1.0409E+04	28.914818	0.000156788
720	0.000113460	0.0000695	0.000000097	0.4780	0.00066	3349.1980	4.651664	2.0689E+04	28.735102	0.000134331
1080	0.000092964	0.0000900	0.000000083	0.6773	0.00063	5292.3712	4.900344	3.3512E+04	31.029666	0.00011509
1440	0.000081801	0.0001012	0.000000070	0.8052	0.00056	6760.3086	4.694659	4.3525E+04	30.225932	9.86053E-05
1800	0.000065880	0.0001171	0.000000065	1.0217	0.00057	9714.6327	5.397018	6.4415E+04	35.786238	8.44817E-05
2160	0.000056730	0.0001263	0.000000058	1.1712	0.00054	12162.8768	5.630961	8.2381E+04	38.139515	7.23811E-05
2520	0.000053070	0.0001299	0.000000052	1.2379	0.00049	13378.5566	5.308951	9.1500E+04	36.309397	6.20137E-05
2880	0.000048312	0.0001347	0.000000047	1.3318	0.00046	15234.3103	5.289691	1.0565E+05	36.684587	5.31312E-05
3240	0.000045384	0.0001376	0.000000042	1.3943	0.00043	16569.7162	5.114110	1.1600E+05	35.802270	4.5521E-05
3600	0.000042273	0.0001407	0.000000039	1.4653	0.00041	18191.2805	5.053133	1.2874E+05	35.760621	3.90009E-05
3960	0.000040260	0.0001427	0.000000036	1.5141	0.00038	19374.0686	4.892442	1.3814E+05	34.885017	3.34146E-05
4320	0.000038558	0.0001444	0.000000033	1.5573	0.00036	20470.4743	4.738536	1.4695E+05	34.015461	2.86285E-05
		promedio	0.000000062		0.00052		5.038743		33.8573853	
		devst	0.000000027		0.00012		0.313348		3.2529516	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.205380788
k = 4.3322E-08	0 4.2942E-04	0 5.0351	0 35.2257677	0
3.3983E-09	#N/A 2.0084E-05	#N/A 0.0736	#N/A 0.4464284	#N/A
0.5066	3.1190E-05 0.8678	0.1843 0.9907	675.1746 0.9934087	4.0974E+03
12.3211	12 78.7577	12 1271.7185	12 1808.58	12
1.1986E-08	1.1674E-08 2.6762	0.4078 5.7973E+08	5.4703E+06 3.0364E+10	2.0147E+08
12.748	21.381	68.447	78.906	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.17: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.18: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio

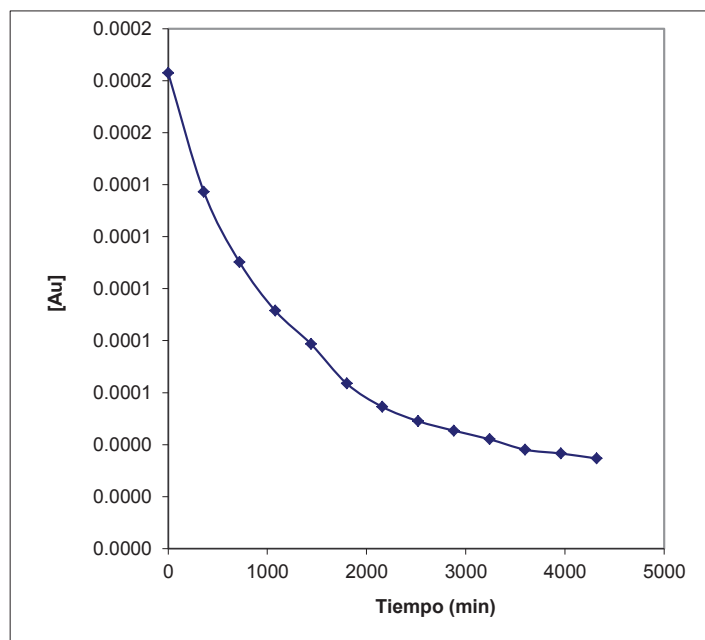
								2.034061487		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000137250	0.0000458	0.000000127	0.2877	0.00080	1821.4936	5.059705	2.4545E+03	6.818095	0.000155398
720	0.000110166	0.0000728	0.000000101	0.5075	0.00070	3612.7299	5.017680	4.8890E+03	6.790231	0.000131959
1080	0.000091500	0.0000915	0.000000085	0.6931	0.00064	5464.4809	5.059705	7.4230E+03	6.873150	0.000112056
1440	0.000078690	0.0001043	0.000000072	0.8440	0.00059	7243.6142	5.030288	9.8716E+03	6.855258	9.51541E-05
1800	0.000063501	0.0001195	0.000000066	1.0584	0.00059	10283.3026	5.712946	1.4081E+04	7.822998	8.08019E-05
2160	0.000054534	0.0001285	0.000000059	1.2107	0.00056	12872.7033	5.959585	1.7690E+04	8.189733	6.86144E-05
2520	0.000049044	0.0001340	0.000000053	1.3168	0.00052	14925.3731	5.922767	2.0563E+04	8.159845	5.82652E-05
2880	0.000045384	0.0001376	0.000000048	1.3943	0.00048	16569.7162	5.753374	2.2871E+04	7.941480	4.9477E-05
3240	0.000042090	0.0001409	0.000000043	1.4697	0.00045	18294.1316	5.646337	2.5299E+04	7.808286	4.20144E-05
3600	0.000038064	0.0001449	0.000000040	1.5702	0.00044	20807.0618	5.779739	2.8847E+04	8.013013	3.56773E-05
3960	0.000036600	0.0001464	0.000000037	1.6094	0.00041	21857.9235	5.519678	3.0334E+04	7.660115	3.0296E-05
4320	0.000034697	0.0001483	0.000000034	1.6628	0.00038	23356.4547	5.406587	3.2458E+04	7.513466	2.57265E-05
		promedio	0.000000064		0.00055		5.489032		7.5371391	
		devst	0.000000028		0.00013		0.362794		0.5522883	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.034061487
k = 4.4434E-08	0 4.5416E-04	0 5.6134	0 7.7639991	0
3.4854E-09	#N/A 1.9955E-05	#N/A 0.0625	#N/A 0.0862710	#N/A
0.5028	3.1990E-05 0.8849	0.1831 0.9948	574.0100 0.9948838	7.9182E+02
12.1372	12 92.2999	12 2293.6013	12 2333.47	12
1.2421E-08	1.2280E-08 3.0961	0.4025 7.5571E+08	3.9539E+06 1.4630E+09	7.5237E+06
12.749	22.760	89.756	89.995	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.18: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

Caso 3. Pre-tratamiento con Agua Alcalina y la Adición de Litargirio

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $2,9 \cdot 10^{-8}$ y un k de $1,2 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1. Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 2, donde nos da un $k = 6,23$ dándonos un k óptimo igual a 1,0269 con un orden óptimo de

1,811, de donde podemos decir que la velocidad cinética de cianuración es baja.

CASO 1

Tabla N° 3.19: determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio

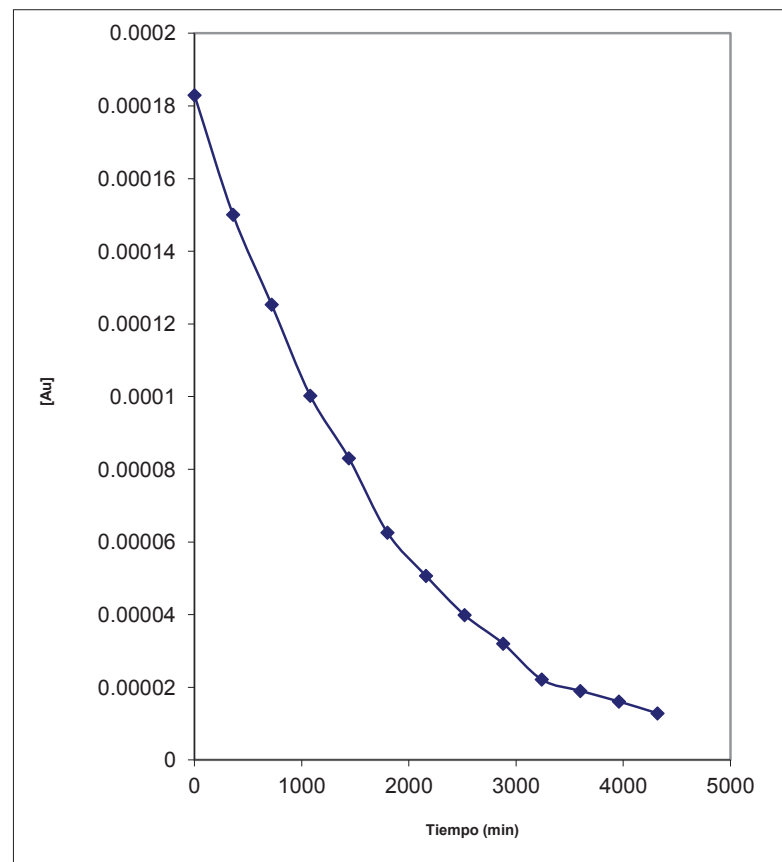
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 $y=k_0t$	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	1.804795389 n=opt $k_{opt} * t$	k_{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000134505	0.0000485	0.000000135	0.3079	0.00086	1970.1870	5.472742	3.5585E+02	0.9885	0.000154161
720	0.000108885	0.0000741	0.000000103	0.5192	0.00072	3719.5206	5.166001	6.5642E+02	0.9117	0.000129866
1080	0.000089670	0.0000933	0.000000086	0.7133	0.00066	5687.5209	5.266223	9.8147E+02	0.9088	0.0001094
1440	0.000077226	0.0001058	0.000000073	0.8627	0.00060	7484.5259	5.197587	1.2686E+03	0.8809	9.21597E-05
1800	0.000062220	0.0001208	0.000000067	1.0788	0.00060	10607.5217	5.893068	1.7498E+03	0.9721	7.7636E-05
2160	0.000053436	0.0001296	0.000000060	1.2310	0.00057	13249.4947	6.134025	2.1427E+03	0.9920	6.54012E-05
2520	0.000047946	0.0001351	0.000000054	1.3394	0.00053	15392.3164	6.108062	2.4534E+03	0.9736	5.50945E-05
2880	0.000044103	0.0001389	0.000000048	1.4230	0.00049	17209.7136	5.975595	2.7121E+03	0.9417	4.6412E-05
3240	0.000038430	0.0001446	0.000000045	1.5606	0.00048	20556.8566	6.344709	3.1782E+03	0.9809	3.90979E-05
3600	0.000034038	0.0001490	0.000000041	1.6820	0.00047	23914.4486	6.642902	3.6342E+03	1.0095	3.29363E-05
3960	0.000032940	0.0001501	0.000000038	1.7148	0.00043	24893.7462	6.286300	3.7652E+03	0.9508	2.77458E-05
4320	0.000031110	0.0001519	0.000000035	1.7720	0.00041	26679.5243	6.175816	4.0020E+03	0.9264	2.33733E-05
		promedio	0.000000065		0.00057		5.888586		0.9531	
		devst	0.000000030		0.00013		0.494845		0.0396	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.80479539
k = 4.5307E-08	0 4.7636E-04	0 6.2073	0 0.9596	0
3.5038E-09	#N/A 1.8468E-05	#N/A 0.0856	#N/A 0.0092	#N/A
0.5131	3.2159E-05 0.9125	0.1695 0.9926	785.5808 0.9961231	8.4301E+0
12.6474	12 125.1119	12 1599.1482	12 3083.26	1
1.3080E-08	1.2411E-08 3.5947	0.3448 9.8689E+08 7.4056E+06	2.1911E+07	8.5279E+0
12.931	25.794	72.522	104.478	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.19: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.20: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio

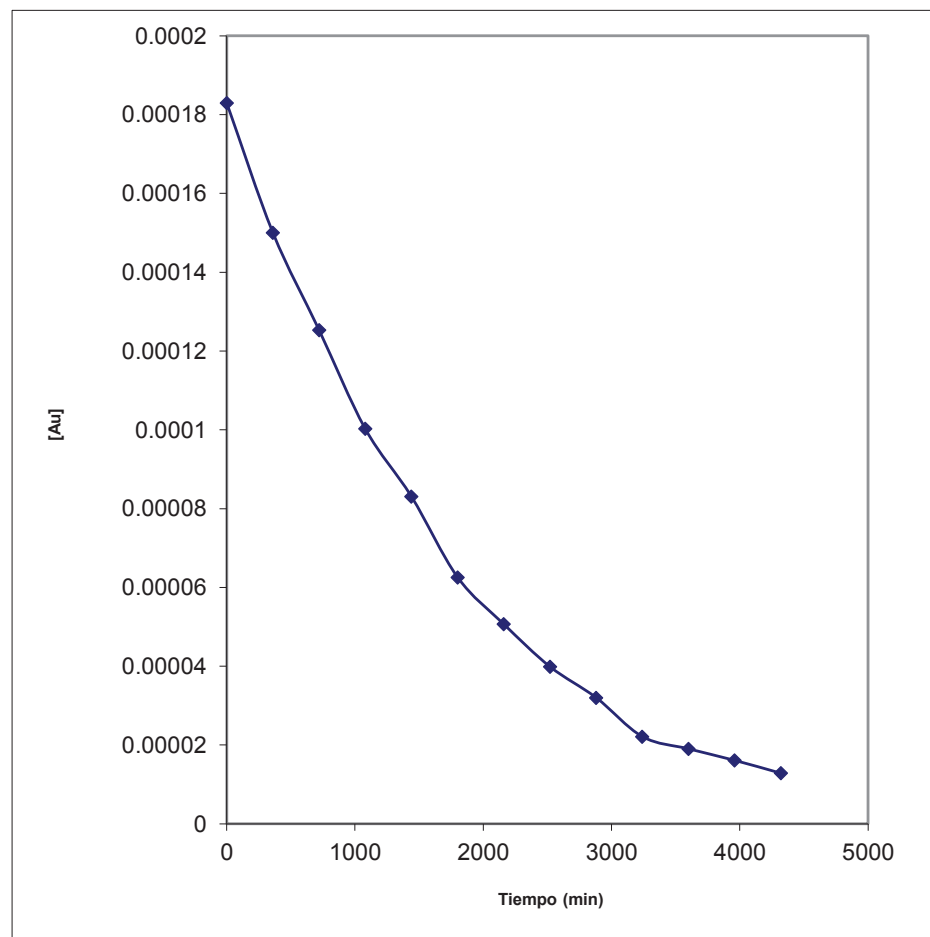
								2.121726983		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000138714	0.0000443	0.000000123	0.2771	0.00077	1744.5968	4.846102	5.0622E+03	14.0616	0.000156976
720	0.000113643	0.0000694	0.000000096	0.4764	0.00066	3335.0052	4.631952	9.8108E+03	13.6262	0.000134653
1080	0.000095160	0.0000878	0.000000081	0.6539	0.00061	5044.1362	4.670496	1.5032E+04	13.9185	0.000115504
1440	0.000082350	0.0001007	0.000000070	0.7985	0.00055	6678.8100	4.638062	2.0124E+04	13.9749	9.90788E-05
1800	0.000067710	0.0001153	0.000000064	0.9943	0.00055	9304.3864	5.169104	2.8475E+04	15.8195	8.49891E-05
2160	0.000058194	0.0001248	0.000000058	1.1457	0.00053	11719.4212	5.425658	3.6319E+04	16.8146	7.2903E-05
2520	0.000053802	0.0001292	0.000000051	1.2242	0.00049	13122.1888	5.207218	4.0939E+04	16.2457	6.25357E-05
2880	0.000049410	0.0001336	0.000000046	1.3093	0.00045	14774.3372	5.129978	4.6435E+04	16.1232	5.36427E-05
3240	0.000045750	0.0001373	0.000000042	1.3863	0.00043	16393.4426	5.059705	5.1874E+04	16.0104	4.60143E-05
3600	0.000042456	0.0001405	0.000000039	1.4610	0.00041	18089.3160	5.024810	5.7623E+04	16.0065	3.94707E-05
3960	0.000040260	0.0001427	0.000000036	1.5141	0.00038	19374.0686	4.892442	6.2013E+04	15.6599	3.38577E-05
4320	0.000038558	0.0001444	0.000000033	1.5573	0.00036	20470.4743	4.738536	6.5781E+04	15.2271	2.90429E-05
		promedio	0.000000062		0.00052		4.952839		15.2907	
		devst	0.000000027		0.00012		0.256861		1.0985	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	2.12172698
k = 4.3127E-08	0 4.2609E-04	0 4.9758	0 15.7403	0
3.3247E-09	#N/A 1.8957E-05	#N/A 0.0569	#N/A 0.1663	#N/A
0.5241	3.0515E-05 0.8812	0.1740 0.9944	522.4794 0.9953721	1.5264E+03
13.2129	12 89.0056	12 2113.3749	12 2580.94	12
1.2304E-08	1.1174E-08 2.6946	0.3633 5.7692E+08	3.2758E+06 6.0134E+09	2.7959E+07
12.971	22.476	87.409	94.646	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.20: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.21: determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio

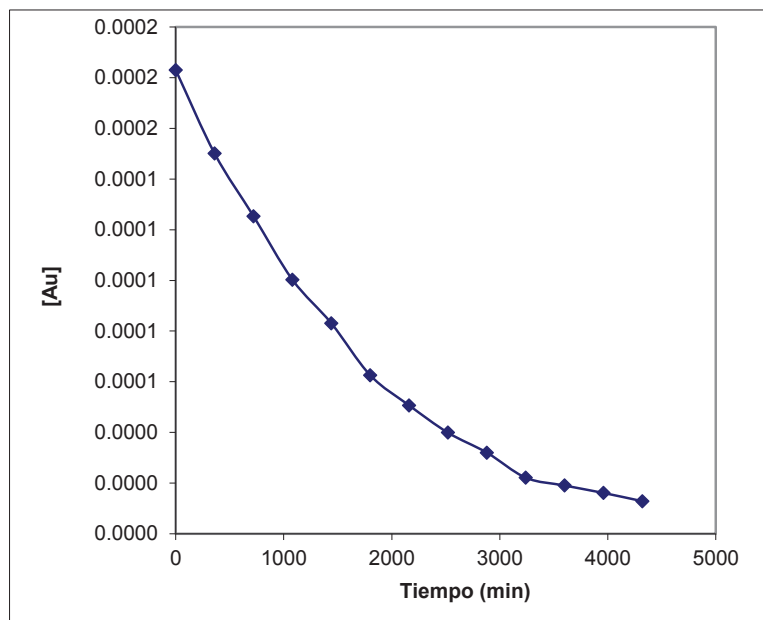
								1.821924937		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 $y=k_0t$	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	n=opt $k_{opt}*t$	k_{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000139995	0.0000430	0.000000119	0.2679	0.00074	1678.6314	4.662865	3.5368E+02	0.9824	0.000155169
720	0.000113094	0.0000699	0.000000097	0.4813	0.00067	3377.7212	4.691279	6.9678E+02	0.9677	0.000131571
1080	0.000093330	0.0000897	0.000000083	0.6733	0.00062	5250.1875	4.861285	1.0615E+03	0.9829	0.000111561
1440	0.000080703	0.0001023	0.000000071	0.8187	0.00057	6926.6322	4.810161	1.3785E+03	0.9573	9.45951E-05
1800	0.000068076	0.0001149	0.000000064	0.9889	0.00055	9224.9838	5.124991	1.8009E+03	1.0005	8.0209E-05
2160	0.000055083	0.0001279	0.000000059	1.2006	0.00056	12689.9406	5.874973	2.4164E+03	1.1187	6.80107E-05
2520	0.000049410	0.0001336	0.000000053	1.3093	0.00052	14774.3372	5.862832	2.7764E+03	1.1017	5.76676E-05
2880	0.000044652	0.0001383	0.000000048	1.4106	0.00049	16930.9325	5.878796	3.1420E+03	1.0910	4.88975E-05
3240	0.000041175	0.0001418	0.000000044	1.4917	0.00046	18822.1008	5.809290	3.4574E+03	1.0671	4.14611E-05
3600	0.000037149	0.0001459	0.000000041	1.5945	0.00044	21454.1441	5.959484	3.8892E+03	1.0803	3.51556E-05
3960	0.000034862	0.0001481	0.000000037	1.6581	0.00042	23220.0467	5.863648	4.1747E+03	1.0542	2.98091E-05
4320	0.000033160	0.0001498	0.000000035	1.7081	0.00040	24692.3346	5.715818	4.4104E+03	1.0209	2.52757E-05
		promedio	0.000000063		0.00054		5.426285		1.0354	
		devst	0.000000026		0.00010		0.540658		0.0568	

REGRESION LINEAL

	n=0	n=1	n=2	n=Opt	1.82192494
k =	4.4477E-08	0 4.5825E-04	0 5.7636	0 1.0572	0
	3.2896E-09	#N/A 1.7093E-05	#N/A 0.0761	#N/A 0.0107	#N/A
	0.5738	3.0193E-05 0.9213	0.1569 0.9932	698.7104 0.9957566	9.7811E+01
	16.1554	12 140.4034	12 1746.6290	12 2815.93	12
	1.4727E-08	1.0939E-08 3.4557	0.2954 8.5270E+08	5.8584E+06 2.6940E+07	1.1480E+05
	13.520	26.809	75.711	99.200	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.21: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con pre-aireación y la adición de litargirio



Fuente: Elaboración propia

Caso 3. Pre-tratamiento con Pre-aireación y la Adición de Litargirio

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $3 \cdot 10^{-8}$ y un k de $1,3 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1.

Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 2, donde nos da un $k = 6,20$ dándonos un k óptimo igual a 0,9596 con un orden óptimo de 1,804, de donde podemos decir que la velocidad cinética de cianuración es baja.

CASO 1

Tabla N° 3.22: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación

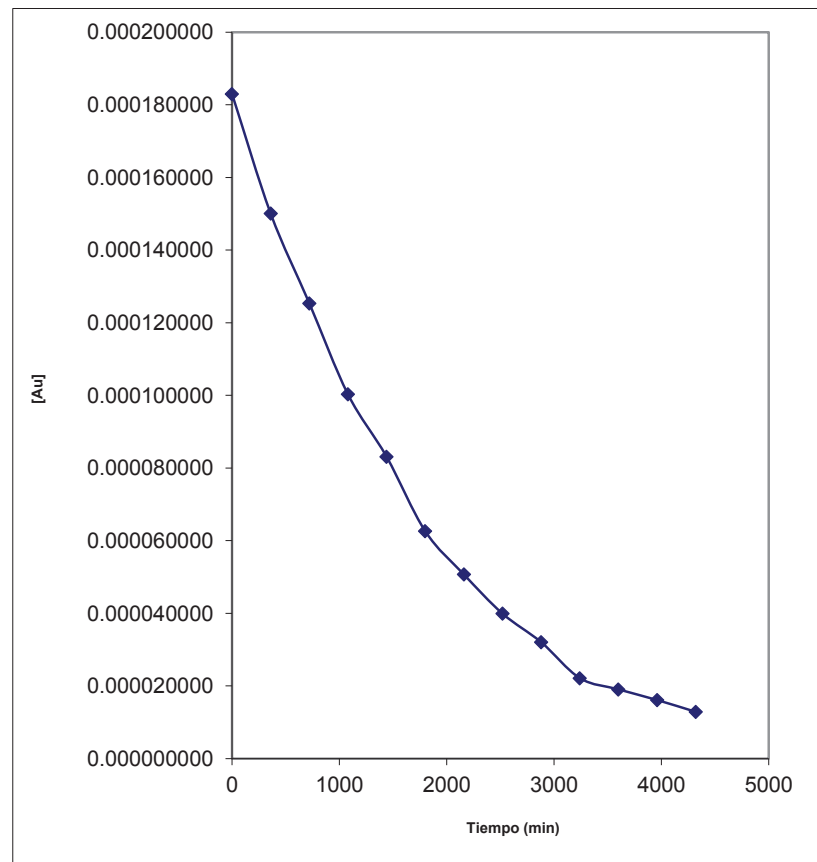
								0.9213041		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000150060	0.0000329	0.000000092	0.1985	0.00055	1199.5202	3.332001	0.1000	2.7787E-04	0.00014667
720	0.000125355	0.0000576	0.000000080	0.3783	0.00053	2512.8635	3.490088	0.1894	2.6301E-04	0.000117553
1080	0.000100284	0.0000827	0.000000077	0.6015	0.00056	4507.1996	4.173333	0.2984	2.7633E-04	9.42159E-05
1440	0.000083082	0.0000999	0.000000069	0.7897	0.00055	6571.8206	4.563764	0.3889	2.7010E-04	7.55119E-05
1800	0.000062586	0.0001204	0.000000067	1.0729	0.00060	10513.5334	5.840852	0.5227	2.9038E-04	6.0521E-05
2160	0.000050691	0.0001323	0.000000061	1.2837	0.00059	14262.8869	6.603188	0.6203	2.8717E-04	4.85062E-05
2520	0.000039894	0.0001431	0.000000057	1.5233	0.00060	19601.9452	7.778550	0.7292	2.8938E-04	3.88766E-05
2880	0.000032025	0.0001510	0.000000052	1.7430	0.00061	25761.1241	8.944835	0.8274	2.8729E-04	3.11587E-05
3240	0.000022143	0.0001609	0.000000050	2.1120	0.00065	39696.5181	12.252012	0.9885	3.0509E-04	2.4973E-05
3600	0.000019032	0.0001640	0.000000046	2.2634	0.00063	47078.6045	13.077390	1.0532	2.9256E-04	2.00153E-05
3960	0.000016104	0.0001669	0.000000042	2.4304	0.00061	56631.8927	14.300983	1.1238	2.8378E-04	1.60418E-05
4320	0.000012847	0.0001702	0.000000039	2.6564	0.00061	72374.7034	16.753404	1.2177	2.8189E-04	1.28571E-05
		promedio	0.000000061		0.00059		8.425867		2.8374E-04	
		devst	0.000000016		0.00004		4.613646		1.1048E-05	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	0.921304096
k = 4.8575E-08	0 6.1472E-04	0 12.1666	0 2.8800E-04	0
2.6891E-09	#N/A 6.2256E-06	#N/A 1.0899	#N/A 2.3345E-06	#N/A
0.8033	2.4681E-05 0.9959	0.0571 0.8212	10003.5554 0.9972399	2.1426E-02
48.9940	12 2898.3641	12 55.0979	12 4335.67	12
2.9844E-08	7.3097E-09 9.4631	0.0392 5.5137E+09	1.2009E+09 1.9905E+00	5.5091E-03
18.064	98.741	11.163	123.368	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.22: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 2

Tabla N° 3.23: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación

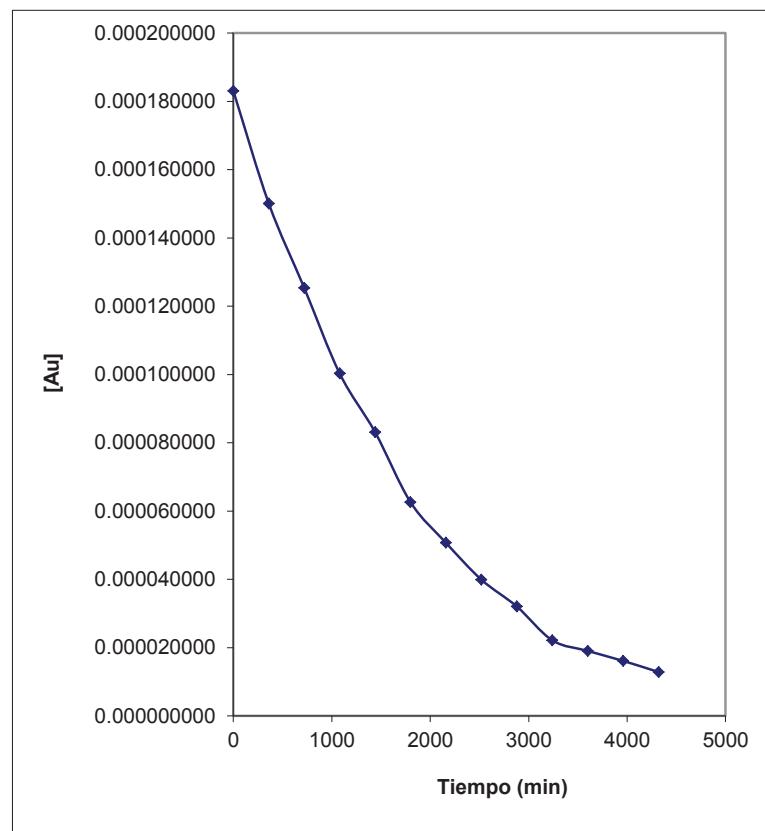
								0.92642583		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000149694	0.0000333	0.000000093	0.2009	0.00056	1215.8136	3.377260	0.1059	2.9408E-04	0.000146572
720	0.000126270	0.0000567	0.000000079	0.3711	0.00052	2455.0566	3.409801	0.1943	2.6991E-04	0.000117395
1080	0.000100833	0.0000822	0.000000076	0.5960	0.00055	4452.9073	4.123062	0.3096	2.8666E-04	9.40267E-05
1440	0.000083814	0.0000992	0.000000069	0.7809	0.00054	6466.7001	4.490764	0.4029	2.7978E-04	7.53097E-05
1800	0.000062952	0.0001200	0.000000067	1.0671	0.00059	10420.6379	5.789243	0.5449	3.0270E-04	6.03186E-05
2160	0.000051240	0.0001318	0.000000061	1.2730	0.00059	14051.5222	6.505334	0.6451	2.9867E-04	4.83115E-05
2520	0.000038613	0.0001444	0.000000057	1.5559	0.00062	20433.5327	8.108545	0.7805	3.0972E-04	3.86946E-05
2880	0.000031110	0.0001519	0.000000053	1.7720	0.00062	26679.5243	9.263724	0.8820	3.0625E-04	3.09921E-05
3240	0.000021960	0.0001610	0.000000050	2.1203	0.00065	40072.8597	12.368167	1.0422	3.2168E-04	2.48228E-05
3600	0.000018483	0.0001645	0.000000046	2.2926	0.00064	48639.2902	13.510914	1.1200	3.1112E-04	1.98816E-05
3960	0.000015555	0.0001674	0.000000042	2.4651	0.00062	58823.5294	14.854427	1.1969	3.0225E-04	1.59239E-05
4320	0.000013524	0.0001695	0.000000039	2.6050	0.00060	68478.1397	15.851421	1.2585	2.9133E-04	1.27541E-05
		promedio	0.000000061		0.00059		8.471055		2.9785E-04	
		devst	0.000000016		0.00004		4.611563		1.4423E-05	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	0.92642583
k = 4.8619E-08	0 6.1658E-04	0 12.1969	0 3.0341E-04	0
2.6766E-09	#N/A 7.1526E-06	#N/A 1.0401	#N/A 3.0693E-06	#N/A
0.8065	2.4567E-05 0.9946	0.0656 0.8343	9546.5297 0.9957280	2.8171E-02
50.0194	12 2212.0371	12 60.4310	12 2796.98	12
3.0188E-08	7.2422E-09 9.5331	0.0517 5.5075E+09	1.0936E+09 2.2197041	9.5233E-03
18.164	86.204	11.726	98.853	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.23: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

CASO 3

Tabla N° 3.24: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación

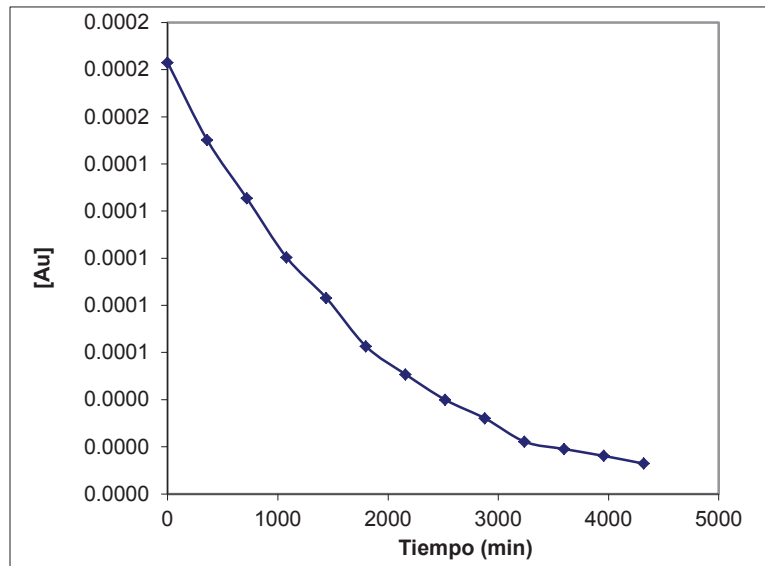
								0.9157882		
tiempo (min)	[Au] (M)	n=0 y=k ₀ t	n=0 k ₀	n=1 y=k ₁ t	n=1 k ₁	n=2 y=k ₂ t	n=2 k ₂	n=opt k _{opt} *t	k _{opt}	[Au] gr/l
0	0.000183000	0.0000000		0		0		0		0.000183
360	0.000149694	0.0000333	0.000000093	0.2009	0.00056	1215.8136	3.377260	0.0965	2.6807E-04	0.00014684
720	0.000125538	0.0000575	0.000000080	0.3769	0.00052	2501.2347	3.473937	0.1797	2.4960E-04	0.000117826
1080	0.000099918	0.0000831	0.000000077	0.6051	0.00056	4543.7259	4.207154	0.2858	2.6465E-04	9.45442E-05
1440	0.000082899	0.0001001	0.000000070	0.7919	0.00055	6598.3908	4.582216	0.3711	2.5772E-04	7.58629E-05
1800	0.000062403	0.0001206	0.000000067	1.0759	0.00060	10560.3897	5.866883	0.4983	2.7683E-04	6.08729E-05
2160	0.000051240	0.0001318	0.000000061	1.2730	0.00059	14051.5222	6.505334	0.5848	2.7074E-04	4.88448E-05
2520	0.000040260	0.0001427	0.000000057	1.5141	0.00060	19374.0686	7.688122	0.6887	2.7329E-04	3.91934E-05
2880	0.000032940	0.0001501	0.000000052	1.7148	0.00060	24893.7462	8.643662	0.7735	2.6859E-04	3.14491E-05
3240	0.000023424	0.0001596	0.000000049	2.0557	0.00063	37226.7760	11.489746	0.9145	2.8224E-04	2.5235E-05
3600	0.000019215	0.0001638	0.000000045	2.2538	0.00063	46578.1941	12.938387	0.9945	2.7625E-04	2.02487E-05
3960	0.000015738	0.0001673	0.000000042	2.4534	0.00062	58075.9944	14.665655	1.0738	2.7117E-04	1.62477E-05
4320	0.000012938	0.0001701	0.000000039	2.6493	0.00061	71827.2180	16.626671	1.1504	2.6629E-04	1.30373E-05
		promedio	0.000000061		0.00059		8.338752		2.6879E-04	
		devst	0.000000017		0.00003		4.565255		8.7688E-06	

REGRESION LINEAL

n=0	n=1	n=2	n=Opt	0.915788213
k = 4.8486E-08	0 6.1150E-04	0 12.0500	0 2.7179E-04	0
2.6834E-09	#N/A 5.4886E-06	#N/A 1.1037	#N/A 1.6906E-06	#N/A
0.8026	2.4629E-05 0.9968	0.0504 0.8150	10129.7495 0.9983668	1.5517E-02
48.7903	12 3688.7755	12 52.8806	12 7335.52	12
2.9595E-08	7.2788E-09 9.3612	0.0305 5.4262E+09	1.2313E+09 1.7661431	2.8892E-03
18.069	111.412	10.918	160.767	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3.24: Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso de pre-tratamiento con agua, adición de litargirio y pre-aireación



Fuente: Elaboración propia

Caso 3. Pre-tratamiento con Agua Alcalina, Adición de Litargirio y Pre-aireación

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción de cianuración del oro con pre-tratamiento con agua puede ser de orden 0 ó 1 según el método de los tanteos o método de los promedios, se tiene una desviación estándar menor para el orden cero con un k de $6,1 \cdot 10^{-8}$ y un k de $5,9 \cdot 10^{-4}$ para una reacción de orden 1.

Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 1, donde nos da un $k = 6,1 \cdot 10^{-4}$ dándonos un k óptimo igual a $2,88 \cdot 10^{-4}$ con un orden óptimo de 0,92, de donde

podemos decir que la velocidad cinética de la reacción de cianuración es baja del orden de 4 decimales.

3.6. COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE CIANURO CONVENCIONAL CON EL PROPUESTO.

Para poder comparar el consumo de cianuro convencional con el propuesto compararemos en la siguiente tabla a partir de los resultados obtenidos en la experiencia.

Tabla N° 3.25: Cuadro comparativo de consumo de cianuro

CONVENCIONAL	PROPUESTO
4,93 Kg/TM	3,79 Kg/TM
4,94 Kg/TM	3,78 Kg/TM
4,93 Kg/TM	3,78 Kg/TM

Fuente: Elaboración propia

3.7. COMPARACIÓN DEL MÉTODO CONVENCIONAL CON EL PROPUESTO

Tabla N° 3.26: Cuadro comparativo del método convencional y propuesto

CONDICIÓN	CONVENCIONAL	PROPUESTO
Consumo de Cianuro	4,9 Kg/TM	3,7 Kg/TM
Ph	9,5-11	9,5-11
Pre-Tratamiento	Ninguno	Agua oxigenada
	Ninguno	Litargirio
	Ninguno	Pre-aireación
Recuperación	76,39	92,84
Proceso Aplicado	Agitación	Agitación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Tabla N° 4.1: Resultados de los porcentajes de recuperación de oro

Prueba	Sin Pretratamiento	Agua	Pre-aireacion	Agua y Pre-aireación	Litargirio	Agua y Litargirio	Pre-aireación y Litargirio	Agua, Pre-aireación y Litargirio
1	75,98	79,30	87,80	83,37	78,56	83,00	83,00	92,98
2	76,72	78,56	85,22	81,26	77,82	78,93	78,93	92,61
3	76,47	78,80	87,33	82,68	77,38	81,04	81,88	92,93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.2: Resultados de los consumos de NaCN (kg/TM)

Prueba	Sin Pretratamiento	Agua	Pre-aireación	Agua y Pre-aireación	Litargirio	Agua y Litargirio	Pre-aireación y Litargirio	Agua, Pre-aireación y Litargirio
1	4,93	3,90	3,80	3,80	4,21	3,89	3,79	3,79
2	4,94	3,91	3,81	3,79	4,22	3,88	3,78	3,78
3	4,93	3,92	3,82	3,80	4,20	3,89	3,79	3,78

Fuente: Elaboración propia

4.2. DISEÑO DE LA PARTE EXPERIMENTAL.

Para nuestro trabajo de aplicación de pre-tratamientos Hidrometalúrgicos alternativos para disminuir el consumo de cianuro y aumentar la recuperación de oro en minerales auríferos de la región, se debe realizar algunos experimentos que conduzca a la disminución del consumo de cianuro y a optimizar la recuperación de oro en minerales de auríferos con alto contenido de fierro. Para ello debemos diseñar algunos experimentos de primer orden que permita estimar adecuadamente la ecuación o modelo matemático empírico, que nos permita predecir los valores de respuesta en función de las variables y de las interacciones de dichas variables. Se diseñará un diseño factorial 2^k en donde se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo o réplica del experimento.

4.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PRELIMINARES.

A pesar de que son muchos los factores o parámetros que intervienen en el proceso, tales como: mecanismo de agitación, lavado de la pulpa, pre-aireado con cal, adición de litargirio, adición de cianuro, granulometría del mineral, tiempo de cianuración, etc. Para los propósitos de este trabajo, se seleccionarán las variables de pre-aireado alcalino con cal, adición de litargirio y el lavado de la

pulpa. Por lo tanto las otras variables se mantendrán constantes durante la experimentación. Tanto el pre-aireado alcalino, como la adición de litargirio y el lavado de la pulpa son variables cuantificables, cuyos valores se fijan a dos niveles según lo siguiente:

Tabla N° 4.3: Variables cuantificables

Factor	Nivel (-)	Nivel (+)
Pre-aireado alcalino (horas)	0	12
Adición de Litargirio(Kg/TM)	0	0,1
Lavado de la pulpa (Número de lavados)	0	2

Fuente: Elaboración propia

Es de esperar que ocurran interacciones entre estas variables, esto es, que las variaciones ocurridas en una de las variables influyan en la otra.

Seleccionaremos dos variables respuestas, una será la recuperación de oro y la otra el consumo de CNNa.

4.4. VARIABLES MANTENIDAS CONSTANTES

- Porcentaje de Sólidos = 33,13 %
- Gravedad Especifica = 2,33
- Densidad de la Pulpa = 1350 g/cm³
- pH = 10,5

- Cal inicial = 4 g con una pureza de 70 %
- Fuerza de Cianuro = 0,05 %
- Fuerza de Cal = 0,0025 %
- Tiempo de Cianuración = 72 horas

4.5. CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE AGITADOR

Del Motor:

- Amperaje 0,38 A
- Voltaje 200 a 220 v
- Potencia de 70 W
- Revoluciones 2250 RPM

Del Tanque:

- Diámetro del Tanque 15 cm
- Altura del Tanque 20 cm
- Diámetro de las paletas (hélices) 3 cm
- Revoluciones de Agitación de 300 RPM

4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con los factores fijados a dos niveles se decide utilizar un diseño factorial completo, en donde $N = 2^k = 2^3 = 8$ experimentos, con 3 réplicas. Los valores de las variables a experimentar se codifican con valores -1 y $+1$ como se indica en la matriz:

Tabla N° 4.4: Matriz de diseño con valores codificados para la recuperación de oro.

N°	Factores							Respuesta			Media
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	I	II	III	
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	75,98	78,72	76,47	76,39
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	78,56	77,82	77,38	77,92
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	87,80	85,22	87,33	86,78
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	83,00	78,93	81,88	81,27
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	79,30	78,56	78,80	78,89
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	83,00	78,93	81,04	80,99
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	83,37	81,26	82,68	82,44
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	92,98	92,61	92,93	92,84

Fuente: Elaboración propia

4.6.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA RECUPERACIÓN

Para realizar el análisis de la varianza usaremos las siguientes formulas:

$$SS_{total} = SS_{efectos} + SS_{error}$$

Donde:

SS_{total} = Suma total de cuadrados.

$SS_{efectos}$ = Suma de cuadrados debido a los tratamientos.

SS_{error} = Suma de cuadrados debido al error.

$$SS_{total} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{Nr}$$

Donde:

N = Número de pruebas experimentales.

r = Número de réplicas en el diseño.

$$SS_{efectos} = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_j)^2}{N_r}$$

$$F_o = \frac{MS_{efectos}}{MS_{error}}$$

Donde:

$$MS_{efectos} = SS_{efectos}/glt$$

$$MS_{error} = SS_{error}/gle$$

glt = Grados de libertad de los efectos e interacciones igual a 1

gle = Grados de libertad de la suma de cuadrados del error

igual a $\sum_{i=1}^{N_r} Nrj - 1$ (sumatoria del número de réplicas-1)

ANOVA; Var; RECUPERACIÓN, R-sqr = 0,96058; Adj: 0,94334

(disexp.sta) 2** (3-0) design: MS Residual = 1,53615

DV: RECUPERACIÓN.

Tabla N° 4.5: Diseño Experimental

	SS	df	MS	F	p
(1)PRE-AIREACIÓN	27,2427	1	27,2427	17,7344	0,000663
(2)LITARGIRIO	318,5002	1	318,5002	207,3367	0,000000
(3)LAVADO	61,3440	1	61,3440	39,9336	0,000010
1 by 2	0,5922	1	0,5922	0,3855	0,543413
1 by 3	101,9700	1	101,9700	66,3803	0,000000
2 by 3	1,0292	1	1,0292	0,6700	0,425079
1*2*3	88,2817	1	88,2817	57,4695	0,000001
Error	24,5784	16	1,5361		
Total SS	623,5385	23			

Fuente: Elaboración propia

Para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$; glt = 1; gle = 16,
entonces $F(0.05;1;16) = 4.49$

La condición de $F_0 > F(\alpha; \text{gl}; \text{gle})$ se cumple para X_1, X_2, X_3, X_1X_3 y $X_1X_2X_3$, Por lo tanto las variables X_1, X_2, X_3 y las interacciones X_1X_3 y $X_1X_2X_3$ tiene incidencia significativa en el proceso. Con esto se formula el modelo matemático y es como sigue:

$$\hat{Y} = 82.18958 + 1.06542X_1 + 3.64292X_2 + 1.59875X_3 + 2.06125X_1X_3 + 1.91792X_1X_2X_3$$

4.6.2. ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA LA RECUPERACIÓN

Para realizar el análisis de los residuos usaremos las siguientes formulas:

$$SSM_R = \sum_{i=1}^N \frac{(Y - \hat{Y})^2}{Nr - l}$$

Donde.

\hat{Y} = Y estimado o respuesta según modelo.

Y = Y observado o respuesta experimental.

Nr = Número total de experimentos.

l = Número de parámetros del modelo matemático.

$Nr-l$ = grados de libertad del residuo = glR

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{error}}$$

Para saber cuan distanciados están los valores que se predicen con el modelo de los valores experimentales, se efectúa el análisis de residuos.

Tabla N° 4.6: Valores experimentales para análisis de residuos

N°	X ₁	X ₂	X ₃	Y _r			Media	\hat{Y}	R=(Y _r - \hat{Y})		
				Y ₁	Y ₂	Y ₃			R _{Y1}	R _{Y2}	R _{Y3}
1	-1	-1	-1	75,98	76,72	76,47	76,39	76,02584	-0,04584	0,69416	0,44416
2	-1	-1	+1	78,56	77,82	77,38	77,92	78,93666	-0,37666	-1,11666	-1,55666
3	-1	+1	-1	87,80	85,22	87,33	86,78	87,14750	-1,92750	-1,92750	0,18250
4	-1	+1	+1	83,00	78,93	81,88	81,27	82,38666	0,61334	-3,45666	-0,50666
5	+1	-1	-1	79,30	78,56	78,80	78,89	77,87000	1,43000	0,69000	0,93000
6	+1	-1	+1	83,00	78,93	81,04	80,99	81,35416	1,64584	-2,42416	-0,31416
7	+1	+1	-1	83,37	81,26	82,68	82,44	81,32000	2,05000	-0,06000	1,36000
8	+1	+1	+1	92,98	92,61	92,93	92,84	92,47584	0,50416	0,13416	0,45416

Fuente: Elaboración propia

$$SSM_R = \frac{43.142513}{21} = 2.0544054$$

Para determinar estadísticamente si el modelo matemático hallado representa adecuadamente a los datos experimentales, se realiza la prueba F.

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{Error}} = \frac{2.0544054}{1.5361} = 1.3374164$$

El modelo es adecuado si $F_0 < F(\alpha; g_{lr}; g_{le})$, $F(0.05; 21; 16) = 2.27$

Entonces el modelo matemático es adecuado.

Decodificación del modelo.- Para que en el modelo se pueda reemplazar los valores reales de las variables, se debe calcular:

$$\text{Centro del diseño: } Z_{x_1}^{\circ} = \frac{12+0}{2} = 6 \quad Z_{x_2}^{\circ} = \frac{0.1+0}{2} = 0.05 \quad Z_{x_3}^{\circ} = \frac{2+0}{2} = 1$$

$$\text{Radio del diseño: } \Delta Z_{x_1} = \frac{12-0}{2} = 6 \quad \Delta Z_{x_2} = \frac{0.1-0}{2} = 0.05 \quad \Delta Z_{x_3} = \frac{2-0}{2} = 1$$

$$\text{Relación E: } E_{x_1} = \frac{Z_{x_1}^{\circ}}{\Delta Z_{x_1}} = \frac{6}{6} = 1 \quad E_{x_2} = \frac{Z_{x_2}^{\circ}}{\Delta Z_{x_2}} = \frac{0.05}{0.05} = 1 \quad E_{x_3} = \frac{Z_{x_3}^{\circ}}{\Delta Z_{x_3}} = \frac{1}{1} = 1$$

El modelo decodificado se calcula según:

$$\hat{Y}_D = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{13}X_1X_3 + a_{123}X_1X_2X_3$$

$$a_0 = Y - (\Delta X_1/2)E_{x_1} - (\Delta X_2/2)E_{x_2} - (\Delta X_3/2)E_{x_3}$$

$$a_0 = 82.18958 - (1.06542)(1) - (3.64292)(1) - (1.59875)(1) = 75.88249$$

$$a_1 = \frac{(\Delta X_1/2)}{\Delta Z_{x_1}} = \frac{1.06542}{6} = 0.17757 \quad a_2 = \frac{(\Delta X_2/2)}{\Delta Z_{x_2}} = \frac{3.64292}{0.05} = 72.8584$$

$$a_3 = \frac{(\Delta X_3/2)}{\Delta Z_{x_3}} = \frac{1.59875}{1} = 1.59875$$

$$a_{13} = \frac{(\Delta X_{13}/2)}{(\Delta Z_1 \Delta Z_3)} = \frac{2.06125}{(6)(1)} = 0.3435416$$

$$a_{123} = \frac{(\Delta X_{123}/2)}{(\Delta Z_1)(\Delta Z_2)(\Delta Z_3)} = \frac{1.91792}{(6)(0.05)(1)} = 6.3930667$$

Con lo que el modelo decodificado se expresa:

$$\hat{Y}_D = 75.88249 + 0.17757Z_1 + 72.8584Z_2 + 1.59875Z_3 + 0.3435416Z_1Z_3 + 6.3930667Z_1Z_2Z_3$$

Tabla N° 4.7: Matriz de diseño con valores codificados para el consumo de CNNa

N°	Factores							Respuesta			Media
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	I	II	III	
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	4,93	4,94	4,93	4,93
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	4,21	4,22	4,20	4,21
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	3,80	3,81	3,82	3,81
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	3,79	3,78	3,79	3,79
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3,90	3,91	3,92	3,91
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3,89	3,88	3,89	3,89
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3,80	3,79	3,80	3,80
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,79	3,78	3,78	3,78

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA RECUPERACIÓN

ANOVA; Var; CNNa, R-sqr = 0,99972; Adj: 0,9996 (disexp.sta) 2** (3-0)

design; MS Residual = .0000583

DV: CNNa

Tabla N° 4.8: Análisis de varianza para la recuperación

	SS	Df	MS	F	p
(1)PRE-AIREACION	0,697004	1	0,697004	11948,64	0,000000
(2)LITARGIRIO	1,166004	1	1,166004	19988,64	0,000000
(3)LAVADO	0,230104	1	0,230104	3944,64	0,000000
1 by 2	0,663338	1	0,663338	11371,50	0,000000
1 by 3	0,189037	1	0,189037	3240,64	0,000000
2 by 3	0,189038	1	0,189038	3240,64	0,000000
1*2*3	0,178538	1	0,178538	3060,64	0,000000
Error	0,000933	16	0,000058		
Total SS	3,313996	23			

Fuente: Elaboración propia

Para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$; glt = 1; gle = 16, entonces $F(0.05;1;16) = 4.49$

La condición de $F_0 > F(\alpha; \text{glt}; \text{gle})$ se cumple para X_1, X_2, X_3 , y las interacciones X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3 , y X_1, X_2, X_3 .

Con esto se formula el **modelo matemático** y es como sigue:

$$\hat{Y} = 4.014583 - 0.170417X_1 - 0.220417X_2 - 0.097917X_3 + 0.166250X_1X_2 + 0.08875X_1X_3 + 0.08875X_2X_3 - 0.08625X_1X_2X_3$$

4.6.4. ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA EL CONSUMO DE CNNa

Para saber cuan distanciados están los valores que se predicen con el modelo de los valores experimentales, se efectúa el análisis de residuos.

Tabla N° 4.9: Análisis de residuos para el consumo de cianuro de sodio

N°	X ₁	X ₂	X ₃	Yr			Media		R=(Yr-Ŷ)		
				Y ₁	Y ₂	Y ₃	Media	Ŷ	R _{Y1}	R _{Y2}	R _{Y3}
1	-1	-1	-1	4,93	4,94	4,93	4,93	4,933334	-0,003334	0,006666	0,006666
2	-1	-1	+1	4,21	4,22	4,20	4,21	4,210000	0,000000	0,010000	-0,010000
3	-1	+1	-1	3,80	3,81	3,82	3,81	3,810000	-0,010000	0,000000	0,010000
4	-1	+1	+1	3,79	3,78	3,79	3,79	3,786666	0,003334	-0,006666	0,003334
5	+1	-1	-1	3,90	3,91	3,92	3,91	3,910000	-0,010000	0,000000	0,010000
6	+1	-1	+1	3,89	3,88	3,89	3,89	3,886666	0,003334	-0,006666	0,003334
7	+1	+1	-1	3,80	3,79	3,80	3,80	3,796666	0,003334	-0,006666	0,003334
8	+1	+1	+1	3,79	3,78	3,78	3,78	3,783332	0,006668	-0,003332	-0,003332

Fuente: Elaboración propia

$$SSM_R = \frac{9.6666 * 10^{-4}}{21} = 4.60314 * 10^{-5}$$

Para determinar estadísticamente si el modelo matemático hallado representa adecuadamente a los datos experimentales, se realiza la prueba F.

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{Error}} = \frac{4.60314 * 10^{-5}}{1.5361} = 2.99664 * 10^{-5}$$

El modelo es adecuado si $F_0 < F(\alpha; glr; gle)$, $F(0.05; 21; 16) = 2.27$

Entonces el modelo matemático es adecuado.

Decodificación del modelo.- Para que en el modelo se pueda reemplazar los valores reales de las variables, se debe calcular:

$$\text{Centro del diseño: } Z_{x1}^{\circ} = \frac{12+0}{2} = 6 \quad Z_{x2}^{\circ} = \frac{0.1+0}{2} = 0.05 \quad Z_{x3}^{\circ} = \frac{2+0}{2} = 1$$

$$\text{Radio del diseño: } \Delta Z_{x1} = \frac{12-0}{2} = 6 \quad \Delta Z_{x2} = \frac{0.1-0}{2} = 0.05 \quad \Delta Z_{x3} = \frac{2-0}{2} = 1$$

$$\text{Relación E: } E_{x1} = \frac{Z_{x1}^{\circ}}{\Delta Z_{x1}} = \frac{6}{6} = 1 \quad E_{x2} = \frac{Z_{x2}^{\circ}}{\Delta Z_{x2}} = \frac{0.05}{0.05} = 1 \quad E_{x3} = \frac{Z_{x3}^{\circ}}{\Delta Z_{x3}} = \frac{1}{1} = 1$$

El modelo decodificado se calcula según:

$$\hat{Y}_D = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 + a_{123}X_1X_2X_3$$

$$a_0 = Y - (\Delta X_1/2)E_{x1} - (\Delta X_2/2)E_{x2} - (\Delta X_3/2)E_{x3}$$

$$a_0 = 4.014583 - (-0.170417)(1) - (-0.220417)(1) - (-0.097917)(1) = 4.503334$$

$$a_1 = \frac{(\Delta X_1/2)}{\Delta Z_{x1}} = \frac{-0.170417}{6} = -0.0284028 \quad a_2 = \frac{(\Delta X_2/2)}{\Delta Z_{x2}} = \frac{-0.220417}{0.05} = -4.40834$$

$$a_3 = \frac{(\Delta X_3/2)}{\Delta Z_{x3}} = \frac{-0.097917}{1} = -0.097917 \quad a_{12} = \frac{(\Delta X_{12}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_2} = \frac{0.16625}{(6)(0.05)} = 0.5541666$$

$$a_{13} = \frac{(\Delta X_{13}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_3} = \frac{0.08875}{(6)(1)} = 0.0147916 \quad a_{23} = \frac{(\Delta X_{23}/2)}{\Delta Z_2 \Delta Z_3} = \frac{0.08875}{(0.05)(1)} = 1.775$$

$$a_{123} = \frac{(\Delta X_{123}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_2 \Delta Z_3} = \frac{-0.08625}{(6)(0.05)(1)} = -0.2875$$

$$\hat{Y}_D = 4.503334 - 0.0284028Z_1 - 4.40834Z_2 - 0.097917Z_3 + 0.5541666Z_1Z_2 + 0.0147916Z_1Z_3 + 1.775Z_2Z_3 - 0.2875Z_1Z_2Z_3$$

4.7. EVALUACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

En lo que respecta a la recuperación de oro, el **modelo matemático** es:

$$\hat{Y} = 82.18958 + 1.06542X_1 + 3.64292X_2 + 1.59875X_3 + 2.06125X_1X_3 + 1.91792X_1X_2X_3$$

Es decir que hay un aumento en la recuperación de oro cuando las variables X_1 , X_2 , y X_3 trabajan con el nivel alto. Si mantenemos en 0.1 Kg/Tn la adición de litargirio y en 2 lavadas de pulpa, el tiempo de pre-aireación para obtener una recuperación del 94% será:

$$94.0 = 82.18958 + 1.06542X_1 + 3.64292(+1) + 1.59875(+1) + 2.06125(+1) + 1.91792X_1(+1)(+1)$$

$$X_1 = 1,3$$

Como el valor de X_1 es codificado, hay que decodificarlo.

$$X_1 = 15,6 \text{ horas de pre-aireado con cal.}$$

Es decir que para obtener una recuperación del 94% hace falta trabajar con 15.6 horas de pre-aireado con cal. adicionar 0.1 Kg/TM de litargirio y hacer 2 lavados a la pulpa antes de la cianuración.

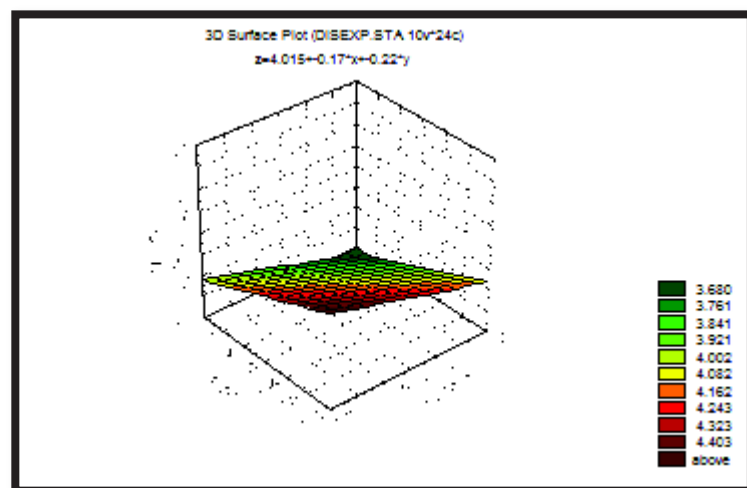
En lo que respecta al consumo de CNNa, el **modelo matemático** es:

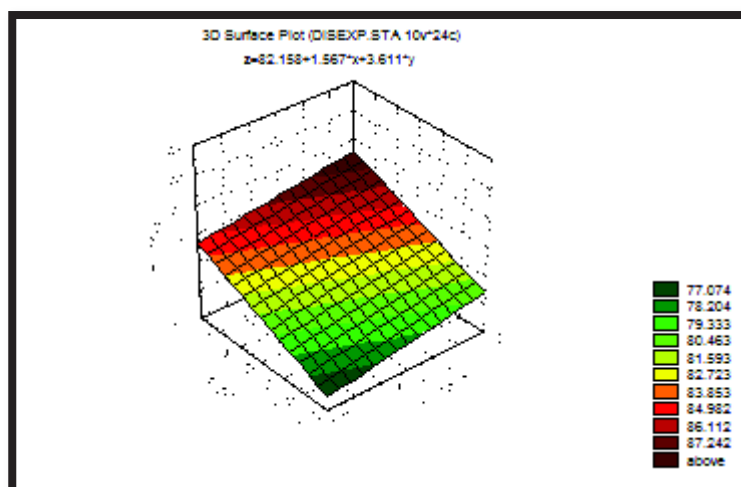
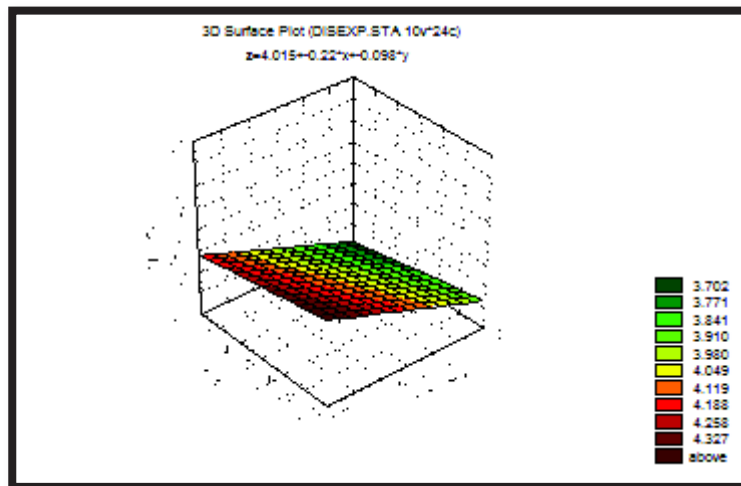
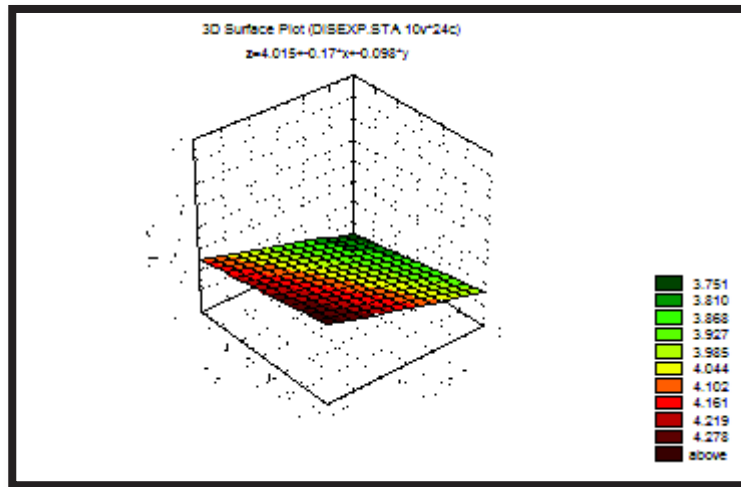
$$\hat{Y} = 4.014583 - 0.170417X_1 - 0.220417X_2 - 0.097917X_3 + 0.166250X_1X_2 + 0.08875X_1X_3 + 0.08875X_2X_3 - 0.08625X_1X_2X_3$$

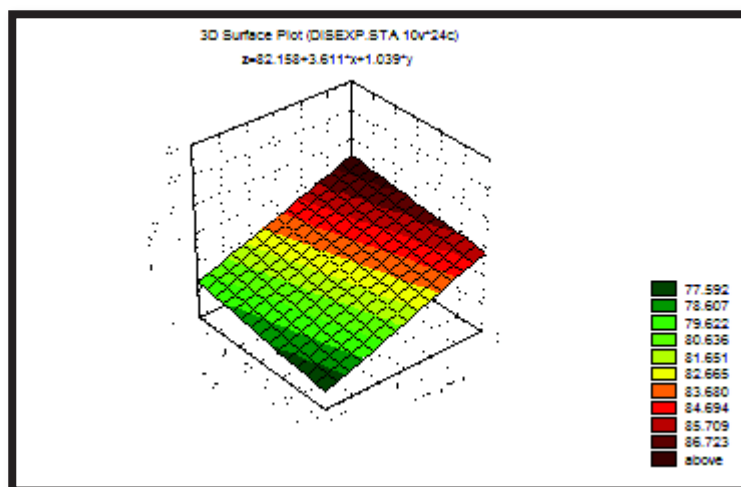
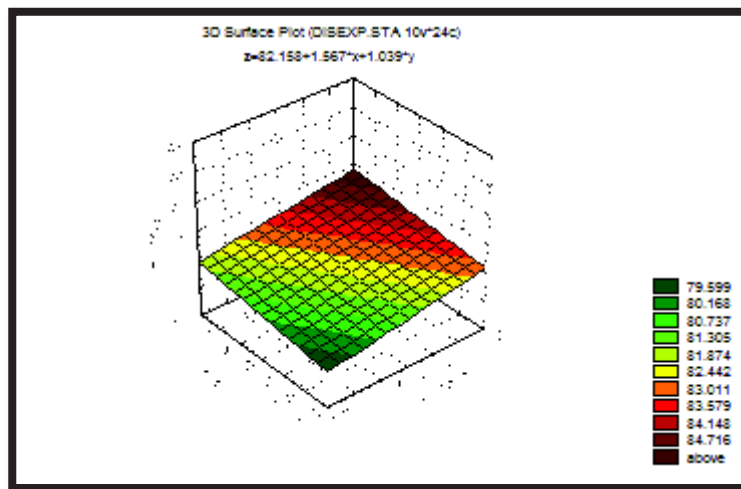
Es decir que hay una disminución en el consumo de CNNa cuando las variables X_1 , X_2 , y X_3 trabajan con el nivel alto. Si mantenemos en 0,1 Kg/TM la adición de litargirio, con 2 lavadas de pulpa y 15,6 horas de pre-aireado con cal, el consumo de CNNa será:

$$\hat{Y} = 3,78\text{Kg7TM}$$

$$\hat{Y} = 4.014583 - 0.170417(+1.3) - 0.220417(+1) - 0.097917(+1) + 0.166250(+1.3)(+1) + 0.08875(+1.3)(+1) + 0.08875(+1)(+1) - 0.08625(+1.3)(+1)(+1)$$







CONCLUSIONES

1. La obtención de Oro a partir de minerales con alto contenido de cianicidas puede mejorar si aplicamos pre-tratamientos antes de cianurar.
2. La mayor recuperación obtenida, está en la aplicación de los tres pre-tratamientos, alcanzando una recuperación mayor al 90 %, superando al obtenido en un proceso convencional alcanzo al 76 % de recuperación.
3. Este proceso se puede mejorar si se tiene un control estricto de los parámetros de operación, puesto que estos en lugar de ayudarnos a mejorar la recuperación nos pueden perjudicar haciendo aparecer otros compuestos y/o complejos.
4. El uso de litargiro debe ser usando en ínfimas cantidades.
5. Se puede concluir que el plomo en la solución de cianuro se deposita sobre la superficie de las partículas de oro porque se produce una reacción de cementación en procesos de lixiviación.
6. La fase resultante Au-Pb actúa como catalizador porque tiene una alta velocidad de oxidación. El plomo se disuelve cuando la fase Au-Pb actúa como catalizador.
7. Las funciones del plomo nos van a permitir mejorar la cinética del proceso anódico de oxidación del oro, por medio de la reacción de cementación.
8. El plomo actúa como un co-oxidante directo con el oxígeno, pero es muy insignificante.

RECOMENDACIONES

1. Tener cuidado en la manipulación de los reactivos y usar cantidades adecuadas sobre todo si se trata de sales de plomo, para no perjudicar el proceso y a su vez gastar demasiado porque su costo de este reactivo es alto.
2. No inyectar demasiado oxígeno a la pulpa porque sería innecesario por que la pulpa una vez saturada con oxígeno el resto se pierde en el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM, (1991), Standard Test Methods for Cyanides in Water D-2036-91.
2. ASTM, 1995 Standard Practices for Preparation of Sample Containers and for Preservation of Organic Constituents.
3. BARK L. Y H. HIGSON, (1963), *Analys* 751-760.
4. BERMAN R., D. CHRISTMANN Y C. RENN, (1993), American Environmental Laboratory.
5. CHACÓN L., RUIZ F., ZAPICO R. (2005) *Rev. Metal. Madrid* Vol. Extr. 390-394.
6. CLESCERI L.S., GREENBERG A.E. Y TRUSSELL R.R., (1989). *Standar Methods for the Examination of water and wastewar+ter*, 17 th ed.
7. HEDLEY N. KENTRO D.M. (1945), *Trans Can Inst. Min. Metall.* XLVIII. 237-251.
8. INGERSOLL D., W.R. HARRIS Y D.C. BOMBERGER, *Anal. Chem.* 53 (1981) 2.254-2.258
9. LU J., D.B. DREISINGER Y W.C. COOPER, (2002), *Hydrometallurgy* 66 23-36.
10. NAVARRO, C. VARGAS, R. ALVAREZ Y F.J. ALGUACIL, (2005), *Rev. Metal. Madrid* 41, 12-20.
11. PEDRAZA J.P. - ROSAS, (2005), *Rev. Metal. Madrid* 41, 116-125.
12. REES K. L. Y J.S.J. VAN-DEVENTER, (1999), *Miner. Eng.* 12, 877-892.
13. SHANTZ R, Y J. REICH, (1978), *Hidrometalurgia* 3 99-109.

14. SMITH A. Y T. MUDDER, (1991), Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes, Mining Journal Books Limited, London.
15. RISEMAN J. H., (1972), American Laboratorio 63-67.