

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero

para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora

Centauro S.A.C. – Pasco –2020

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Miguel PALMA VALVERDE

Asesor: Mg. Rebeca Hilda PÉREZ BONILLA

Cerro de Pasco – Perú – 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero

para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora

Centauro S.A.C. – Pasco –2020

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCED
PRESIDENTE

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO
MIEMBRO

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por bendecir a mi familia todos los días.

A mi madre, por guiarme en la vida y hacer de mi un hombre de bien.

A mi esposa, por darme su apoyo incondicional.

A mi hija Alondra, porque es mi motor y motivo para salir adelante.

AGRADECIMIENTO

Expreso mis reconocimientos de gratitud a mis familiares por el apoyo brindado desde mi infancia hasta la fecha.

Deseo hacer reconocimiento de gratitud a mis profesores de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a mis colegas de aula con quienes compartimos momentos inolvidables.

Dar las gracias al Ing. Glay PONGO R. y a los trabajadores del área de procesos metalúrgicos de Corporación Minera Chancadora Centauro, unidad minera Quicay por el apoyo incondicional que me brindaron al realizar la presente investigación.

RESUMEN

El oro es uno de los minerales que está asociado a otros minerales sulfurados como pirita, pirrotita, marcasita. Estos minerales son refractarios y no son tratados por cianuración convencional, que causa un serio problema a los elevados consumos de cianuro de sodio y recuperaciones limitadas, es el motivo para iniciar a investigar nuevos de tratamientos de dichos minerales.

Se ha investigado el consumo de cianuro de sodio en aplicación a minerales sulfurados basándonos en un diagrama de tratamiento que consiste en el lavado alcalino de la pulpa, aireado con cal y adición de óxido de plomo, tratamiento que se aplicó previamente a la cianuración del mineral sulfurado.

En este trabajo de investigación se puede ver que las pruebas realizadas en los tres tratamientos se tiene una recuperación del 92,84 % y un consumo de NaCN de 3,78 kg/TM, es el 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 tratamiento previo.

Palabras clave: Consumo de cianuro, recuperación de oro

ABSTRACT

Gold is one of the minerals that is associated with other sulfur minerals such as pyrite, pyrrhotite, and marcasite. These minerals are refractory and are not treated by conventional cyanidation, which causes a serious problem due to the high consumption of sodium cyanide and limited recoveries, which is the reason to start investigating new treatments for these minerals.

The consumption of sodium cyanide in application to sulfur minerals has been investigated based on a treatment diagram that consists of alkaline washing of the pulp, aerated with lime and addition of lead oxide, a treatment that was previously applied to the cyanidation of the mineral. Sulphuretted.

In this research work it can be seen that the tests carried out in the three treatments have a recovery of 92,84 % and a NaCN consumption of 3,78 kg/TM, it is the alkaline aeration that exerts the greatest effect on recovery. Of gold and the decrease in NaCN consumption, reaching levels of 86,78 % and 3,81 kg/TM respectively, which improved to 76,39 % and 4,93 kg/TM of the mineral without prior treatment.

Keywords: Cyanide consumption, gold recovery

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación presentado como tesis fue elaborado con la finalidad de evaluar el consumo de cianuro e incrementar la recuperación del oro. Si el método de extracción de oro más utilizado es la cianuración, no siempre podemos aplicar con éxito y de manera correcta sobre el mineral si no tomamos en cuenta la composición mineralógica del mineral a tratar, cuando el mineral es sulfosal conocido como refractarios se complica su tratamiento.

La dificultad que presenta este proceso de cianuración es la aparición de minerales sulfurados y sulfosales en la que el oro esta diseminada, como oro libre o encapsulado. Los metales base, sulfuros de hierro, que contiene minerales de arsénico, bismuto, antimonio, etc. conocidos como cianicidas hacen difícil su tratamiento por cianuración convencional, ya que dichos minerales consumen el cianuro de sodio.

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 cianurode sodio provocando un consumo mayor de oxígeno y cianuro además de reducir la velocidad de disolución del oro.

Para poder desarrollar el trabajo de tesis, el presente consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Problema de investigación integrada por la delimitación de la investigación, formulación de la investigación con el planteamiento del problema principal, y específicos, la formulación de los objetivos (general y específicos), la justificación y las limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Da a conocer el marco teórico con los antecedentes de estudio, las bases teóricas – científicas, la definición de términos básicos, la formulación de las hipótesis (general y específicos) la identificación de las variables y la definición

operacional de las variables e indicadores.

El capítulo III: Trata del tipo, método y diseño de la investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico, selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, la orientación ética.

En el capítulo IV: Se da a conocer los resultados y discusión conteniendo la descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados, la prueba de hipótesis y discusión de resultados.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	3
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema principal.....	4
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.4. Formulación de objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.1.1. Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la pre oxidación de minerales sulfurosos con ozono	7

2.2. Bases teóricas – científicas	9
2.2.1. Lixiviación de Metales Preciosos	9
2.2.2. Densidad de las Soluciones de Lixiviación.....	11
2.2.3. Aireación en Cianuración.....	11
2.2.4. Agentes Oxidantes	12
2.2.5. Descomposición de Reactivos	13
2.2.6. Efecto del pH en la Cianuración de Oro y Plata.....	14
2.2.7. Efecto de la Agitación en la Disolución de Oro y Plata.....	15
2.2.8. Clarificación de la Solución Rica con Oro.....	16
2.2.9. Precipitación de Oro y Plata con Polvo de Zinc	17
2.3. Definición de términos básicos.....	17
2.4. Formulación de Hipótesis	18
2.4.1. Hipótesis general.....	18
2.4.2. Hipótesis específicos	18
2.5. Identificación de variables	19
2.5.1. Variable dependiente	19
2.5.2. Variable independiente.....	19
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	19

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	20
3.2. Nivel de investigación.....	21
3.3. Método de investigación	21
3.4. Diseño de investigación	21
3.5. Población y muestra	22

3.5.1. Población	22
3.5.2. Muestra	23
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.7. Técnicas de procesamiento de y análisis de datos	25
3.8. Selección, confiabilidad y validación de los instrumentos de investigación	25
3.9. Tratamiento estadístico	25
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	27
4.1.1. Obtención de la muestra	27
4.1.2. Ensayo de mineral de cabeza	28
4.1.3. Determinación del tiempo de molienda.....	28
4.1.4. Determinación de parámetros operativos del proceso	29
4.1.5. Parámetros operativos en la cianuración	29
4.1.6. Condiciones de pre aireación con lavado y sin lavado.....	30
4.1.7. Parámetros que se mantienen constantes.....	31
4.1.8. Características del tanque agitador	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	31
4.2.1. Pruebas experimentales.	32
4.2.2. Diseño de la parte experimental.....	34
4.2.3. Aplicación del diseño factorial	34
4.2.4. Evaluación del modelo	47
4.3. Prueba de hipótesis	48
4.4. Discusión de resultados.....	49

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Mina Quicay perteneciente a Corporación Minera Centauro ..	3
Figura 2 Vista panorámica de las operaciones en la Mina Quicay	4
Figura 3 Diseño de un agitador de pulpa.....	15
Figura 4 Superficie respuesta de la recuperación del oro.....	41
Figura 5 Contorno respuesta de la recuperación del oro	41
Figura 6 Superficie respuesta estimada	46
Figura 7 Contorno respuesta del consumo de cianuro.....	46
Figura 8 Gráfico de distribución	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2 Ley de cabeza del mineral aurífero	28
Tabla 3 Resumen de Tiempo de molienda	29
Tabla 4 Determinación de niveles	30
Tabla 5 Resultados de los porcentajes de recuperación de oro.....	33
Tabla 6 Resultados de los consumos de NaCN (kg/TM.)	33
Tabla 7 Matriz de diseño con valores codificados para la recuperación de oro	35
Tabla 8 Análisis de varianza	37
Tabla 9 Análisis o estudio de residuos	38
Tabla 10 Matriz del diseño con valor codificado para el consumo de NaCN.....	42
Tabla 11 Análisis de varianza en la recuperación del oro	43
Tabla 12 Análisis de residuos en el consumo de Cianuro de sodio.....	44
Tabla 13 Análisis de Varianza	48

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Los minerales tratados por la Corporación Minera Chancadora Centauro, unidad minera Quicay para recuperar oro en la mayoría 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 de sodio y las recuperaciones limitadas, lo que nos condujo a investigar nuevos esquemas de tratamientos de dichos minerales. (The Nile Machinery Co. Ltd., 2017, pág. 2).

El ingeniero metalurgista debe tratar el oro y debe estar familiarizado con todos los procesos de tratamiento de oro, como amalgamación y flotación, que se utilizan con frecuencia como un auxiliar para el proceso de cianuración.

La mayoría de los minerales de oro, se encuentran asociados a diferentes

minerales sulfurosos tales como pirita, galena, blenda, calcopirita, pirrotita, marcasita, etc. La ocurrencia de estos metales preciosos, está determinada por diferentes condiciones, tales como su afinidad química y mineralógica.

Varios minerales de oro son refractarios, los que son tratados por procesos convencionales de extracción, lo que hace difícil su recuperación. Una situación bastante común que da la refractariedad de tales minerales, es la distribución del oro en sulfuros de hierro, formados principalmente por las especies de pirita, arsenopirita.

Para liberar los metales de oro contenidos en este tipo de minerales, es necesario realizar un tratamiento previo de oxidación de la matriz sulfurosa que permita el contacto directo de los metales con el reactivo de lixiviación.

El proceso de cianuración es el más ampliamente utilizado para la extracción de oro a partir de sus minerales. Este proceso convencional utiliza oxígeno que se encuentra en el aire como oxidante y al ion CN^- como agente complejante. Este método se basa en que el oro se disuelve fácilmente en una solución acuosa diluida de cianuro de sodio, con relativa facilidad si se mantienen condiciones oxidantes favorables.

En el tratamiento de minerales sulfurosos de oro, el proceso de cianuración ha sido utilizado con relativo éxito; sin embargo, debido a la naturaleza de este tipo de minerales, se ha encontrado dificultades en el tratamiento de los minerales considerados refractarios. (The Nile Machinery Co. Ltd., 2017, pág. 1).

Los minerales de Pacoyán de la Mina Quicay son altamente refractarios y los tratamientos por cianuración convencional, causan serios problemas por los elevados consumos de cianuro de sodio y recuperaciones limitadas de oro, por ese motivo inicia la investigación de aplicación de nuevos métodos de tratamiento

como la oxigenación de pulpa y adición de óxido de plomo, para mejorar la recuperación de oro presentes en los minerales refractarios y disminuir el consumo de cianuro en la Mina Quicay.

1.2. Delimitación de la investigación

La población de estudio está considerada como las reservas probadas y probables de la Unida Minera Quicay, que está ubicada en la Sierra Central del Perú en el distrito de Simón Bolívar, provincia y región Pasco. Se sitúa a 4 250 m.s.n.m., en la Comunidad Campesina Santa Ana de Pacoyán. Quicay es accesible desde Lima y el puerto del Callaoa través de una carretera pavimentada a una distancia de 321 kilómetros.

Figura 1

Ubicación de la Mina Quicay perteneciente a Corporación Minera Centauro



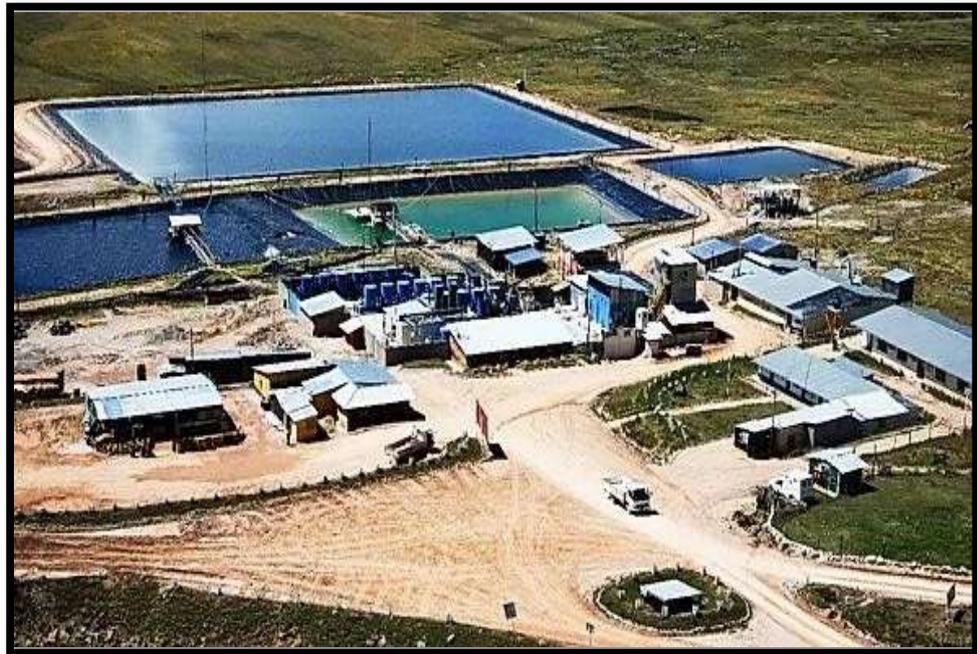
Nota: Corporación Minera Chancadora Centauro

El know-how previo de Corporación Minera Centauro como constructor minero, permitió que el desarrollo y construcción de la Mina Quicay en cuanto a Ingeniería, Diseño, Licencias, Construcción y Operación, hayan sido ejecutados

principalmente por Centauro y para labores puntuales, a través de proveedores nacionales reconocidos en el sector.

Figura 2

Vista panorámica de las operaciones en la Mina Quicay



Nota. Corporación Minera Chancadora Centauro

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Cómo hacer la evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?

- ¿Qué reactivo se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.
- Identificar el reactivo que se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

1.5. Justificación de la investigación

El alto consumo de cianuro de sodio y la baja recuperación del oro en el tratamiento de minerales de oro que está en la matriz de minerales sulfurados y sulfosales hace que se incremente el costo de tratamiento, con la presente investigación la Corporación Minera Chancadora Centauro se va a beneficiar ya que sus costos operativos van a bajar y van a tener mayores ingresos económicos debido al incremento de la recuperación del oro. Llegando a la conclusión que si es posible bajar el consumo del cianuro utilizando otro tipo de reactivo y aireando antes del proceso.

Referente al cuidado del medio ambiente sería de gran oportunidad ya que se está bajando el consumo de cianuro de sodio.

1.6. Limitaciones de la investigación

La investigación que se ha desarrollado ha presentado como limitaciones la falta de una bibliografía adecuada o experiencias de otras empresas para el tratamiento del mineral aurífero con altos contenidos de arsénico, antimonio y como matriz se tiene al hierro en sus diversas formaciones geológicas. Asimismo, se ha propuesto una serie de alternativas que no se ha tenido buenos resultados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la pre oxidación de minerales sulfurosos con ozono

El grupo minero Hualilan, presenta básicamente dos tipos de minerales portadores de oro, uno es el que se observa en el pique sur, (mina Sentazón) y en la mina Magnata, compuesto principalmente por sulfuros de hierro, zinc, plomo, cobre y otro, que está totalmente oxidado y que contiene una cantidad excesiva de lamas, que se encuentra en la parte superior del yacimiento (extraído en casi su totalidad en la zona sur) y que representa un volumen importante (Rajo de Doña Justa) en la zona norte.

La presencia de elementos cianicidas tales como el cobre y el zinc y la cantidad excesiva de lamas presentes en el mineral es una situación bastante común que da la refractariedad de tales minerales, es la distribución del oro y plata en sulfuros de hierro, formados principalmente por las especies de pirita, arsenopirita o ambas a la vez.

Para liberar los metales preciosos contenidos en este tipo de minerales, es necesario realizar un tratamiento previo de oxidación de la matriz sulfurosa que permita el contacto directo de los metales con el reactivo de lixiviación.

De forma general, el proceso de cianuración es el más ampliamente utilizado para la extracción de oro y plata a partir de sus minerales. Este proceso convencional utiliza oxígeno que se encuentra en el aire como oxidante y al ion CN^- como agente complejante. Este método se basa en que el oro y la plata se disuelven fácilmente en una solución acuosa diluida de cianuro de sodio o de potasio, con relativa facilidad si se mantienen condiciones oxidantes favorables.

Una mejora importante al proceso de cianuración convencional, es la oxidación de la matriz refractaria que permita condiciones adecuadas para la interacción de los valores metálicos con el agente complejante. De acuerdo a esto, se ha propuesto el uso del ozono como agente oxidante, que permita mejorar el grado de cianuración de los minerales considerados refractarios.

Algunas investigaciones han empleado ozono para oxidar minerales de cobre, así como minerales de oro y plata, logrando mejorar sus condiciones de cianurabilidad.

En los minerales sulfurosos de oro y plata, el uso de ozono es una opción para incrementar el potencial de oxidación, el cual es muy elevado (2.07 V), comparado con 1.77 V del peróxido de hidrógeno y 1.4 V del cloro. Como consecuencia, permite crear buenas condiciones de oxidación en medio acuoso, haciendo que las reacciones de oxidación se lleven a cabo rápidamente e incluso, rompiendo las interfases entre los minerales presentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se vislumbra que el ozono puede ser una oportunidad para solucionar algunos problemas en el ámbito metalúrgico,

particularmente en la recuperación de valores de oro y plata no solo de concentrados, sino de algunos residuos (jales) que contengan importantes valores de interés (Eleazar Salinas et. al., 2004, pág. 1).

Algunas aplicaciones recientes del ozono en el ámbito metalúrgico han sido estudiadas por Carrillo F. (2001) donde refiere que:

“Consiguió una mejora sustancial de la disolución de oro y plata de un mineral preoxidado con ozono, logrando un incremento de disolución de oro del 38 al 82 % y una disolución de plata del 19 al 50.5 % al cianurar minerales sin y con pre oxidación, respectivamente” (p.2).

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Lixiviación de Metales Preciosos

El oro tiene acercamiento al mercurio, combinándose para formar la amalgama. La propiedad química de interés es que el oro es soluble en soluciones diluidas de cianuro. La base del proceso de cianuración está en el hecho que las soluciones de cianuro de potasio o sodio tienen una disolución preferencial por las partículas de oro metálico y plata, frente a la mayoría de otros minerales de oro. Pero hay algunos minerales conocidos como cianicidas que presentan efectos negativos.

Al cianuro de sodio, (NaCN) se le conoce con el nombre de cianuro. Los trabajos iniciales de la cianuración se basaron en el uso de cianuro de potasio y la concentración de la solución, presentando las fórmulas básicas que están en términos de producto químico. Es necesario señalar que el radical de cianógeno (CN) tiene el poder de disolución, y la base alcalina de calcio, potasio o sodio otorgan una estabilidad química a los compuestos. La diferencia entre los cianuros

alcalinos es su relativa fuerza para la disolución. Esto depende totalmente del porcentaje del radical cianógeno presente. La ecuación de Elsner es generalmente aceptada como una expresión de la reacción del oro en soluciones de cianuro diluido;



Las superficies frescas de oro están expuestas a la acción del cianuro en solución acuosa conteniendo oxígeno libre, se conforma por un compuesto de cianuro de oro y un hidróxido.

La concentración de la solución está a una libra de cianuro (KCN) por tonelada de solución (agua). Esto generalmente es lo suficientemente fuerte para la mayoría de los circuitos de cianuración, en el trabajo experimental se obtiene disolviendo al máximo poder en esta fuerza. Por otro lado, una solución débil es el menos afectado por los cianuros, se corre el peligro de intoxicación por los gases que se formen por evaporación en clima caliente.

Los concentrados de sulfuros con oro, obtenidos por concentración en mesa vibratoria o flotación por espumas, son tratados con soluciones más concentradas. Estos concentrados requieren de un estudio muy minucioso. La fuerza de la solución está expresada en kilos de cianuro de potasio por tonelada de solución. 1 kg., de cianuro a 1 tonelada de agua = 0,05 % de solución; etc. La temperatura de la solución es importante en la eficacia de la disolución, en climas fríos, las soluciones suelen ser calentadas a una temperatura de 21°C. Por encima de esta temperatura la pérdida de cianuro por la descomposición se convierte en un factor importante. Se tiene en cuenta que el oro se disuelve en una solución más rápida a una temperatura de 59 °C (911 metallurgist, 2017).

2.2.2. Densidad de las Soluciones de Lixiviación

Para establecer la capacidad máxima y/o mínima de pérdida de material valioso en solución, es aconsejable conservar la mayor densidad en los circuitos del molino. Se debe considerar que, por cada tonelada de agua agregada al molino del circuito, se debe de eliminar una tonelada de agua para mantener el equilibrio. Esta solución retirada del sistema contiene reactivos, (cal y cianuro), también oro disuelto, en cantidades diminutas.

A mayor densidad en el alimento, mayor será la capacidad del agitador, o a la inversa, por ejemplo, un mineral en que los sólidos tienen una gravedad específica de 2,6, una tonelada de sólidos con el 30 % de los sólidos tendrá una solución al 70%, que ocupará 86,7 pies cúbicos, por otro lado, si es que el 50% de sólidos sólo ocupa la mitad de ese espacio, es decir, 44,31 pies cúbicos. Es así, que las densidades del agitador se mantienen entre 30% a 60% de sólidos, capacidad de molienda del molino de bolas es limitado, si la densidad baja del 70% de sólidos (911metallurgist, 2017, pág. 1).

2.2.3. Aireación en Cianuración

La aireación es un requisito de la cianuración con el empleo del oxígeno. (el oxígeno puro es demasiado caro), por esta razón se usa el aire atmosférico como fuente de oxígeno. Algunas pruebas experimentales han sido realizadas utilizando el ozono, pero en la práctica no ha sido aprobada por los gastos en el proceso de lixiviación de oro.

Para una disolución eficiente del oro, es necesario que el aire entre en contacto físico con las partículas de oro. Como estas partículas son distribuidas en la pulpa, entonces, la burbuja de aire debe estar completamente dispersas y el exceso debe ser utilizado más allá de los requisitos teóricos de aire

(911metallurgist, 2017, pág. 1).

2.2.4. Agentes Oxidantes

Los agentes oxidantes pueden ser el peróxido de sodio, permanganato de potasioo dióxido de manganeso.

Estos actúan de dos maneras:

- Por una condición activa que acelera la disolución de oro, oxidando las impurezas perjudiciales que están presentes en el mineral o solución. Al aumentar el tonelaje o cambio de mineral, es necesario adicionar la aireación. Para ello se ha colocado un anillo de inyección de aire alrededor de la circunferencia de cada uno de los agitadores. Estos agitadores eran de 18'x 21', más ocho inyectoros que fueron colocados en cada anillo. La aireación y la agitación violenta han mejorado la disolución.
- La dispersión del flujo de pulpa en los distintos tanques en una gran corriente. En donde se construyen bandejas de chapa de acero de 1/16" de 4" de alto y un cuadrado de 2'. En la parte inferior de estas bandejas hay una malla soldada de acero de 1/4". Estas bandejas se colocan a 1' en cada descarga, el flujo de la corriente de la pulpa se extiende para cubrir la mayor parte. Es así que el único flujo de pulpa es convertido en numerosos flujos.

Los numerosos flujos de la pulpa que pasa a través de la pantalla son lanzados hacia el depósito en forma de partículas muy pequeñas. La pulpa está mejor aireada. Cuando el aire comprimido está en la línea, la presión de aire es suficiente para permitir el paso del aire en forma de burbujas en el agitador, sila presión del aire disminuye, se produce un cierre automático de la reducción de la presión (911metallurgist, 2017).

2.2.5. Descomposición de Reactivos

La cantidad de reactivos para disolver el oro es muy pequeña, pero la cantidad de reactivos es muy mayor y sus causas debe ser observada para una posible remediación. Estos son enumerados como:

1. Impureza del agua
2. Cianicidas
3. Perdidas Mecánicas

El agua es muy importante, en cantidad y calidad. La disposición del agua es de pequeños lagos o estanques posiblemente contaminada con materia orgánica y sales solubles. Esta agua es reducida en su acción. La cal sobre agregada al agua de operación es el que cambia la composición y esta agua retorna a la planta. Soluciones de nitrato de plomo se añade para mejorar la precipitación de las sales solubles. Oxidantes químicos como el permanganato potásico se usan en estos problemas. Algunos materiales llamados cianicidas están presentes en el mineral.

Un cianicida se define como un material natural que destruye el cianuro. La Pirrotita es el más conocidos. Se combina con el cianuro dando ferro-cianuro y sulfo-cianuro. Se estima que la estibina necesita de una alcalinidad muy baja para evitar su solubilidad en la solución. En el caso de la Esfalerita, la cal alta tiende a reducir la solubilidad de zinc. Cuando el mineral tiene cantidades importantes de cobre, antimonio, arsénico, cobalto o níquel, pueden disolverse y están presentes en la solución rica.

Por lo que la tasa de disolución de estos materiales debe ser controlado en cierta medida, estas soluciones en el tiempo perderán su potencia debido a que se recirculan. Es de prioridad purgar la solución y para restablecer el equilibrio y adicionar solución fresca. Una vez que las soluciones han perdido su oxígeno

disuelto y se ha efectuado la precipitación, la aireación se logra permitiendo el flujo de la solución que se mueve en distancias largas. Esta aireación no sólo restaura el oxígeno libre a la solución, sino que además regenera parcialmente algo de cianuro. Las pérdidas físicas ocurren de dos maneras:

- Pérdidas accidentales.
 - Pérdidas inherentes.
- a) Las pérdidas accidentales son debido a los derrames por las canaletas. Es decir, se producen pérdidas al descargar los agitadores, clasificadores o tanques espesadores, debido a fallas de energía o dificultades mecánicas.
- b) Las pérdidas inherentes ocurren sólo en un nuevo circuito, y los que se producen continuamente. La pérdida a un nuevo circuito se debe al ingreso de las soluciones a los tanques y ocurre en un período de dos o tres meses. La pérdida inherente es debido a las pérdidas en los filtros, estas pérdidas se deben de mantener al mínimo, ya que son una carga plana contra el costo de operación (911metallurgist, 2017, pág. 1).

2.2.6. Efecto del pH en la Cianuración de Oro y Plata.

Para la reducción de la cantidad de cianuro destruido, se adiciona cal a la solución con la finalidad de mantener una alcalinidad protectora, esta alcalinidad va desde 0,25 a 1,00 kilo por tonelada de solución. La cal tiene un efecto de aceleración a la sedimentación de la pulpa en el espesador, y aporta en la precipitación de determinadas sustancias indeseables.

Con la finalidad de que la cal pueda comenzar con su acción protectora lo antes posible, se adiciona junto al mineral en el molino de bolas, esta adición puede ser en seco o en lechada de cal. Se debe de hacer un muestreo sistemático de las soluciones en distintos puntos marcados en el circuito.

El operador controla la adición de la cal y el cianuro y está seguro de que la fuerzamínima requerida se mantiene. El cianuro agregado a la solución recién aireada es bombeado al circuito de molienda, teniendo como reserva para corregir algunos problemas locales (911metallurgist, 2017).

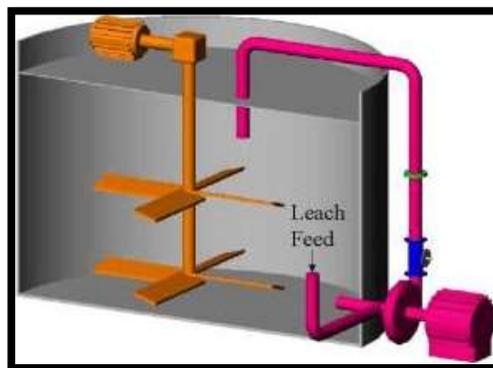
2.2.7. Efecto de la Agitación en la Disolución de Oro y Plata

La agitación está considerada como el método mecánico de mezclar la pulpa con un exceso de aire en tanques circulares de capacidad suficiente, que permite el equilibrio de la disolución del oro en una solución de cianuro. Los agitadores son de varios modelos, se dividen en dos tipos, unos que dependen totalmente de inyección de aire para agitar la pulpa, es conocido como Pachuca donde el

depósito tiene la altura al menos tres veces el diámetro. y otro que dependen de una combinación de aire y agitación mecánica que depende totalmente su agitación de una columna de aire que se eleva desde el cono inferior central.

Figura 3

Diseño de un agitador de pulpa



Nota. Tomado de 911 Metallurgista

Los agitadores mecánicos utilizan de un exceso de aire en un lado o en el

sistema elevado de pulpa, éstos efectúan una aireación de la pulpa, así que los dispositivos mecánicos dependen del movimiento de agitación en el fondo del tanque. Para obtener un cortocircuito del material, se recomienda que dos o tres de los agitadores sean instalados en serie, en vez de un gran agitador. Con algunos minerales refractarios, se recomienda considerar la instalación de un espesador en el circuito de agitación, para que la solución de cianuro puede ser adicionado y ayude en la disolución. La eficiencia del agitador depende del método de inyección del aire, las burbujas de aire dispersadas son necesarias para una acción rápida de disolución. La dilución de la pulpa se debe de mantener al mínimo para minimizar el tamaño de los agitadores y evitar la sedimentación de las arenas (911metallurgist, 2017).

2.2.8. Clarificación de la Solución Rica con Oro

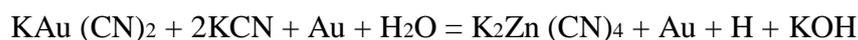
Obtenida la solución rica esta se retira de los espesadores y antes de que sea enviado a la precipitación, es necesario eliminar las impurezas y sólidos suspendidos. Esto se realiza en el proceso de clarificación y en la eficiencia de este paso depende la eficiencia de la precipitación con polvo de zinc.

La clarificación está en tratar soluciones en un medio filtrante, el que esta recubierto con material inorgánico llamado diatomea que ayuda el proceso de filtrado y ayuda la extracción del material fino. Es esencial que las soluciones de clarificación son muy claras. Se ha dicho que es esencial que las precipitaciones sean después de la clarificación y la aireación, de lo contrario hay peligro de contaminación de la solución. Así mismo se adiciona la cal a los espesadores para la coagulación de finos, es necesario tomar medidas adicionales para tener una aclaración eficiente (911metallurgist, 2017).

2.2.9. Precipitación de Oro y Plata con Polvo de Zinc

En el proceso obtenido para la precipitación de oro y plata con polvo de zinc se denomina Merrill-Crowe, que consiste en la eliminación de aire y filtración de la solución antes de efectuar la precipitación con polvo de zinc.

El oro es extraído de la solución por medio de la precipitación con polvo de zinc. El polvo de zinc se utiliza en vez de las virutas de zinc que fue empleado antiguamente por la gran superficie disponible. El método se basa porque el oro y la plata son electronegativos frente al zinc, el proceso de precipitación ocurre con la siguiente reacción:



Cuando se tiene exceso de consumo de zinc sobre necesidades teóricas ocurre la siguiente reacción:



Hablando de las sales de plomo soluble como acetato de plomo o el nitrato de plomo que se agrega a las soluciones de cianuro para formar con el zinc un par zinc-plomo de mayor actividad como precipitante del zinc. Así mismo la solución de cianuro se adiciona a la mezcla de alimentación en el cono de zinc.

Cuando surjan dificultades en el proceso de precipitación, se recomienda verificarla clarificación y el sistema de aireación. Una fuga de aire en esta última etapa puede tener grave impacto en la precipitación (911metallurgist, 2017).

2.3. Definición de términos básicos

Agente lixiviante. Sustancia química que tiene la propiedad de disolver selectivamente uno o más elementos presentes en una roca.

Agitación (metalurgia). Es el movimiento de un líquido o una pulpa generado por acción neumática o mecánica, o es acompañado por la introducción de aire

comprimido.

Cal. Es el producto que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio.

Cianuración. Es una técnica metalúrgica para la extracción de oro de mineral de baja calidad, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida.

Mineral complejo. Mena que contiene varios minerales de interés económico. Generalmente presenta problemas para la liberación y la separación individual de los metales de interés.

Muestra. Porción de material tomado de una gran cantidad, con el propósito de estimar sus propiedades o su composición mediante análisis de laboratorio.

pH. Potencial de hidrógeno. Es un número que indica la concentración de hidrogeniones (iones H^+) de una disolución.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si evaluamos el consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

2.4.2. Hipótesis específicos

- Si determinamos el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.
- Si identificamos el reactivo que se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

- Recuperación del oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

2.5.2. Variable independiente

- Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición		Dimensión	Indicador
	Conceptual	Procedimental		
V. dependiente	Recuperar el oro de	Incremento de la	Laboratorio	Porcentaje
Recuperación del oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro	minerales contenidos de hierro llamado refractario	recuperación de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio	metalúrgico	
V. Independiente	Evaluar el consumo de cianuro en el tratamiento con la adición de otro reactivo	Evaluar el consumo de cianuro con adición de otro reactivo a nivel experimental	Laboratorio metalúrgico	kilogramos por tonelada métrica
Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero.				

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación desarrollada ha tenido como tipo de investigación **EXPERIMENTAL**, porque permite responder a los problemas planteados, de acuerdo la caracterización sobre la evaluación metalúrgica a los minerales auríferos en la planta de beneficio de las Operaciones en Quicay de Corporación Minera Chancadora Centauro, mediante el uso de instrumentos de laboratorio, describiendo y explicando las causas – efectos de la oxigenación de pulpa y adición de óxido de plomo, para mejorar la recuperación de oro y reducir el consumo decianuro de sodio, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales realizadas. Según la investigación de Eleazar Salinas et al, manifiestan que:

“Muchos de los minerales de oro y plata son refractarios a los procesos convencionales de extracción, lo cual hace dificultoso su recuperación. Una condición bastante común que da la refractariedad de tales minerales es la distribución del oro y plata en

sulfuros de hierro, formados principalmente por las especies de pirita, arsenopirita o ambas a la vez”. (p. 1)

Para liberar los metales preciosos contenidos en este tipo de minerales, es preciso realizar un tratamiento preliminar de oxidación de la matriz sulfurosa que permita el contacto directo de los metales con el reactivo de lixiviación.

3.2. Nivel de investigación

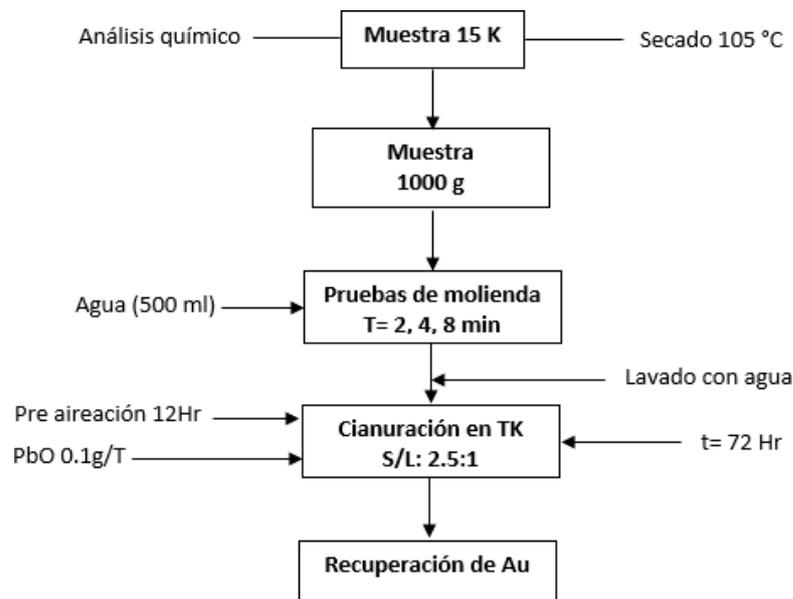
La presente investigación fue de nivel relacional, porque en el estudio se correlaciono dos variables mediante la aplicación de Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro S.A.C. – Pasco -2020

3.3. Método de investigación

El método que se aplicó en el estudio es el método cuantitativo, debido a que se realiza la cuantificación de datos de las pruebas experimentales y de las réplicas. Además, se realiza un análisis estadístico de los factores influyentes en la recuperación de oro. También se aplicó el método analítico – deductivo. “Analítico por que se analiza los efectos de los factores que intervienen en la operación de cianuración y deductivo por que realizamos conclusiones concretas en base a premisas de una serie de proposiciones que se asumen como verdaderas” (Nelly López, 2016, p.3).

3.4. Diseño de investigación

El diseño de las pruebas experimentales se planifico de la siguiente manera:



La planificación de las pruebas es de suma importancia para alcanzar el objetivo de la investigación.

En primer lugar, se redujo la muestra de mineral hasta obtener 15 Kg, el cual es sometido al horno de secado a 105 °C., de esta muestra se determinó el análisis químico de la ley de cabeza, también se separó las muestras para las pruebas de molienda y pruebas de cianuración por agitación, haciendo un total de 30 Kg.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio está considerada como las reservas probadas y probables de la Unidad Minera Quicay. Las operaciones en Quicay se iniciaron en el año dos mil dos, con una capacidad de tratamiento de la planta metalúrgica de 5,000 TM/día, la cual se incrementó progresivamente a 7,490 TM/día. Inicialmente se consideraba que Quicay tenía reservas oro de 150 mil onzas y una vida útil de dos años, sin embargo, fue gracias a los continuos trabajos de

exploración realizados por la Unidad Minera Quicay, que se logró extraer más de 600 mil onzas de oro a lo largo de una vida útil muy por encima de la esperada.

3.5.2. Muestra

Para el trabajo de investigación se ha desarrollado con una muestra de 15 Kg. La cantidad de muestra obtenida en cada muestreo se determinó por el método aplicado de Pierre Gy.

Determinación de la cantidad de muestra representativa (Teoría de Pierre Gy) Ecuación básica:

$$M = C \cdot d^3 \cdot \frac{1}{s^2}$$

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de Muestreo (g/cm³)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

s = Medida del error estadístico y normalmente es 0,01

Constante de Muestreo (C)

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

f = Factor de forma el cual es tomado como 0,5, excepto para minerales de oro que es 0,2

g = Factor de distribución de tamaño de partícula, g=0,25

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm³)

Factor de liberación

$$l = \frac{\sqrt{L}}{d}$$

L = Tamaño de liberación del mineral de interés (cm)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)
Factor Mineralógico (m)

$$m = \frac{1 - a}{a} [(1 - a).r + a x t]$$

a = Es la fracción del mineral de interés

r = Densidad del mineral de interés

t = Densidad de la ganga

La cantidad de muestra que se obtiene por muestreo en cada punto específico será de:

$$M = 13500g \approx 13,5 K$$

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este proceso se reúne y se mide la información obtenida tras una visualización completa y precisa acerca de la cianuración del oro con la finalidad de reducir o eliminar el uso del cianuro de sodio y elevar la recuperación del oro. Como técnica hemos empleado el **método de observación**, pues con ella podemos inspeccionar nuestros datos en forma discreta y sencilla sin depender de un intermediario. Lo que se hizo es registrar las observaciones en un cuaderno de apuntes y se usó una laptop para tener fácil acceso a la información y continuar con la investigación a la hora deseada.

Los Equipos utilizados para la recolección de datos son:

- Cortador Jones.
- Secador eléctrico.
- Bandejas.

- Tela o hule.
- Cortador Jones.
- Balanza analítica.
- Cuaderno de apuntes.
- Laptop.

3.7. Técnicas de procesamiento de y análisis de datos

Para el procesamiento de datos debemos de hacer una descripción de las distintas pruebas realizadas a nivel de laboratorio para obtener respuestas de acuerdo con la hipótesis u objetivos las que serán sometidos a una clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. En cuanto al Análisis de datos nos definimos por la Estadística, con la aplicación de diseños experimentales que nos ayuda a descifrar lo que revelan los datos recolectados.

3.8. Selección, confiabilidad y validación de los instrumentos de investigación

Los experimentos de laboratorio fueron seleccionados como instrumentos para recopilar información.

Antes de iniciar la recolección de datos y garantizar la confiabilidad de nuestros instrumentos de medición se realizaron pruebas piloto, comprobando que el instrumento de medición arroja resultados similares en condiciones similares.

La validez de los instrumentos de medición se comprobó por que los datos a evaluar son cuantitativos.

La confiabilidad y validez son requisitos esenciales para que nuestros instrumentos de recolección de datos cuenten con el rigor científico necesario.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el trabajo de investigación se hizo uso del análisis de la varianza a

través de anova. En la parte de la prueba de hipótesis hacemos la explicación de toda esta varianza.

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza

ANALISIS DE VARIANZA									
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedios de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor para F			

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Ética de la Libertad. Se tiene la idea, que la ética es un conjunto de reglas que se debe de cumplir, es decir, no solo es conocerla sino saber aplicar cada norma. Es necesario entender que la libertad no es absoluta, los márgenes para la ejecución de la libertad son siempre limitados por condiciones sociales, familiares, psicológicos, históricos. “Así es, vivir éticamente es ejercer la libertad dentro de los márgenes que cada uno requiere”.

Ética de los Valores. La ética de valores es reducida a un conjunto de prohibiciones. Que es analizado en un punto de vista de los valores, pareciera que la ética es la frontera que divide lo que se hace y lo que no se hace. La ética de los valores no diferencia en lo que se hace.

Ética y Responsabilidad. Para entender a la ética de la responsabilidad es importante saber diferenciar lo que existe entre ética de responsabilidad y ética de convicción. En la ética de la convicción cumple con el mayor de las acciones que sus convicciones, si surge un inconveniente éste no se responsabiliza por la falta, sino que más bien la culpa al mundo, a la estupidez de los hombres o a la voluntad de Dios, sin asumir él ninguna responsabilidad. En la ética de la responsabilidad todo lo contrario el individuo asume la responsabilidad de no haber previsto que pueden existir fallas (NOGUEIRA, 1999, p.2).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Vamos a describir sobre el trabajo que se ha desarrollado en la Corporación Minera Chancadora Centauro con la finalidad de minimizar el consumo de cianuro e incrementar la recuperación del oro para ello se hizo lo siguiente:

4.1.1. Obtención de la muestra

En la Corporación Minera Chancadora Centauro se ha recolectado la muestra por el espacio de 24 horas en los puntos de muestreo del mineral que va a lixiviación en pilas, todo ello fue llevado al laboratorio químico metalúrgico donde se hizo secar la muestra en el horno de secado a una temperatura de 105 °C, por el espacio de dos horas, luego se hizo todo el procedimiento del muestreo para hacer un compuesto de 15 kg. de los cuales se ha ido separando con el separador de Jones para las pruebas metalúrgicas desde 400 gr. a 500 gr., dependiendo del diagrama de lixiviación.

4.1.2. Ensayo de mineral de cabeza

Después del muestreo se ha separado 50 gramos de muestra que ha sido finamente reducido y llevado a laboratorio químico para el análisis de acuerdo a los parámetros en un análisis por la vía clásica de los cuales han sido reportado de la siguiente manera:

Tabla 2

Ley de cabeza del mineral aurífero

Producto		% Ley	Ley g/TM
Cobre	Cu	0,8	-
Hierro	Fe	4,2	-
Arsénico	As	0,2	-
Plata	Ag	-	15,1
Oro	Au	-	0,45

Nota: Ensayo de laboratorio

4.1.3. Determinación del tiempo de molienda

En la obtención del tiempo de molienda, del compósito, se hicieron tres moliendas con tiempos diferentes (2, 4, 8 minutos), los productos son analizados por el análisis granulométrico con la elaboración de la curva de moliendabilidad. Las pruebas de molienda se hicieron en un molino de bolas estándar de laboratorio de 6" x 9", a un porcentaje de sólidos de 65,6 %. Las condiciones de operacionales son los siguientes:

- 1 000 gramos de mineral
- 500 mililitros de agua
- Tiempo de molienda: 2, 4, 8 minutos.

- Con 10,8 Kilos de bolas (60% de 1” de Ø y 40% de 1,5” de Ø)
- Los resultados de P80 y porcentajes de mallas para cada compuesto se presentan a continuación:

Tabla 3
Resumen de Tiempo de molienda

Tiempo	-m#450 (%)	- m#500 (%)	-m#635 (%)	P80
Minutos	32 (µm)	25(µm)	20 (µm)	(µm)
2,0	52,0	47,5	42,0	77
4,0	57,8	52,8	46,4	62
8,0	62,9	57,0	49,8	51

Nota: Datos tomados de laboratorio

4.1.4. Determinación de parámetros operativos del proceso

Para los propósitos de esta investigación, se seleccionaron las variables de pre- aireado alcalino con cal, adición de óxido de plomo y el lavado de la pulpa, estos parámetros usados en el proceso son:

- Muestra de mineral 0,400 Kg.
- Mineral molido a 70 % malla –200.
- Relación solidos-líquido 2,5:1.
- Tiempo de Pre-aireado 12 horas.
- Adición de óxido de plomo 0,1 Kg/TM.
- Agua para el lavado 1 litro por muestra.

4.1.5. Parámetros operativos en la cianuración

En la presente investigación podemos establecer parámetros para evitar

la formación de cianidas y la disolución de otros elementos en nuestro proceso y por consiguiente, pérdidas en el consumo de cianuro debemos trabajar con los siguientes parámetros:

- pH de 9,5 a 11
- Fuerza de cianuro de 0,05%
- Fuerza de la cal en 0,025%
- Tiempo de agitación de 72 horas.

4.1.6. Condiciones de pre aireación con lavado y sin lavado

Existiendo muchos parámetros que intervienen en el proceso, tales como: mecanismo de agitación, lavado de la pulpa, pre-aireado con cal, adición de óxido de plomo, adición de cianuro de sodio, granulometría del mineral, tiempo de cianuración, etc. Por lo tanto, las otras variables se mantendrán constantes durante la experimentación.

Se ha tomado el pre-aireado alcalino, como la adición de óxido de plomo y el lavado de la pulpa son variables cuantificables, cuyos valores se fijan a dos niveles según el siguiente nivel:

Tabla 4
Determinación de niveles

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

Nota: Parámetros tomados de chancadora Centauro

Esperando que ocurra las interacciones entre las variables en estudio, por

lo que las variaciones ocurridas en una de las variables influyan en la otra.

Se selecciona dos variables respuestas, la primera es la recuperación de oro y la segunda es el consumo de NaCN.

4.1.7. Parámetros que se mantienen constantes

- Porcentaje de Sólidos = 50,30%
- Gravedad Especifica = 2,35
- Densidad de la Pulpa = 0,45 gr/cm³
- pH = 11,0
- Cal inicial = 4,0 gr con una pureza de 75%
- Fuerza de Cianuro = 0,05%
- Fuerza de Cal = 0,0025%
- Tiempo de Cianuración = 72 horas

4.1.8. Características del tanque agitador

Del motor:

- Amperaje = 0,38 A
- Voltaje = 220 v
- Potencia = 70 W
- Revoluciones = 2250 RPM

Del tanque:

- Diámetro del Tanque 15 cm
- Altura del Tanque 20 cm
- Diámetro de la mariposa 3 cm
- Revoluciones de Agitación de 845 RPM.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para las pruebas metalúrgicas se ha utilizado el rodillo del molino de bolas

para hacer rodar la botella con el mineral preparado al inicio se agita suavemente para que CNNa entre en contacto con el mineral, luego en otra botella se hace el preaireado con una agitación suave, en otra botella se agrega como medio lixivante el óxido de plomo.

Durante la prueba controlamos estrictamente los niveles de oxígeno, alcalinidad, consumo de ácido y otros parámetros.

Los resultados de la prueba se informan sobre las tasas de extracción y consumo de reactivos. Esta prueba de lixiviación en botella indica de forma precisa los resultados que obtiene en la planta piloto y la extracción final de oro.

Los procedimientos de la prueba de lixiviación en botella, es estandarizado, se sigue parámetros estrictamente controlados de tiempo, tamaño de grano, agitación, alcalinidad, oxigenación y niveles de ácido. Las pruebas se realizan durante 12, 24, 36 ó 48 horas, y producen resultados más detallados posibles obteniéndose:

- Grado y cantidad de oro extraído.
- Cinética específica de lixivabilidad del mineral
- Varianza metalúrgica en el mineral, incluyendo el efecto del oro y otra sustancia que afecta al consumo del cianuro de sodio y la eficacia del lixiviado.
- Datos específicos sobre alcalinidad y niveles O₂

4.2.1. Pruebas experimentales.

Se han realizado pruebas experimentales a nivel laboratorio y piloto para comprobar el comportamiento del cianuro de sodio con tratamientos previos, adicionando aire antes de la prueba para ir oxidando la muestra luego se agregó el óxido de plomo para controlar los sulfuros presentes en la muestra con la finalidad

de disminuir el consumo de cianuro de sodio, a continuación, se presenta el balance de las pruebas experimentales:

Tabla 5
Resultados de los porcentajes de recuperación de oro.

P r u e b a	Sin Pretratamie nto	Agua	Pre- aireación	Agua y Pre- aireación	Óxido de plomo	Agua y Óxido de plomo	Pre- aireación y óxido de plomo	Agua, Pre- aireación y óxido de plomo
1	75,9 7%	79,31 %	87,81%	83,38 %	78,55 %	83,01 %	83,01%	92,97 %
2	76,7 3%	78,55 %	85,23%	81,27 %	77,81 %	78,94 %	78,94%	92,62 %
3	76,4 8%	78,81 %	87,34%	82,69 %	77,37 %	81,05 %	81,89%	92,94 %

Nota. Datos tomados de laboratorio

Tabla 6
Resultados de los consumos de NaCN (kg/TM.)

Prue ba	Sin Pretratamie nto	Ag ua	Pre- aireación	Agua y Pre- aireación	Óxido de plo mo	Agua y Óxido de plomo	Pre- aireación y Óxido de plomo	Agua, Pre- aireación y Óxido de plomo
1	4, 9 4	3,9 1	3,81	3,81	4, 2 2	3, 8 8	3,80	3,80
2	4, 9 5	3,9 2	3,82	3,80	4, 2 3	3, 8 9	3,79	3,79
3	4, 9 4	3,9 3	3,83	3,81	4, 2 1	3, 8 8	3,80	3,80

Nota. Datos tomados de laboratorio

4.2.2. 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 auríferos con alto contenido de hierro. 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.

4.2.3. Aplicación del diseño factorial

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 7

Matriz de diseño con valores codificados para la recuperación de oro

N°	Factores							Respuesta			Medi a
	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, 97	76,7 3	76, 48	76,39
2	- 1	- 1	+ 1	+1	-1	-1	+1	78, 55	77,8 1	77, 37	77,91
3	- 1	+ 1	- 1	-1	+1	-1	+1	87, 81	85,2 3	87, 34	86,79
4	- 1	+ 1	+ 1	-1	-1	+1	-1	83, 01	78,9 4	81, 89	81,28
5	+ 1	- 1	- 1	-1	-1	+1	+1	79, 31	78,5 5	78, 81	78,89
6	+ 1	- 1	+ 1	-1	+1	-1	-1	83, 01	78,9 4	81, 05	81,00
7	+ 1	+ 1	- 1	+1	-1	-1	-1	83, 38	81,2 7	82, 69	82,45
8	+ 1	+ 1	+ 1	+1	+1	+1	+1	92, 97	92,6 2	92, 94	92,84

Nota. Elaboración propia

➤ **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:

MSefectos = SSefectos/glt

MSerror = SSerror/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

$$a \sum_{i=1}^{Nr} Nrj - 1$$

(sumatoria del número de réplicas-1)

ANOVA; Var; RECUPERACIÓN, R-sqr = 0,96057; Adj: 0,94335

(disexp.sta) 2* (3-0) design: MS Residual = 1,53616DV:

RECUPERACIÓN

Tabla 8
Análisis de varianza

	S S	df	MS	F	p
(1) PRE-AIREACIÓN	27,2426	1	27,2427	17,7344	0,00066 3
(2) ÓXIDO DE PLOMO	318,5001	1	318,5002	207,336 7	0,00000 0
(3) LAVADO	61,3441	1	61,3440	39,9336	0,00001 0
1 by 2	0,5921	1	0,5922	0,3855	0,54341 3
1 by 3	101,9701	1	101,9700	66,3803	0,00000 0
2 by 3	1,0291	1	1,0292	0,6700	0,42507 9
1*2*3	88,2816	1	88,2817	57,4695	0,00000 1
Error	24,5785	16	1,5361		
Total SS	623,5382	23			

Nota. Elaboración propia

Para el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; $glt = 1$; $gle = 16$, por lo tanto

$$F_{(0,05;1;16)} = 4,49$$

Siendo la condición de $F_0 > F(\alpha ;glt;gle)$ donde se cumple para $X_1, X_2, X_3,$

X_1X_3 y $X_1X_2X_3$, por ende, que 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. teniendo el

resultado formulamos el modelo matemático y es la siguiente:

$$\hat{Y} = 82,18958 + 1,06542X_1 + 3,64292X_2 + 1,59875X_3 + 2,06125X_1X_3 + 1,91792X_1X_2X_3$$

➤ **Análisis de residuos para la recuperación de oro**

Para realizar el análisis de los residuos se usa las fórmulas siguientes:

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

Donde.

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

Y = Y observado o respuesta experimental.

Nr = Número total de experimento.

l = Número de parámetro del modelo matemático.

$N_r - l$ = Grados de libertad del residuo = glR (son el número de datos que son libres de variar cuando se calcula las pruebas)

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

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

Tabla 9
Análisis o estudio de residuos

N _o	X ₁	X ₂	X ₃	Y			Medi _a	\hat{Y}	R=(Yr- \hat{Y})		
				Y ₁	Y ₂	Y ₃			R _{Y1}	R _{Y2}	R _{Y3}
1	-	-	-	75,9	76,	76,	76,39	76,0258	-	0,6941	0,4441
	1	1	1	7	73	48		4	0,0458	6	6
2	-	-	+	78,5	77,	77,	77,91	78,9366	-	-	-
	1	1	1	5	81	37		6	0,3766	1,1166	1,5566
									6	6	6
3	-	+	-	87,8	85,	87,	86,79	87,1475	-1,9275	-1,9275	0,1825
	1	1	1	1	23	34		0			
4	-	+	+	83,0	78,	81,	81,28	82,3866	0,6133	-	-
	1	1	1	1	94	89		6	4	3,4566	0,5066
										6	6
5	+	-	-	79,3	78,	78,	78,89	77,87	1,43	0,69	0,93
	1	1	1	1	55	81					
6	+	-	+	83,0	78.	81,	81,00	81,3541	1,6458	-	-
	1	1	1	1	94	05		6	4	2,4241	0,3141
										6	6
7	+	+	-	83.3	81,	82,	82,45	81,32	2,05	-0,06	1,36
	1	1	1	8	27	69					
8	+	+	+	92,9	92,	92,93	92,8	92,4758	0,5041	0,1341	0,454
	1	1	1	7	62	4	4	4	6	6	16

Nota. Datos de procesos

$$SSM_R = \frac{43,142513}{21} = 2,0544054$$

Analizando estadísticamente si el modelo matemático propuesto representa a los datos experimentales, hacemos la prueba F.

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{Error}} = \frac{2,0544054}{1,5361} = 1,3374164$$

El modelo es aceptado si $F_0 < F(\alpha; gl_r; gl_e)$, $F_{(0,05;21;16)} =$

2,27. Entonces el modelo matemático es aceptado.

Codificación del modelo. Para ser usado como modelo podemos reemplazar los valores reales de las variables, debiendo calcular:

$$\text{Centro de diseño: } Z^0 = \frac{12 + 0}{2} = 6 \quad Z^0 = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \quad Z^0 = \frac{2 + 0}{2} = 1$$

$$\text{Radio de diseño: } \frac{12 + 0}{2} = 6 \quad \Delta Z_{x2} = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \quad \Delta Z_{x3} = \frac{2 + 0}{2} = 1$$

$$\text{Relación } \frac{0_{x1}}{\Delta Z_{x1}} = \frac{6}{6} = 1 \quad \frac{0_{x2}}{\Delta Z_{x2}} = \frac{0,05}{0,05} = 1 \quad \frac{0_{x3}}{\Delta Z_{x3}} = \frac{1}{1} = 1$$

$E: E_{x1} =$

El modelo codificado se calcula según

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

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

$$a_0 = 82,18958 - (1,06542) (1) - (3,64292) (1) - (1,59875) (1) = 75,88249$$

$$a_1 = \frac{\left(\frac{\Delta X_1}{2}\right)}{\Delta Z_{x1}} = \frac{1,06542}{6} = 0,17757$$

$$a_2 = \frac{\left(\frac{\Delta X_2}{2}\right)}{\Delta Z_{x2}} = \frac{3,64292}{0,05} = 72,8584$$

$$a_3 = \frac{\left(\frac{\Delta X_3}{2}\right)}{\Delta Z_{x3}} = \frac{1,59875}{1} = 1,59875$$

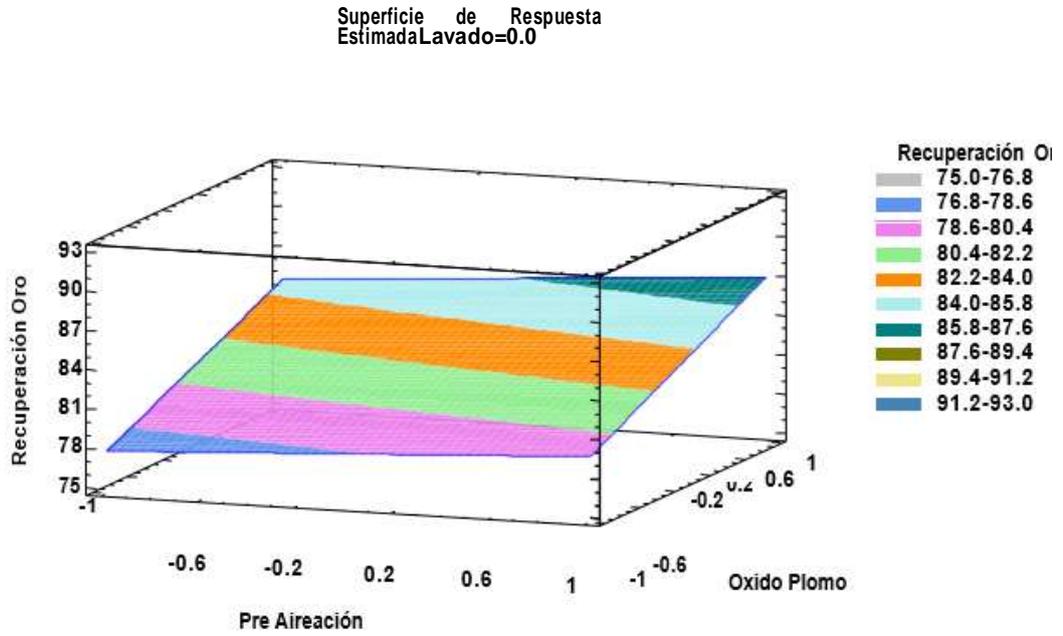
$$a_{13} = \frac{\left(\frac{\Delta Z_{13}}{2}\right)}{\Delta Z_1 \Delta Z_3} = \frac{2,06125}{(6)(1)} = 3,3435416$$

$$a_{123} = \frac{\left(\frac{\Delta Z_{123}}{2}\right)}{(\Delta Z_1)(\Delta Z_2)(\Delta Z_3)} = \frac{1,91792}{(6)(0,05)(1)} = 6,3930667$$

El modelo codificado se expresa así

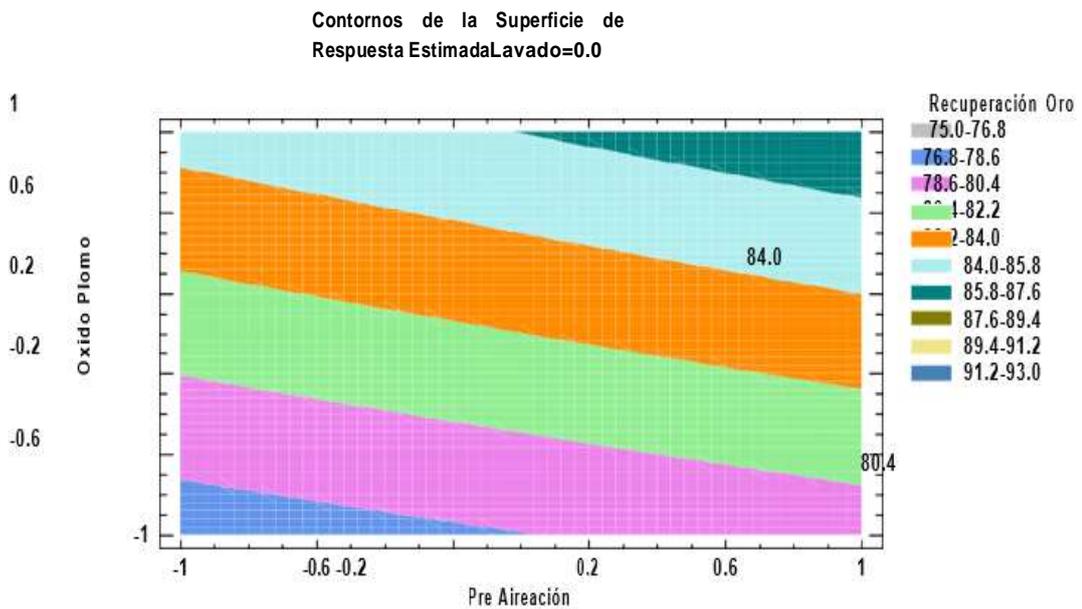
$$\hat{Y}_D = 75,88249 + 0,17757Z_1 + 72,8584Z_2 + 1,59875Z_3 + 0,3435416Z_1Z_3 + 6,3930667Z_1Z_2Z_3$$

Figura 4
Superficie respuesta de la recuperación del oro



Nota. Elaboración propia

Figura 5
Contorno respuesta de la recuperación del oro



Nota. Elaboración propia

Tabla 10**Matriz del diseño con valor codificado para el consumo de NaCN**

N o	Factores							Respuesta			Medi a
	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	4,9 4	4,95	4,94	4,94
2	-	-	+	+1	-1	-1	+1	4,2 2	4,23	4,21	4,22
3	-	+	-	-1	+1	-1	+1	3,8 1	3,82	3,83	3,82
4	-	+	+	-1	-1	+1	-1	3,8 0	3,79	3,80	3,80
5	+	-	-	-1	-1	+1	+1	3,9 1	3,92	3,93	3,92
6	+	-	+	-1	+1	-1	-1	3,8 8	3,89	3,88	3,88
7	+	+	-	+1	-1	-1	-1	3,8 1	3,80	3,81	3,81
8	+	+	+	+1	+1	+1	+1	3,8 0	3,79	3,80	3,80

Nota. Elaboración propia

➤ **Análisis de la Varianza Para la Recuperación del Oro**

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

design; MS Residual = 0,0000583 DV: CNNa

Tabla 11
Análisis de varianza en la recuperación del oro

	S S	df	MS	F	p
(1) PRE-AIREACIÓN	0,697004	1	0,69700 4	11948,6 4	0,00000 0
(2) ÓXIDO DE PLOMO	1,166004	1	1,16600 4	19988,6 4	0,00000 0
(3) LAVADO	0,230104	1	0,23010 4	3944,64	0,00000 0
1 by 2	0,663338	1	0,66333 8	11371,5 0	0,00000 0
1 by 3	0,189037	1	0,18903 7	3240,64	0,00000 0
2 by 3	0,189038	1	0,18903 8	3240,64	0,00000 0
1*2*3	0,178538	1	0,17853 8	3060,64	0,00000 0
Error	0,000933	16	0,00005 8		
Total SS	3,313996	23			

Nota. Datos de comparación de medias

Para el nivel de significación: $\alpha = 0,05$; $glt = 1$; $gle = 16$, entonces

$$F(0,05;1;16) = 4,49$$

La condición de $F_0 > F(\alpha ;glt;gle)$ 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 .

Obtenido la condición formulamos el modelo matemático:

$$\hat{Y} = 4,014583 - 0,170417X_1 - 0,220417X_2 - 0,097917X_3 + 0,166250X_1X_2 + 0,08875X_1X_3 + 0,08875X_2X_3 - 0,08625X_1X_2X_3$$

➤ Análisis de Residuos para el Consumo de Nacn

Para analizar su distanciamiento de los valores que se predicen con el modelode los valores experimentales, se realiza el análisis de residuos.

Tabla 12
Análisis de residuos en el consumo de Cianuro de sodio

N o	X 1	X 2	X 3	Yr			Media	\hat{Y}	R=(Yr- \hat{Y})		
				Y1	Y2	Y3			Ry1	Ry2	Ry3
1	- 1	- 1	- 1	4,9 4	4,95	4,9 4	4,94	4,93333 4	- 0,00333 4	0,00666 6	0,00666
2	- 1	- 1	+ 1	4,2 2	4,23	4,2 1	4,22	4,21	0,0	0,01	-0,01
3	- 1	+ 1	- 1	3,8 1	3,82	3,8 3	3,82	3,81	-0,01	0,0	0,01
4	- 1	+ 1	+ 1	3,8 0	3,79	3,8 0	3,80	3,78666 6	0,00333 4	- 0,00666 6	0,00333 4
5	+ 1	- 1	- 1	3,9 1	3,92	3,9 3	3,92	3,91	-0,01	0,0	0,01
6	+ 1	- 1	+ 1	3,8 8	3,89	3,8 8	3,88	3,88666 6	0,00333 4	- 0,00666 6	0,00333 4
7	+ 1	+ 1	- 1	3,8 1	3,80	3,8 1	3,81	3,79666 6	0,00333 4	- 0,00666 6	0,00333 4
8	+ 1	+ 1	+ 1	3,8 0	3,79	3,8 0	3,80	3,78333 2	0,00666 8	- 0,00333 2	- 0,00333 2

Nota. Datos de residuos

$$SSM_R = \frac{9,666 \cdot 10^{-4}}{21} = 4,60314 \cdot 10^{-5}$$

Para obtener estadísticamente si el modelo matemático determinado representa a los datos experimentales, se realiza la prueba

$$F_0 = \frac{SSM_R}{MS_{Error}} = \frac{4,60314 \cdot 10^{-5}}{1,5361} = 2,99664 \cdot 10^{-5}$$

El modelo es aceptado si $F_0 < F(\alpha_{glr;gle}, F_{(0,05;21;16)}) = 2,27$

Entonces el modelo matemático es aceptado.

Codificación del modelo. Para que en el modelo se pueda reemplazar

los valores reales de las variables, se debe calcular:

$$\text{Centro de diseño: } Z^{\circ}_{x1} \frac{12 + 0}{2} = 6 \quad Z^{\circ}_{x2} \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \quad Z^{\circ}_{x3} \frac{2 + 0}{2} = 1$$

$$\text{Radio de diseño: } \Delta Z^{\circ}_{x1} \frac{12 + 0}{2} = 6 \quad \Delta Z^{\circ}_{x2} \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \quad \Delta Z^{\circ}_{x3} \frac{2 + 0}{2} = 1$$

$$\text{Relación E: } E_{x1} = \frac{Z^{\circ}_{x1}}{\Delta Z^{\circ}_{x1}} = \frac{6}{6} = 1 \quad \frac{Z^{\circ}_{x2}}{\Delta Z^{\circ}_{x2}} = \frac{0,05}{0,05} = 1 \quad \frac{Z^{\circ}_{x3}}{\Delta Z^{\circ}_{x3}} = \frac{1}{1} = 1$$

El modelo codificado lo calculamos de acuerdo a:

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

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

$$a_0 = 4,014583 - (-0,170417)(1) - (-0,220417)(1) - (-0,097917)(1) = 4,503334$$

$$a_1 = \frac{(\Delta X_1/2)}{\Delta Z_{x1}} = \frac{-0,170417}{6} = -0,0284028 \quad a_2 = \frac{(\Delta X_2/2)}{\Delta Z_{x2}} = \frac{-0,220417}{0,05} = -4,40834$$

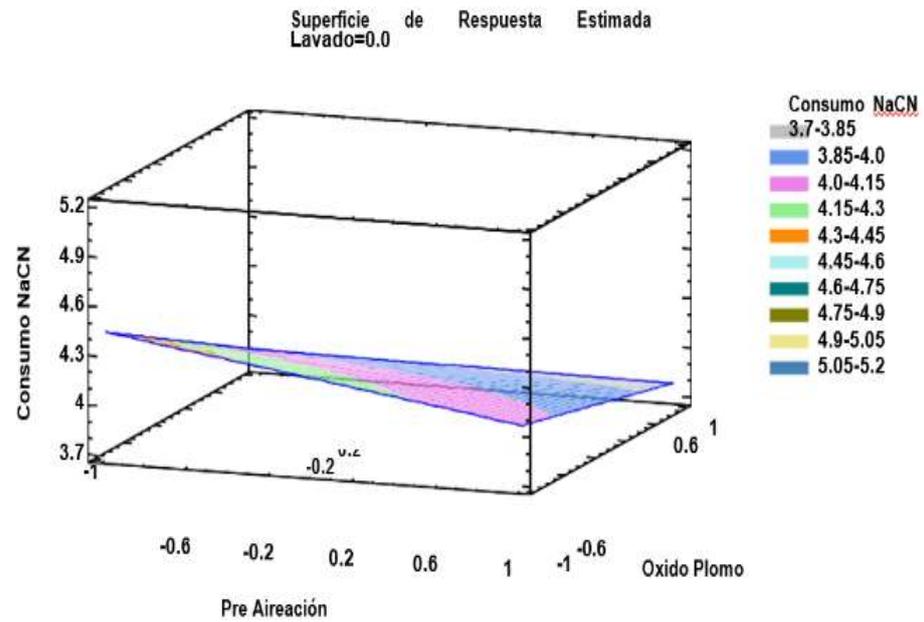
$$a_3 = \frac{(\Delta X_3/2)}{\Delta Z_{x3}} = \frac{-0,097917}{1} = -0,097917 \quad a_{12} = \frac{(\Delta X_{12}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_2} = \frac{0,16625}{(6)(0,05)} = 0,5541666$$

$$a_{13} = \frac{(\Delta X_{13}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_3} = \frac{0,08875}{(6)(1)} = 0,0147916 \quad a_{23} = \frac{(\Delta X_{23}/2)}{\Delta Z_2 \Delta Z_3} = \frac{-0,08875}{(0,05)(1)} = -1,775$$

$$a_{123} = \frac{(\Delta X_{123}/2)}{\Delta Z_1 \Delta Z_2 \Delta Z_3} = \frac{-0,08625}{(6)(0,05)(1)} = -0,2875$$

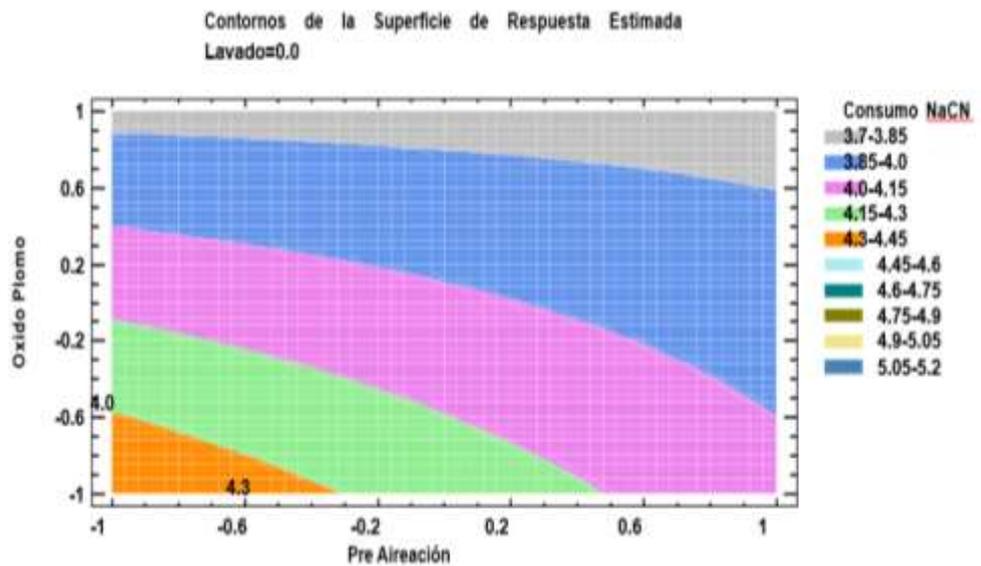
$$\hat{Y}_D = 4,503334 - 0,0284028Z_1 - 4,40834Z_2 - 0,097917Z_3 + 0,5541666Z_1Z_2 + 0,0147916Z_1Z_3 + 1,775Z_2Z_3 - 0,2875Z_1Z_2Z_3$$

Figura 6
Superficie respuesta estimada



Nota: Elaboración propia

Figura 7
Contorno respuesta del consumo de cianuro



Nota. Elaboración propia

4.2.4. Evaluación del modelo

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

$$Y = 82,18958 + 1,06542X_1 + 3,64292X_2 + 1,59875X_3 + 2,06125X_1X_3 + 1,91792X_1X_2X_3$$

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 óxido de plomo y en 2 lavadas de pulpa, el tiempo de pre-aireación para obtener una recuperación del 92.84 % 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 óxido de plomo y hacer 2 lavados a la pulpa antes de la cianuración.

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

$$Y = 4,014583 - 0,170417X_1 - 0,220417X_2 - 0,097917X_3 + 0,166250X_1X_2 + 0,08875X_1X_3 + 0,08875X_2X_3 - 0,08625X_1X_2X_3$$

Es decir que hay una disminución en el consumo de NaCN 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 óxido de plomo, con 2 lavadas de pulpa y 15,6 horas de pre-aireado con cal, el consumo de NaCN será:

^

$$Y=4,014583-0,170417(+1,3)-0,220417(+1)-0,097917(+1)+0,166250(+1,3)(+1) \\ +0,08875(+1,3)(+1)+0,08875(+1)(+1)-0,08625(+1,3)(+1)(+1)$$

$$Y = 3,78 \text{ Kg/TM}$$

4.3. Prueba de hipótesis

Para la demostración de la hipótesis de se planteó de la siguiente manera:

Hipótesis Nula (H_0)

La evaluación de consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero no afecta la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

Hipótesis Alterna (H_1)

La evaluación de consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero si afecta la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

Nivel de significancia

$$\alpha=0,05$$

Estadístico de prueba

Tabla 13
Análisis de Varianza

Fuente	SC Ajust.	G L	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	599,41	7	85,6302	97,46	0,000
Bloque	12,30	2	6,1515	7,00	0,008
Error	12,30	14	0,8786		
Total	624,01	23			

Nota. Elaboración propia

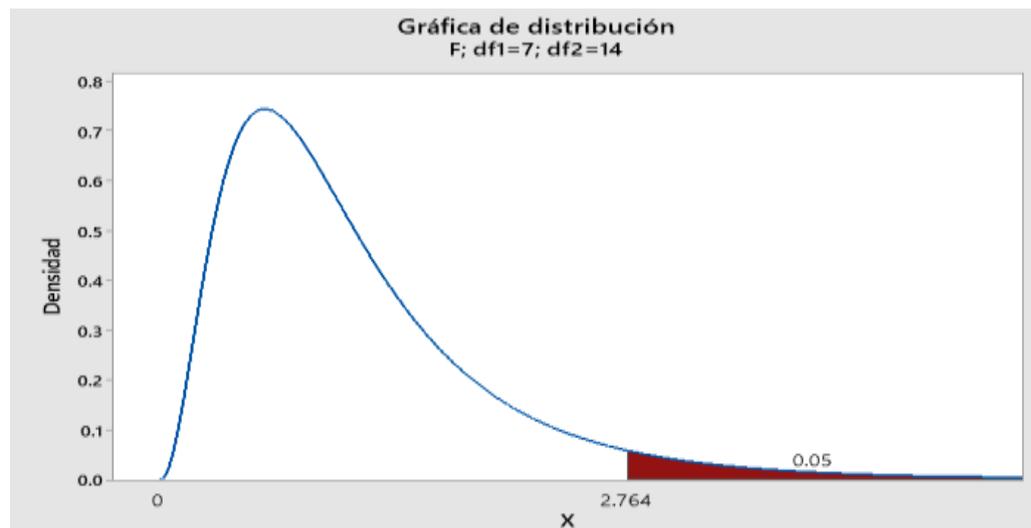
Regla de decisión

(Si $P > \alpha$ se acepta la H_0) (Si $P < \alpha$ se rechaza la H_0)

$P = 0,000 < \alpha = 0,05$ o $F_o = 97,46 > F_t = 2,764$

Figura 8

Gráfico de distribución



Decisión

Se acepta la hipótesis alterna

Conclusión

Existe suficiente evidencia para afirmar que la evaluación de consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero si afecta la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro, con un nivel de significancia del 0.5%.

4.4. Discusión de resultados

De la prueba de hipótesis se comprueba que el tratamiento (evaluación del

consumo decianuro) aplicado, si tiene influencia en la recuperación de oro, por el $F_c = 97,46 > F_{0,05,7,14} = 2,75$, por lo que se aceptó la hipótesis alterna, llegando a la conclusión que la evaluación del consumo de cianuro influye en el tratamiento de mineral aurífero para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.

Como afirma Contreras N. “El alto consumo de cianuro puede deberse a algún metal, oxidación de cianuro por aireación excesiva o a substancia orgánica presente en el mineral”. (1989 p.2) En nuestro caso, trabajando con agua - pre aireación – oxido de plomose redujo el consumo de cianuro de sodio de 4,94 a 3,80 k/T, prácticamente en 1,14 k/T, que beneficia a la empresa.

En cuanto a la identificación del reactivo que minimiza el consumo de cianuro mencionan, “que la cantidad de cianuro destruido se reduce con la adición de cal que tiene la finalidad de mantener la alcalinidad protectora” (Mussatti et al., 1998, p2),

Al respecto Contreras N. manifiesta: “Si las pruebas revelan un excesivo consumo de cianuro, aun con exceso de álcali; Se investigará las causas, se analiza la solución después del tratamiento por cobre, plata, sulfocianuro y ferrocianuro, se podrá apreciar el consumo de cianuro teóricamente” (1989, p.3).

CONCLUSIONES

1. El consumo de cianuro es 3,80 k/T, teniendo una recuperación de 92,84% de oro. Además, se logró reducir el consumo de cianuro de sodio en 1.14 k/T. La recuperación del oro se elevó en un 16,45 % aplicando los tres pretratamientos, (agua + óxido de plomo + pre- aireación), superando al obtenido en un proceso convencional que solo llega a un 76,39 % de recuperación.
2. La reducción del exceso de consumo de cianuro se logró con la adición del óxido de plomo con pre aireación, favoreciendo directamente a la Corporación Minera Chancadora Centauro. La acción del óxido de plomo en la solución de cianuro se deposita sobre la superficie de las partículas de oro porque se produce una reacción de cementación. Siendo 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.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener cuidado en la manipulación de los reactivos y usar cantidades adecuadas sobre todo si se trata del óxido de plomo, para no perjudicar el proceso.
2. Se recomienda no inyectar demasiado oxígeno a la pulpa porque sería innecesario por que la pulpa una vez saturada con oxígeno el resto se pierde al medio ambiente.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Contreras N. (1989), Experimentación de minerales de oro y plata por el proceso de cianuración

Carrillo, F.R.; Soria, M.J.; González, J.A. Procesamiento de minerales con metales preciosos y minerales siderúrgicos empleando ozono. XXIV Convención Internacional Minera. 2001.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+Procesamiento+de+minerales+con+metales+preciosos+y+minerales+sider%C3%BArgicos+empleando+ozono&author=Carrillo+F.R.&author=Soria+M.J.&author=Gonz%C3%A1lez+J.A.&publication_year=2001.

Dean Mussatti, Jennifer Mager and G.P. Martins. (1998), Aspectos electroquímicos de la disolución de electrolitos de cianuro de oro que contienen plomo. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales Colorado School Of Mines Golden.

Eleazar Salinas et. al.,(2004), Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la pre oxidación de minerales sulfurosos con ozono. Revista SCIELO https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S058376932004000400021. 911metallurgist. (01 de enero 2017). Cianuración De Oro Y Plata, <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/cianuracion-oro-plata/>

Nelly L, Irma S. (2016). Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa. <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/176/3/M%c3%a9todos%20y%20t%c3%a9nicas%20de%20investigaci%c3%b3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>.

Nogueira, (1999), Apuntes de etica
<http://www.members.tripod.com/ivancontreras/index1.html> The Nile Machinery Co. Ltd.
(2017). Agente De Lixiviación Sin Cianuro De Oro.
https://es.nilemining.ltd/jawcrusher/69.html?gclid=EAIaIQobChMIzY74hpHh5wIVDwWRCh1eyAc1EAAAYASAAEgLjWvD_BwE#m3

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Estudio cinético del proceso de determinación del orden de reacción y la constante de velocidad

Para determinar el orden de reacción se hicieron pruebas usando el siguiente equipo:

1.- Un tanque de 5 litros con agitación mecánica con 300 RPM para el caso de pruebas de inyección de oxígeno.

Se acopló en las paredes laterales de una manguera de 0,635 cm de diámetro adherida a la pared que alimentaba un promedio de ½ litro de aire por minuto con lo que se saturaba la solución ocasionando una solubilización de oxígeno aproximado de 0.8mgr de oxígeno por litro.

2.- Un motor con potencia de ¼ HP, con poleas de reducción.

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES.

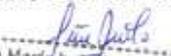
- 1.1. Apellidos y nombres del informante: AVILA ZARATE, María Luisa
- 1.2. Grado académico: Ingeniero Químico
- 1.3. Cargo e institución donde labora: Ingeniero Químico - Cerro S.A.C
- 1.4. Título de la investigación: "Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro S.A.C. – Pasco – 2020".
- 1.5. Autor del Instrumento: PALMA VALVERDE, Miguel
- 1.6. Nombre del Instrumento:
Determinación del consumo de cianuro en la recuperación de oro.

II. ASPECTOS DE EVALUACIÓN:

INDICADORE	CRITERIOS	Deficiente 0–20%	Regular 21–40%	Buena 41–60%	Muy Buena 61–80%	Excelente 81–100%
CLARIDAD	Hace referencia al problema mencionado en las variables					95
OBJETIVIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					94
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales				80	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					95
SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad.				80	
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio					94
CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos					83
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto de la tabla				80	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito de la investigación					94
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías.					95

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Aplicable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 89 %



María L. Ávila Zárate
INGENIERO QUÍMICO
D.P. N° 18461

Firma del experto

DNI: 45599610

Lugar y Fecha: Cerro de Pasco – 20/12/2022

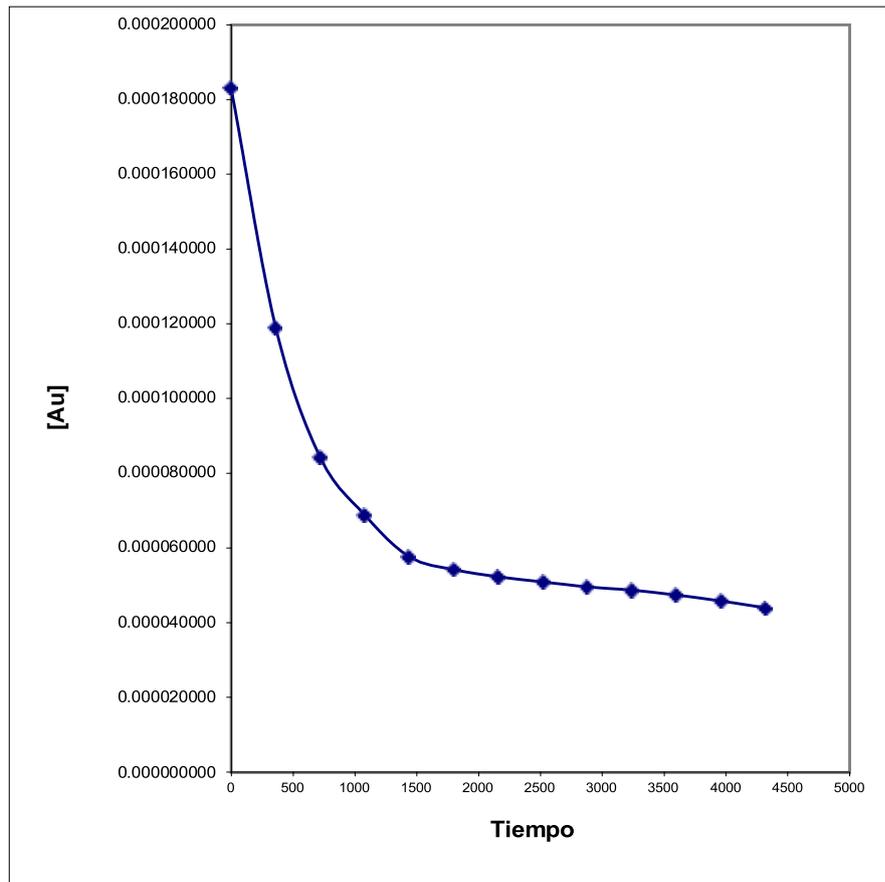
Teléfono: 988 841 576

DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO SIN PRE-TRATAMIENTO.

PRUEBA N° 1

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	0,000000178	0,4304	0,00120	2938,8805	8,163557	8,7355E+13	2,4265E+11	0,000156831
720	0,000084200	0,0000988	0,000000137	0,7763	0,00108	6412,0037	8,905561	3,7450E+14	5,2014E+11	0,000134404
1080	0,000068800	0,0001142	0,000000106	0,9783	0,00091	9070,4028	8,398521	8,1908E+14	7,5841E+11	0,000115185
1440	0,000057600	0,0001254	0,000000087	1,1560	0,00080	11896,6302	8,261549	1,6077E+15	1,1165E+12	9,87134E-05
1800	0,000054200	0,0001288	0,000000072	1,2168	0,00068	12985,7036	7,214280	2,0220E+15	1,1234E+12	8,45975E-05
2160	0,000052300	0,0001307	0,000000061	1,2525	0,00058	13655,9780	6,322212	2,3125E+15	1,0706E+12	7,25001E-05
2520	0,000050900	0,0001321	0,000000052	1,2796	0,00051	14181,8845	5,627732	2,5606E+15	1,0161E+12	6,21327E-05
2880	0,000049600	0,0001334	0,000000046	1,3055	0,00045	14696,8094	5,103059	2,8217E+15	9,7976E+11	5,32477E-05
3240	0,000048700	0,0001343	0,000000041	1,3238	0,00041	15069,4000	4,651049	3,0223E+15	9,3282E+11	4,56334E-05
3600	0,000047400	0,0001356	0,000000038	1,3509	0,00038	15632,5655	4,342379	3,3450E+15	9,2915E+11	3,91078E-05
3960	0,000045800	0,0001372	0,000000035	1,3852	0,00035	16369,5803	4,133732	3,8041E+15	9,6063E+11	3,35154E-05
4320	0,000044000	0,0001390	0,000000032	1,4253	0,00033	17262,7919	3,996017	4,4200E+15	1,0232E+12	2,87228E-05
		promedio	0,000000074		0,00064		6,259971		8,8944E+11	
		devst	0,000000046		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		

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento prueba 1.

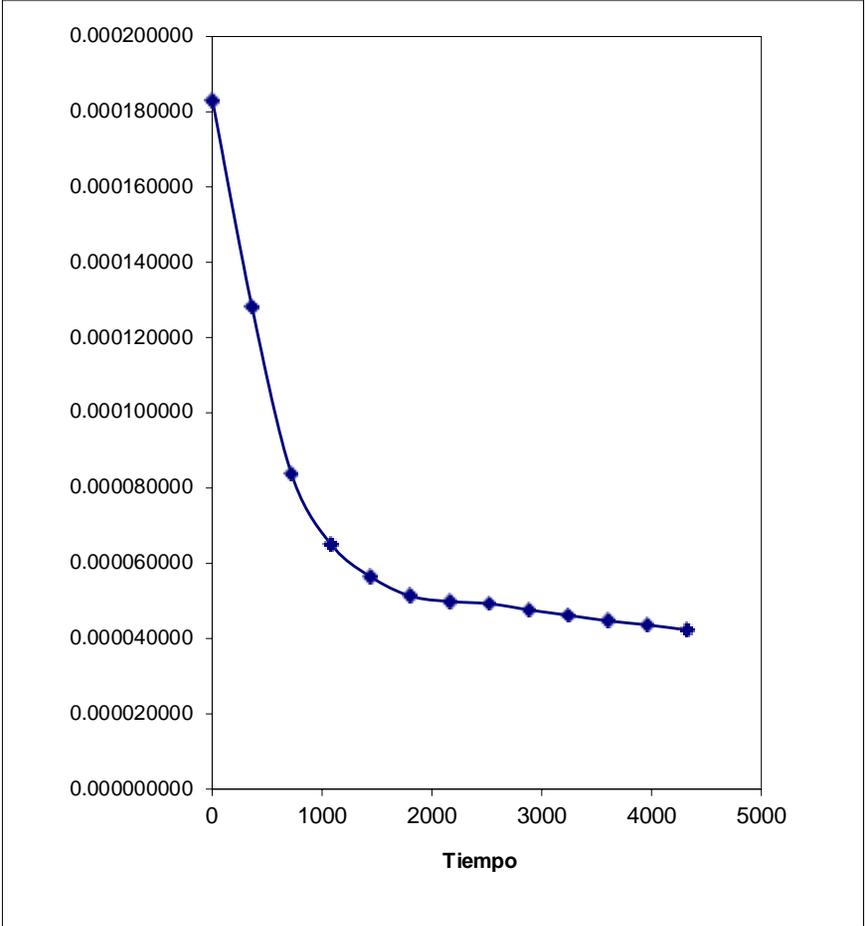


**DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO SINPRE-
TRATAMIENTO.**

PRUEBA N° 2

4,70012306										
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	0,000128100	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		

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sin pre-tratamiento prueba 2



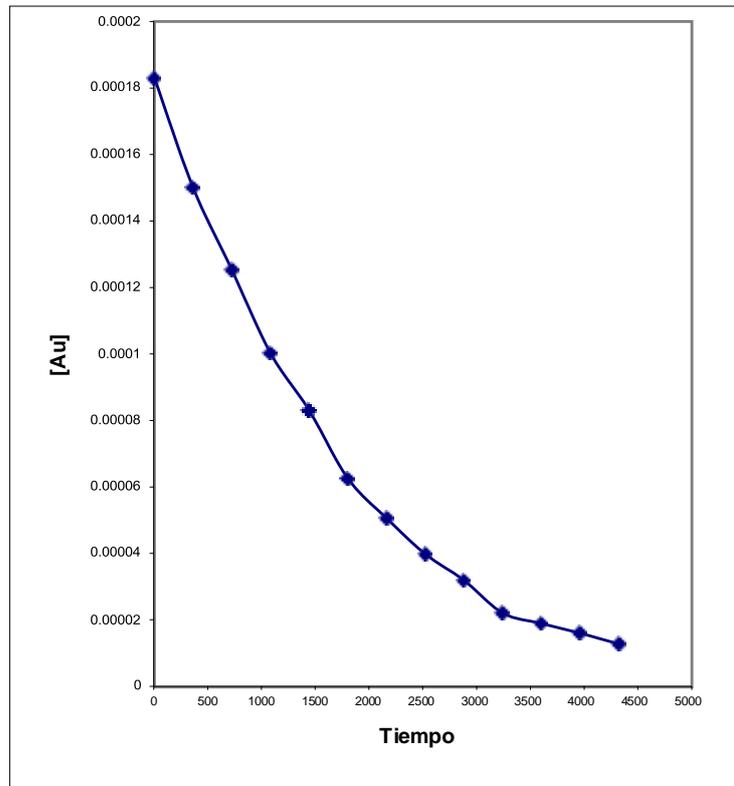
DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO SIN PRE-TRATAMIENTO.

PRUEBA N° 3

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		

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso sinpre-tratamiento prueba 3



PRUEBA N° 3. Sin Pre-tratamiento

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 alta por lo cual se desechan estas pruebas.

DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO CON PRE-TRATAMIENTO CON AGUA OXIGENADA.

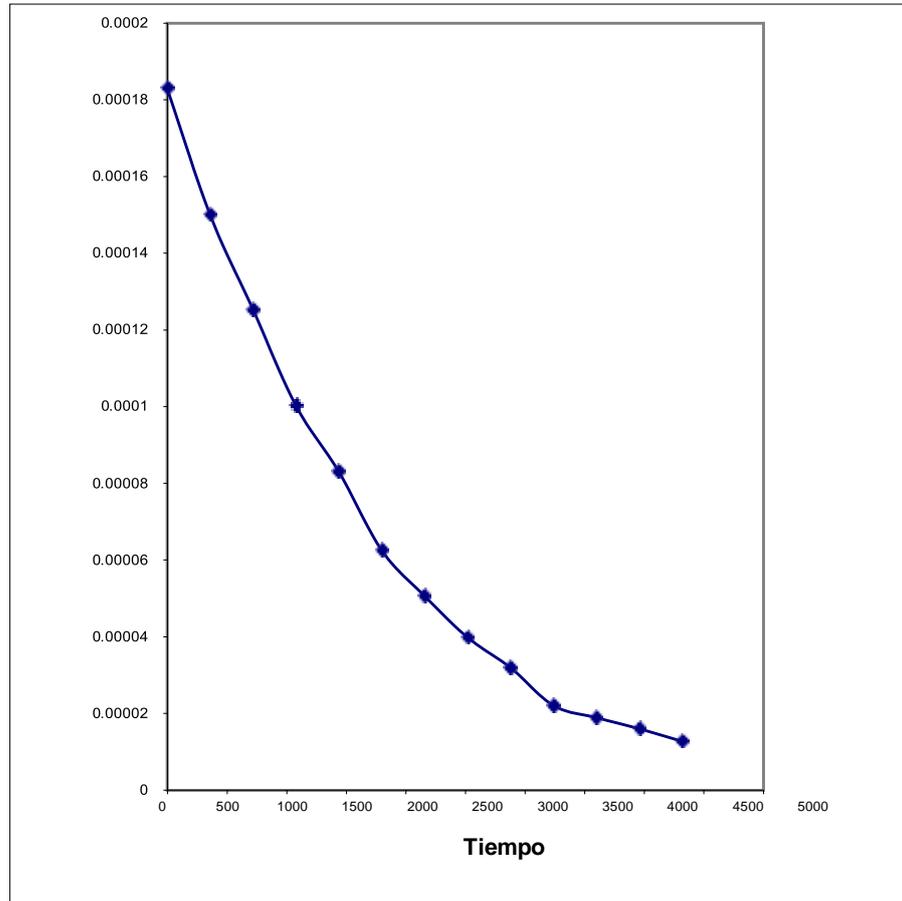
PRUEBA N° 1

3,64957292										
tiempo (min)	[Au] (M) y=k ₀ t	n=0	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	0,001273154	5,5741	8,762706	7,0770E+09	1,9658E+07	0,000154717
720	0,000077592	0,0001054	0,000000146	0,8580	0,001197423	8,4457	10,310341	2,6294E+10	3,6520E+07	0,000130806
1080	0,000064965	0,0001180	0,000000109	1,0356	0,000969928	8,4230	9,192984	4,3910E+10	4,0658E+07	0,00011059
1440	0,000055266	0,0001277	0,000000089	1,1973	0,000831262	9,8267	8,770713	6,9008E+10	4,7922E+07	9,34983E-05
1800	0,000050508	0,0001325	0,000000074	1,2874	0,000721433	8,3629	7,963535	8,8411E+10	4,9117E+07	7,90482E-05
2160	0,000049044	0,0001340	0,000000062	1,3168	0,000611492	5,3731	6,909895	9,5822E+10	4,4362E+07	6,68314E-05
2520	0,000046482	0,0001365	0,000000054	1,3704	0,000541604	9,2234	6,368739	1,1092E+11	4,4016E+07	5,65026E-05
2880	0,000044652	0,0001383	0,000000048	1,4106	0,000491693	0,9325	5,878796	1,2371E+11	4,2956E+07	4,77702E-05
3240	0,000042639	0,0001404	0,000000043	1,4567	0,000451798	8,2267	5,551922	1,4019E+11	4,3269E+07	4,03873E-05
3600	0,000041358	0,0001416	0,000000039	1,4872	0,000411871	4,6380	5,198511	1,5225E+11	4,2290E+07	3,41455E-05
3960	0,000039162	0,0001438	0,000000036	1,5418	0,000392007	0,4765	5,068302	1,7639E+11	4,4544E+07	2,88683E-05
4320	0,000037881	0,0001451	0,000000034	1,5750	0,000362093	3,9775	4,845828	1,9292E+11	4,4657E+07	2,44067E-05
		promedio	0,000000077		0,000697,06	8523		4,1664E+07		
		devst	0,000000048		0,000311,86	4990		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	

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada Prueba 1

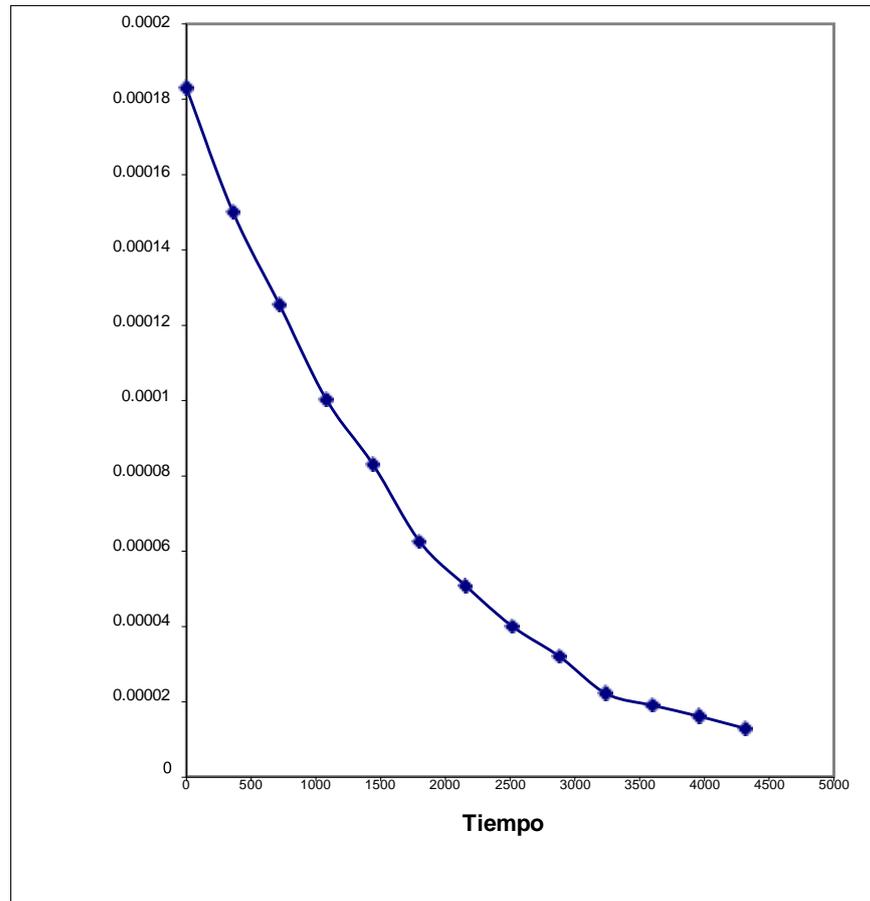


DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO CON PRE-TRATAMIENTO CON AGUA OXIGENADA.

PRUEBA N° 2

tiempo (min)	[Au] (M) $y=k_0t$	n=0	n=0 k_0	n=1 $y=k_1t$	n=1 k_1	n=2 $y=k_2t$	n=2 k_2	n=opt $k_{opt} \cdot t$	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		

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada Prueba 2.



DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD PARA EL CASO CON PRE-TRATAMIENTO CON AGUA OXIGENADA.

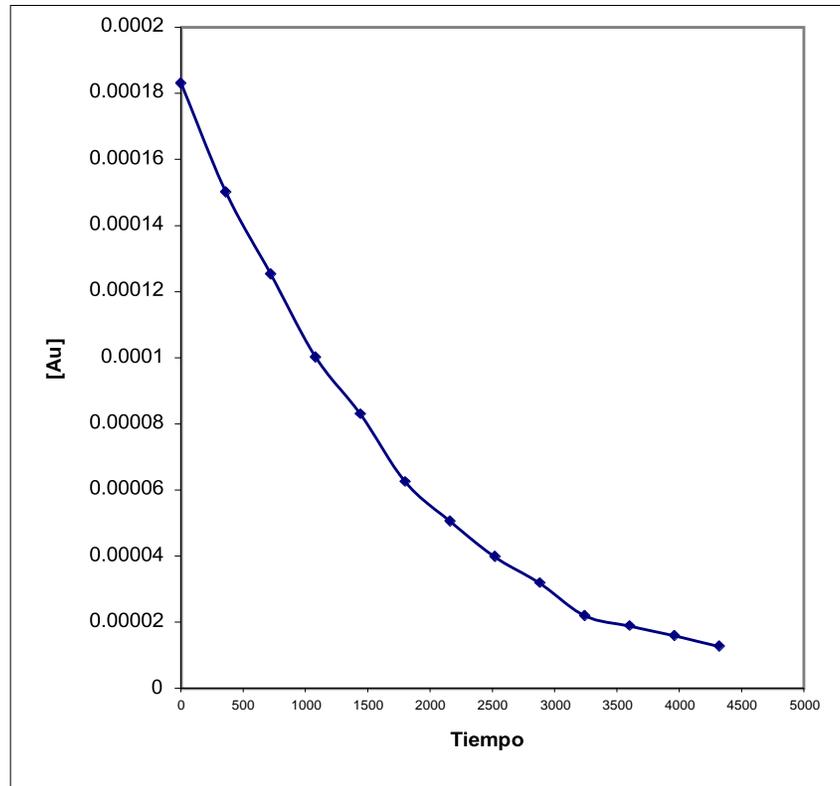
PRUEBA N° 3

tiempo (min)	[Au] (M) y=k ₀ t	n=0	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

k =	n=0	n=1	n=2	n=Opt
	4,5597E-08	4,6550E-04	5,6483	1,3957E+09
	5,0353E-09	4,0383E-05	0,3311	2,2055E+07
	-0,2532	0,3652	0,7763	0,9900078
	-2,4243	6,9041	41,6322	1188,93
	-5,1780E-09	0,9484	3,8450E+08	4,8720E+25
	9,055	11,527	17,058	63,283

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad para el caso con pre-tratamiento con agua oxigenada Prueba 3



PRUEBA N° 3. PRE-TRATAMIENTO CON AGUA ALCALINA

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.

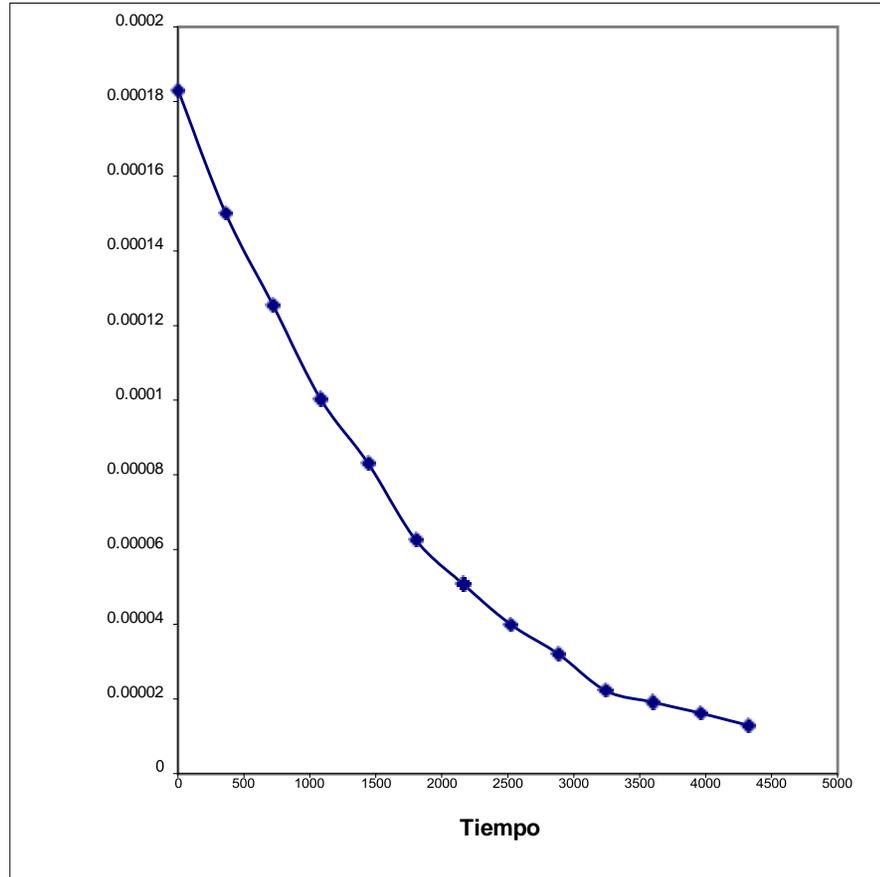
Según el método estadístico definimos que la ley cinética posible que sigue es de orden 1, donde nos da un $k = 4,66 \cdot 10^{-4}$ dándonos un k óptimo igual a $4,39 \cdot 10^7$ con un orden óptimo de 3,649; de donde podemos decir que la velocidad cinética de la reacción del oro es demasiado alto por lo cual se desechan estas pruebas.

DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD CON PRE-TRATAMIENTO Y CON PRE-AIREACIÓN.

PRUEBA N° 1

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	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		

*Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad con pre-tratamiento
y con pre-aireación Prueba 1*



DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD CON PRE-TRATAMIENTO Y CON PRE-AIREACIÓN.

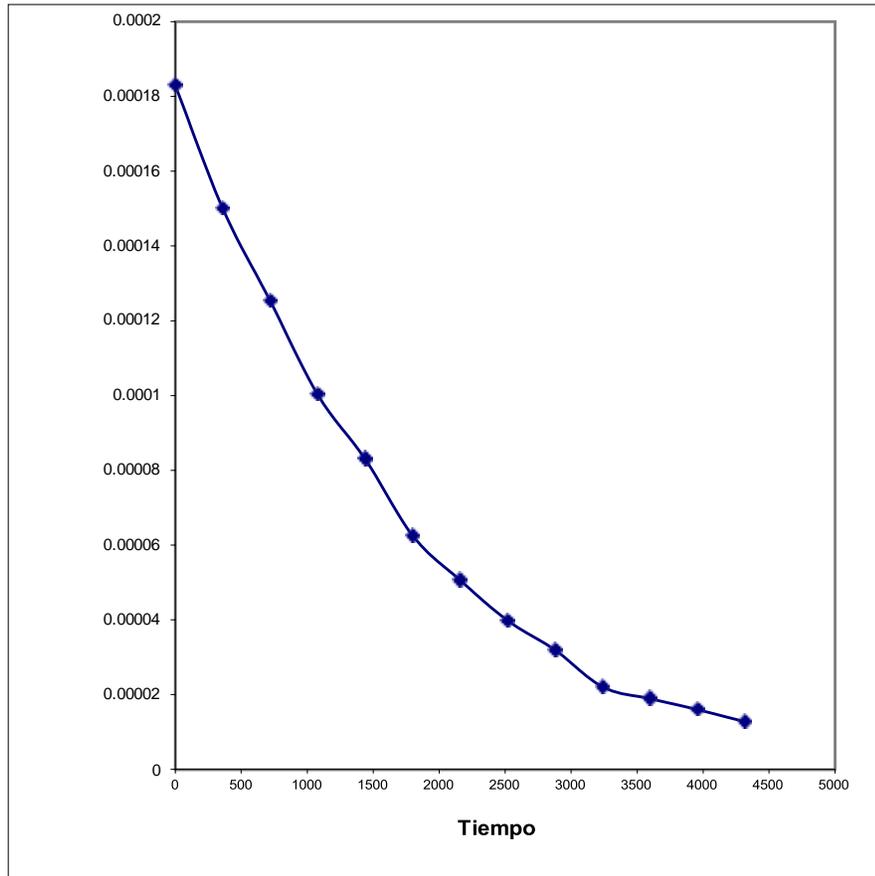
PRUEBA N° 2

2,70268676										
tiempo (min)	[Au] (M) y=k _{at} t	n=0	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	0,000112362	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				7940,6515	
		devst	0,000000050		0,00030				1178,7890	

REGRESION LINEAL

k =	n=0	n=1	n=2	n=Opt	2,70268676
	4,9268E-08	5,6517E-04	8,4336	8382,9779	
	5,2084E-09	#N/A	0,2803	152,2110	#N/A
	-0,1245	4,7804E-05	0,9421	0,9865419	1,3970E+06
	-1,3282	12	18,0747	12	879,65
	-3,0352E-09	2,7422E-08	2,5487	1,6921	1,2936E+09
	9,459		13,814		7,9433E+07
			30,086		55,075

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad con pre-tratamiento y con pre-aireación Prueba 2.



DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD CON PRE-TRATAMIENTO Y CON PRE-AIREACIÓN.

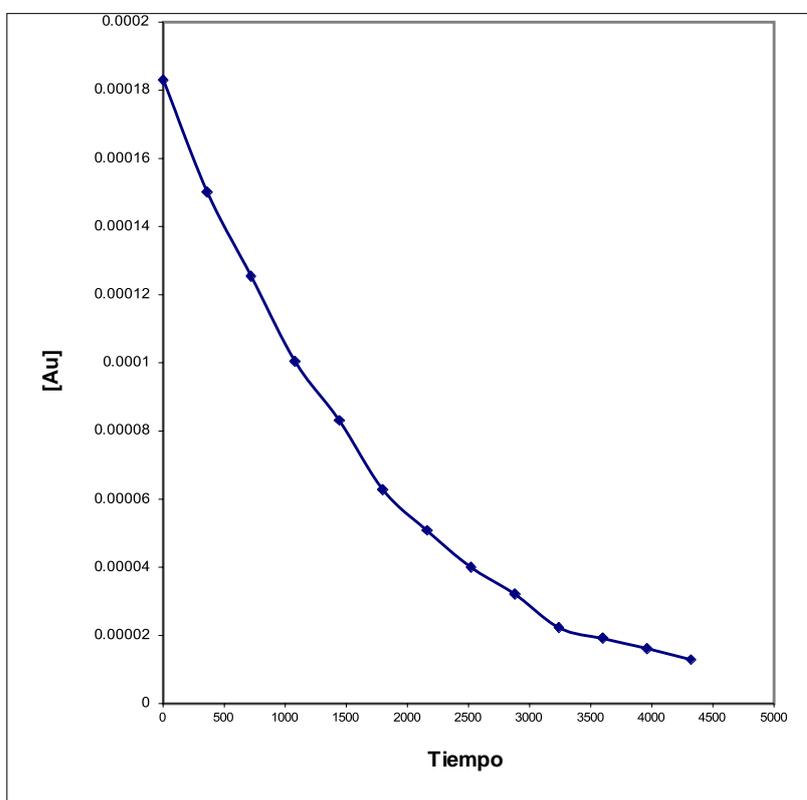
PRUEBA N° 3

2,224821935										
tiempo (min)	[Au] (M) y=k ₀ t	n=0	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	0,000113094	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	

Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad con pre-tratamiento y con pre-aireación Prueba 3.



PRUEBA N° 3. Pre-tratamiento con Pre-aireación

Del tratamiento de estos datos podemos decir que la ley cinética que sigue la reacción decianuración 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 alta por lo cual se desechan estas pruebas.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO

“Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro S.A.C. – Pasco - 2020”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTE	MÉTODO LOGÍA MÉTODO
PRINCIPAL	GENERAL	GENERAL		
¿Cómo hacer la evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?	Evaluar del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro	Si evaluamos el consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.	Recuperación del oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.	Aplicada
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	INDEPENDIENTE	DISEÑO
1. ¿Cuál será el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?	1. Determinar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.	1. Si determinamos el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.	Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero.	Experimental
2. ¿Qué reactivo se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro?	2. Identificar el reactivo que se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.	2. Si identificamos el reactivo que se adiciona para minimizar el consumo de cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos entonces podemos recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro.		TIPO Experimental