

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
BIOSUSTENTABLE**

TESIS

**EVOLUCIÓN DEL pH DURANTE EL PROCESO DE DISOLUCIÓN
DE ORO CON TIOSULFATO ($S_2O_3^{2-}$) EN PRESENCIA DEL
COMPLEJO TETRAMINOCOBRE II ($Cu(NH_3)^{2+}$)**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
BIOSUSTENTABLES**

PRESENTA:

MARICELA LÓPEZ PÉREZ

HERMOSILLO, SONORA

SEPTIEMBRE DEL 2015

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
BIOSUSTENTABLE

TESIS

EVOLUCIÓN DEL pH DURANTE EL PROCESO DE DISOLUCIÓN
DE ORO CON TIOSULFATO ($S_2O_3^{2-}$) EN PRESENCIA DEL
COMPLEJO TETRAMINOCOBRE II ($Cu(NH_3)^{2+}$)

COMITÉ REVISOR

DIRECTOR

DR. RAFAEL JORDÁN HERNÁNDEZ

ASESOR

ASESOR

DR. ÁNGEL SLISTAN GRIJALVA

M.C. JUAN ARÉVALO AMEZCUA

Hermosillo, Sonora

Septiembre 2015

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Rafael Jordán Hernández

SINODALES

Dr. Ángel Slistan Grijalva

M.C. Juan Arévalo Amezcua

TECNÓLOGO

Ing. Armando Gutiérrez Granados

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas quienes han apoyado de una u otra manera el logro de esta meta.

En primer lugar deseo agradecer a mi director, Dr. Rafael Jordán Hernández, quién ha puesto un gran esfuerzo y dedicación a la supervisión de esta investigación.

Una mención especial al Dr. Ángel Slistan Grijalva, quién a pesar de que ya se encuentra en su período de un merecido descanso, a apoyado el proyecto desde un inicio; además fue quién me alentó a empezarlo.

También quiero agradecer de una manera muy especial al M.C Juan Arévalo Amezcua por su buena voluntad, paciencia y acompañamiento en el desarrollo de esta tesis.

De manera muy especial, quiero agradecer a todo el cuerpo académico de Posgrado de la Universidad Estatal de Sonora, así como a mis compañeros del cuerpo académico de Ingeniería en Geociencias por su incondicional apoyo y buena disposición a mis preguntas, dudas y por sus palabras de aliento cuando me ganaba la desesperación, en especial a los profesores Gustavo Durazo y a David García.

Agradezco a la compañía minera Quiriego Gold, en especial al Ing. Armando Gutiérrez por su disposición y apoyo para el desarrollo del proyecto.

También a los alumnos que me apoyaron en este proyecto como parte de su servicio social, sin olvidar a aquellos que de una u otra manera estuvieron conmigo interesándose en el proyecto.

A mis compañeros de posgrado José Luis y Jorge, agradezco su compañerismo en el transcurso de estos dos años, quienes a pesar de realizar proyectos distintos y de sectores tan diferentes, sus comentarios ayudaban a mejorar el proyecto.

Por último, reitero, una vez más, el agradecimiento a todas y cada una de las personas presentes en este proyecto, perdón por lo malhumorada o distraída que algunos días estuve gracias a esto.

Pero sobre todo, a Dios, gracias por permitirme cumplir una meta más.

"Minería y desarrollo sustentable, ¿Quién dice que no son compatibles?"

Maricela López Pérez

DEDICATORIA

Dedicado en especial a Jesús Omar y Omar Iram con todo mi corazón, por el apoyo, amor, paciencia y comprensión, por motivarme a llevar a cabo este proyecto y ayudarme a ser mejor persona y por brindarme las fuerzas necesarias para realizar con empeño las actividades para cumplir con esta y muchas metas, que sin esto no podría haber llegado a este punto.

A mis padres, quienes me dieron la oportunidad de estudiar lo que yo quisiera y apoyarme una y otra vez toda mi vida.

A mis hermanos quienes me han ayudado con mucho de su tiempo para poder lograr este paso importante.

A toda la familia (primos, tíos, cuñados, cuñadas y sobrinos) y a mi suegra, quienes me han brindado mucho de su tiempo.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	1
CARTA DE APROBACIÓN	2
COMITÉ DE TESIS	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
ÍNDICE DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Introducción	14
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Justificación	25
1.4 Objetivos	
1.4.1 General	26
1.4.2 Específicos	26
1.5 Hipótesis	26
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE	
2.1 Conductividad	27
2.2 Estabilización del tiosulfato	27
2.3 Cementación de cobre	29
2.4 Determinación volumétrica de tiosulfato	31
2.5 Determinación de oro y cobre por espectrofotometría de absorción atómica	33

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Materiales	34
3.2 Equipos	34
3.3 Reactivos	34
3.4 Parámetros	35
3.5 Métodos Experimentales	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	100
5.2 Recomendaciones	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CEMENTACIÓN DE COBRE A PARTIR DE UNA SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE	FIG. 1
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA DETERMINACIÓN DE TIOSULFATO EN SOLUCIÓN POR MEDIO DE VOLUMETRÍA	FIG. 2
RESULTADOS FASE 1	FIG. 3
TRATAMIENTO 1 PH	FIG. 4
TRATAMIENTO 1 CONDUCTIVIDAD	FIG. 5
TRATAMIENTO 1 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 6
TRATAMIENTO 1 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 7
TRATAMIENTO 1 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 8
TRATAMIENTO 2 CONDUCTIVIDAD	FIG. 9
TRATAMIENTO 2 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 10
TRATAMIENTO 2 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 11
TRATAMIENTO 2 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 12
TRATAMIENTO 2 PH	FIG. 13
TRATAMIENTO 3 PH	FIG. 14
TRATAMIENTO 3 CONDUCTIVIDAD	FIG. 15
TRATAMIENTO 3 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 16
TRATAMIENTO 3 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 17
TRATAMIENTO 3 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 18
TRATAMIENTO 4 PH	FIG. 19
TRATAMIENTO 4 CONDUCTIVIDAD	FIG. 20
TRATAMIENTO 4 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 21
TRATAMIENTO 4 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 22
TRATAMIENTO 4 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 23

TRATAMIENTO 5 PH	FIG. 24
TRATAMIENTO 5 CONDUCTIVIDAD	FIG. 25
TRATAMIENTO 5 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 26
TRATAMIENTO 5 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 27
TRATAMIENTO 5 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 28
TRATAMIENTO 6 PH	FIG. 29
TRATAMIENTO 6 CONDUCTIVIDAD	FIG. 30
TRATAMIENTO 6 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 31
TRATAMIENTO 6 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 32
TRATAMIENTO 6 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 33
TRATAMIENTO 10-A PH	FIG. 34
TRATAMIENTO 10- A CONDUCTIVIDAD	FIG. 35
TRATAMIENTO 10- A CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 36
TRATAMIENTO 10- A TEMPERATURA	FIG. 37
TRATAMIENTO 10- A CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 38
TRATAMIENTO 10- A CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 39
TRATAMIENTO 10-C PH	FIG. 40
TRATAMIENTO 10- C CONDUCTIVIDAD	FIG. 41
TRATAMIENTO 10- C TEMPERATURA	FIG. 42
TRATAMIENTO 10- C CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 43
TRATAMIENTO 10- C CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 44
TRATAMIENTO 11-A PH	FIG. 45
TRATAMIENTO 11- A CONDUCTIVIDAD	FIG. 46
TRATAMIENTO 11- A TEMPERATURA	FIG. 47
TRATAMIENTO 11- A CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 48

TRATAMIENTO 11- A CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 49
TRATAMIENTO 11- A CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 50
TRATAMIENTO 11-B PH	FIG. 51
TRATAMIENTO 11- B CONDUCTIVIDAD	FIG. 52
TRATAMIENTO 11- B TEMPERATURA	FIG. 53
TRATAMIENTO 11- B CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 54
TRATAMIENTO 11- B CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 55
TRATAMIENTO 11- B CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 56
TRATAMIENTO 11-C PH	FIG. 57
TRATAMIENTO 11- C CONDUCTIVIDAD	FIG. 58
TRATAMIENTO 11- C TEMPERATURA	FIG. 59
TRATAMIENTO 11- C CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 60
TRATAMIENTO 11- C CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 61
TRATAMIENTO 12-A PH	FIG. 62
TRATAMIENTO 12- A CONDUCTIVIDAD	FIG. 63
TRATAMIENTO 12- A TEMPERATURA	FIG. 64
TRATAMIENTO 12- A CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 65
TRATAMIENTO 12- A CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 66
TRATAMIENTO 12- A CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 67
TRATAMIENTO 12-B PH	FIG. 68
TRATAMIENTO 12- B CONDUCTIVIDAD	FIG. 69
TRATAMIENTO 12- B TEMPERATURA	FIG. 70
TRATAMIENTO 12- B CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 71
TRATAMIENTO 12- B CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 72
TRATAMIENTO 12- B CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 73

TRATAMIENTO 12-C PH	FIG. 74
TRATAMIENTO 12- C CONDUCTIVIDAD	FIG. 75
TRATAMIENTO 12- C TEMPERATURA	FIG. 76
TRATAMIENTO 12- C CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 77
TRATAMIENTO 12- C CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 78
TRATAMIENTO 14 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 79
TRATAMIENTO 14 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 80
TRATAMIENTO 14 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 81
TRATAMIENTO 14 CONDUCTIVIDAD	FIG. 82
TRATAMIENTO 14 PH	FIG. 83
TRATAMIENTO 14 TEMPERATURA	FIG. 84
TRATAMIENTO 14 RECUPERACIÓN DE ORO	FIG. 85
TRATAMIENTO 15 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 86
TRATAMIENTO 15 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 87
TRATAMIENTO 15 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 88
TRATAMIENTO 15 CONDUCTIVIDAD	FIG. 89
TRATAMIENTO 15 PH	FIG. 90
TRATAMIENTO 15 TEMPERATURA	FIG. 91
TRATAMIENTO 15 RECUPERACIÓN DE ORO	FIG. 92
TRATAMIENTO 16 CONCENTRACIÓN DE ORO	FIG. 93
TRATAMIENTO 16 CONCENTRACIÓN DE COBRE	FIG. 94
TRATAMIENTO 16 CONCENTRACIÓN DE TIOSULFATO	FIG. 95
TRATAMIENTO 16 CONDUCTIVIDAD	FIG. 96
TRATAMIENTO 16 PH	FIG. 97
TRATAMIENTO 16 TEMPERATURA	FIG. 98

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

El oro, es un elemento que se encuentra libre o puro en la naturaleza, que por sus propiedades ha sido utilizado tanto en la joyería como en la acuñación de monedas. El oro también es empleado en aparatos eléctricos, científicos, de odontología, en fotografía, en artes gráficas, y medicina (Araux Sánchez & Vega Granillo, 2011).

Los métodos utilizados en la extracción del oro tales como, la concentración gravimétrica, la amalgamación, la cloración y la lixiviación con cianuro y algunas combinaciones de estos, para mejorar la recuperación en la extracción del oro en la actualidad, datan de muchos años atrás.

La lixiviación con cianuro es el proceso más utilizado en la extracción del oro, desde que John Mac Arthur y los hermanos Forrest (Byerley, Fouda, & Rempel, 1973) revolucionaron la metalurgia extractiva cuando implementaron este proceso, el cual consiste en disolver el oro en una solución alcalina de cianuro.

La primer patente surgió en 1887 en la Gran Bretaña, pero el primer país en utilizar este proceso de manera comercial fue Nueva Zelanda en 1889 (Habashi, 1999), seguida por Sudáfrica en 1890, los Estados Unidos de Norteamérica en 1891, y México en 1900 para sulfuros de plata (Dorr & Bosqui, 1950).

Las ventajas del proceso de cianuración para la lixiviación del oro son las siguientes:

- a) Es muy efectivo para la lixiviación en menas oxidadas.
- b) La teoría de la lixiviación del oro por cianuración está bien establecida.
- c) Puede extraer el oro de menas con leyes de 1-3 gr/ton.

Sin embargo, como desventaja se tiene que no es efectivo para menas sulfuradas ni menas con materiales refractarios ni menas con contenido de cobre y arsénico apreciables (O'Malley, 2002). El más grave problema que presenta la extracción del oro mediante este método es el impacto medio ambiental negativo que representa dicha sustancia. El trasiego de estas soluciones de cianuro ha traído verdaderas catástrofes ecológicas en México, tanto a las fuentes de agua, como al suelo y al aire. Los obreros que trabajan en estas instalaciones están expuestos a estas condiciones de elevada toxicidad. La deposición de los residuos de la lixiviación con cianuro es otra acción altamente contaminante que debe estudiarse con detenimiento.

La minería ha sido parte de nuestra vida diaria desde tiempos remotos; y a pesar de que impacta positivamente en el combate de la pobreza, generando empleos directos e indirectos, muchas personas están en contra de la minería por los daños causados al ambiente, como es la degradación de suelos, cambio del paisaje y contaminación por polvos, entre otros.

El concepto de "desarrollo sustentable" fue bautizado y desarrollado por el informe Brundtland de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1987), el cual define como el "desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras

generaciones para satisfacer sus correspondientes necesidades” (Unidas, 1987)

Sin embargo, desde que surgió la agenda 21 en el año 1992, mediante la cual se definió el enfoque global de desarrollo sostenible a causa de la conciencia de algunas personas que empezaron a notar los cambios globales a consecuencia de la contaminación generada a nivel mundial, la protección al ambiente, el principio de precaución, la evaluación de impacto ambiental, la legislación ambiental y la erradicación de la pobreza, han sido los principios para guiar a los países en una serie de actividades para responder a las necesidades de las generaciones presentes y futuras, y de esta forma, implementar el desarrollo sostenible de la economía y la sociedad.

La actividad minera tiene el reto de sincronizar los aspectos socioeconómicos con los ambientales, enmarcados en la agenda 21, para su contribución al desarrollo sostenible.

La responsabilidad social es uno de los aspectos que la agenda 21 promueve de manera implícita e implican la toma de decisiones empresariales con valores éticos que guíen la gestión empresarial, el cumplimiento de aspectos legales, respeto a los derechos políticos, culturales, sociales y económicos de las comunidades donde se encuentren y la protección del medio ambiente. La actividad de las empresas que se preocupan por esto, se ve reflejada en las operaciones diarias que lleva a cabo.

Bajo estas condiciones, la minería aporta al desarrollo sustentable:

- Empleos de calidad, estables y buenos salarios.

- Inversión en capacitaciones, seguridad laboral y salud de sus trabajadores.
- Promueve la educación ambiental.
- Apoya el desarrollo de las comunidades cercanas a sus áreas de operación.
- Aumenta el comercio en las comunidades, mejorando sus actividades y niveles económicos.
- Son impulsores de la protección ambiental (capacitación y cuidado ambiental).

La investigación del presente proyecto se basa en aportar conocimientos en la búsqueda de alternativas mineras menos dañinas al medio ambiente, lo cual es una preocupación para algunos países, entre ellos México, observando los aspectos que se enmarcan en la agenda 21 y Río +20, en los cuales se habla muy poco de la minería; sin embargo, sabemos que es un sector el cual debe apoyar en gran medida a estos proyectos mundiales, ya que la minería es una actividad mundial de la cual muchos países y personas dependen; en especial, en el Estado de Sonora representa la primera actividad económica.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente desarrolló, en 1991, la definición de "producción limpia" que se utiliza comúnmente:

" La Producción limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la

eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente"
(Organization, 1991)

Existen varias técnicas o prácticas complementarias a la producción más limpia y avanzadas tecnologías más limpias, que van desde soluciones de bajos costos hasta costos de alta inversión. Una distinción común para la implementación de la producción más limpia en los países en desarrollo es:

1. Buenas Prácticas: Disposiciones para prevenir fugas y derrames, y para lograr operaciones estandarizadas y prácticas y procedimientos de mantenimiento adecuadas.
2. **Cambio de insumos: Sustitución de insumos que sean peligrosos o no renovables o de materiales con un tiempo de vida más largo.**
3. Mejor control de procesos: La modificación de los procedimientos de trabajo, instrucciones de maquinaria y registro de procesos de mantenimiento; para el funcionamiento de procesos con mayor eficiencia y menores tasas de residuos y generación de emisiones.
4. Modificación de equipo: Modificación del equipo de producción con el fin de ejecutar los procesos con mayor eficiencia y menores tasas de generación de residuos y emisiones.
5. Cambio de tecnología: la sustitución de la tecnología, la secuencia de tratamiento y/o la vía de síntesis con el fin de reducir al mínimo las tasas de residuos y la generación de emisiones durante la producción.
6. Recuperación/Reutilización in-situ: La reutilización de los materiales consumidos en el mismo proceso ó para otra operación útil dentro de la empresa.

7. Producción de subproductos útiles: La transformación de los residuos previamente desechados en los materiales que pueden ser reutilizados o reciclados para otra aplicación fuera de la empresa; y
8. Modificación del producto: La modificación de las características del producto, con el fin de minimizar los impactos ambientales del producto durante o después de su uso (eliminación), o para reducir al mínimo los impactos ambientales de su producción (Organization, 1991).

Basados en estas herramientas para una producción más limpia, en este proyecto se aplica la 2da técnica, que trata sobre la sustitución de insumos, debido a que en algunos países las regulaciones medioambientales han prohibido el uso del cianuro, proponiéndose el desarrollo de reactivos alternativos para la lixiviación de oro, particularmente en sistemas basados en el tiosulfato (Ximing, 2008).

La búsqueda metalúrgica y el desarrollo de trabajos al respecto, se han incrementado desde los 80's y 90's con muchos procesos alternativos para la mejora de los procesos implementados, y esto, es el resultado de la necesidad de introducir mejoras tecnológicas que aumenten el rendimiento en la extracción del oro, cuidando los indicadores medio ambientales (Deutsch, 2012).

La habilidad de las especies de tiosulfato, de diferentes cationes metálicos, de formar complejos estables con el oro, se conoce desde hace aproximadamente cien años; pero la investigación para reemplazar al cianuro empezó a finales de 1970. El desarrollo en la lixiviación del oro basada en sistemas con tiosulfato se ha incrementado considerablemente desde 1990,

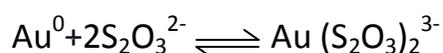
debido a la alta toxicidad del cianuro y los problemas ambientales que este ha causado, unido a numerosos errores humanos (Marsden John O., 2006)

Hasta hace poco, el uso del tiosulfato ha sido propuesto solo para menas difíciles y concentrados minerales, como las que contienen altos contenidos de cobre (por su alto consumo de cianuro), minerales carbonáceos y sulfuros refractarios.

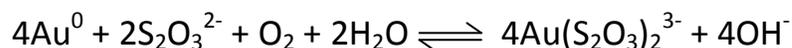
La mayoría de la investigación y trabajos relacionados con el tiosulfato a partir de 1995, están enfocados al desarrollo de un proceso efectivo para reemplazar el de cianuración para un mayor rango de diferentes minerales de acuerdo a su contenido y tipo de metal acompañante.

Se ha demostrado que el tiosulfato es capaz de disolver el oro de manera eficaz (Abbruzzese, Fomari, Massidda, Vegliò, & Ubaldini, 1995), pero es un sistema complejo que requiere incluir un oxidante (como los iones Cu (II) o Fe (III)) y un estabilizador de la reacción, como el amoníaco (NH₃), para obtener un rango aceptable de disolución y minimizar la oxidación del tiosulfato. A pesar de esto, el desarrollo efectivo sigue siendo difícil por el alto consumo de reactivo, aunado a esto los altos costos debido a la oxidación del tiosulfato, y las dificultades presentadas en la recuperación del metal desde las soluciones de lixiviación. De cualquier manera, el proceso sigue siendo investigado por los mayores productores de oro en el mundo (Marsden John O., 2006) .

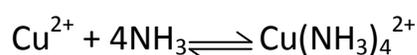
El oro forma complejos estables con el tiosulfato (S₂O₃²⁻) en solución acuosa como sigue:



El oro disuelto en una solución alcalina de tiosulfato, utilizando oxígeno disuelto como el agente oxidante, para formar el complejo de Au (I), estequiométricamente se expresa como sigue:



Teóricamente, basado en los datos de Eh-pH (diagramas Pourbaix), la disolución debe ocurrir en un rango de pH adecuado. De cualquier manera, la reacción sucede muy lentamente con la presencia del oxígeno y la ausencia de un catalizador. El Cu (II) es muy efectivo como catalizador de la reacción en la combinación con el amonio, para estabilizar las especies de Cu(II) en solución y formar el complejo tetraminocobre (II) ($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$) (Marsden John O., 2006).



Por otra parte, el uso industrial del tiosulfato en el procesamiento de minerales no ha sido fácil; por ejemplo, en el año de 1981 se instaló en México (La Colorada, Sonora) una planta metalúrgica para procesar los materiales residuales (jales) de procesos de cianuración antiguos, utilizando tiosulfato de amonio, dicha planta cerró en 1985 por diversos problemas en la operación; también se ha reportado (Wang, 1997) que Newmont Mining fue la primer compañía que intentó, a nivel planta piloto, procesar mediante lixiviación en montones minerales con contenido de oro, pero encontró que la química de la lixiviación era muy compleja, así como el mantener la estabilidad del proceso era un factor importante y difícil de lograr.

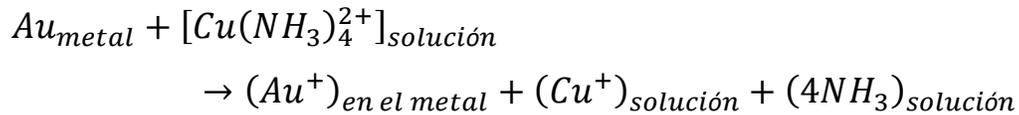
También existen estudios termodinámicos del proceso (Puentes Siller, Fuentes Aceituno, & Nava Alonso, 2013) donde se establecen ciertas condiciones de estabilidad para los complejos que según reportan se forman durante el proceso; sin embargo, las investigaciones no son lo suficientemente convincentes. Por ejemplo, varias investigaciones han reportado (Rong-Yu & Marc LeVier, 2003) que la especie $Cu(NH_4)^{2-}$ es estable a un pH que varía entre 8.7 y 9.8, aproximadamente; sin embargo, en una investigación donde se obtuvo una recuperación de aproximadamente el 80% del oro contenido en un mineral, utilizaron tiosulfato en condiciones donde el pH de la pulpa varió entre 8.5 y 10.5. (Abbruzzese, Fomari, Massidda, Vegliò, & Ubaldini, 1995).

Uno de los principales problemas señalados para la aplicación del proceso de lixiviación con tiosulfato es la oxidación de éste y la formación de tritionato, tetrionato, y sulfatos que incrementan el consumo de tiosulfato, ya que generan sólidos que se depositan sobre la superficie del oro y/o plata, impidiendo su oxidación y disolución.

1.2 Planteamiento del problema.

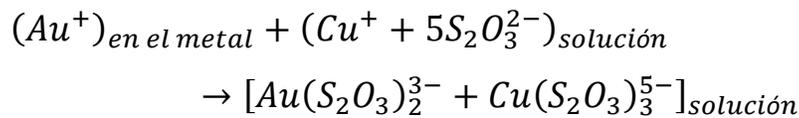
Las investigaciones reportadas para el proceso de disolución de oro con tiosulfato de amonio, proponen las siguientes reacciones químicas:

Oxidación del oro por el complejo de cobre:

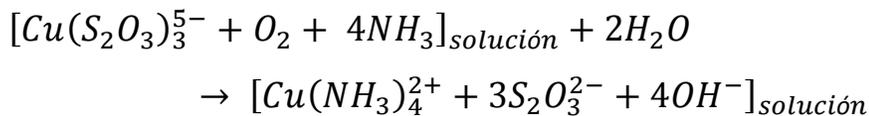


El ion Cu^{2+} en el complejo tetraminocobre (II) captura un electrón del metal de oro, reduciéndose a Cu^+ , mientras que el metal de oro pierde un electrón oxidándose una parte de éste.

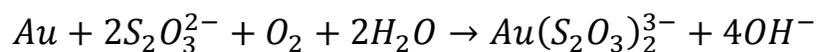
Acomplejamiento del Au (I) y del Cu (I) con el tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$):



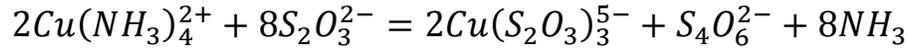
La oxidación del Cu (I) por el O_2 disuelto y la regeneración del complejo tetraminocobre (II) con un incremento en el pH:



La reacción global sería:

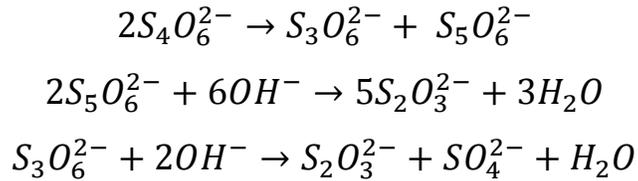


Sin embargo, existen otras reacciones colaterales como son la oxidación del tiosulfato por el complejo de cobre, formando tetrationato, $S_4O_6^{2-}$:

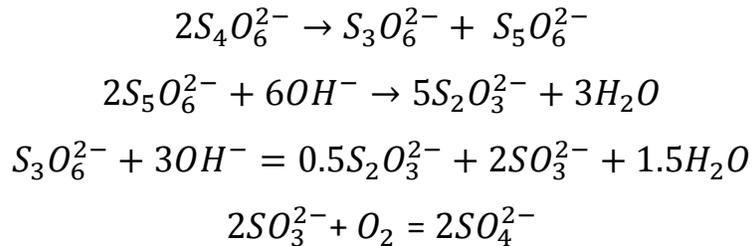


La descomposición del tetrationato por diferentes caminos:

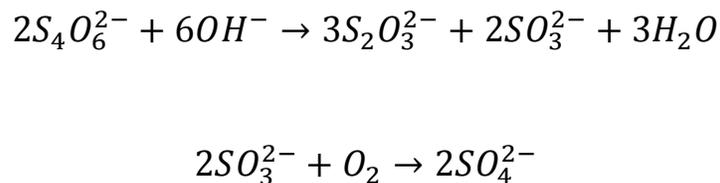
(a) Camino 1



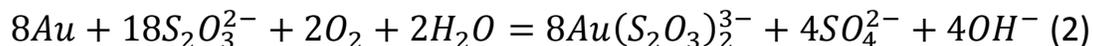
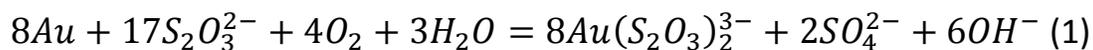
(b) Camino 2



(c) Camino 3:



La reacción global siguiendo los tres caminos produce dos posibles reacciones químicas:



Verificando las dos ecuaciones principales formadas por diferentes caminos, se observa un cambio en el pH, que corresponde con diferente concentración del anión OH^- . La ecuación (1) indicaría que por cada 8 moles de oro disueltas, se formarían 6 moles de OH^- , para una relación molar oro/ OH^- de 1.33, mientras que con la ecuación (2), la relación oro/ OH^- es de 2. En ambos casos se presenta un cambio en el pH de la disolución en mayor o menor grado, dependiendo del camino de descomposición del tetrionato ($2S_4O_6^{2-}$).

Esta variación en el pH puede medirse mediante la conductividad de la disolución durante la etapa de disolución del oro.

No se encontró reporte de éstas variaciones en la bibliografía revisada.

1.3 Justificación.

Contribuir al mejoramiento del conocimiento de la extracción de oro con tiosulfato, intentando establecer un método alternativo al uso del cianuro de sodio, para la disolución del oro a favor del medio ambiente.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General:

El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la evolución experimental del pH del sistema para la disolución del oro, utilizando tiosulfato para establecer un rango de pH en el cual el complejo aminocobre (II) sea estable y permita lograr la mayor recuperación de oro tecnológicamente posible.

1.4.2 Objetivos Específicos:

1. Definir las condiciones experimentales bajo las cuales se realizan las medidas de pH y conductividad del sistema de estudio.
2. Establecer el rango de pH donde el sistema recupere la mayor cantidad de oro de la solución previamente lixiviada, mediante espectrofotometría de absorción atómica.
3. Demostrar la validez de las ecuaciones globales en el sistema Au^+/OH^- mediante valoraciones experimentales.

1.5 Hipótesis.

La máxima estabilidad del complejo tetraminocobre (II) ($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$) se presenta en un intervalo de pH que va de 9 a 11, el cual es posible reducir mejorando el rendimiento de la extracción de oro en el sistema oro-tiosulfato-tetramina cobre.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1 Conductividad.

En las investigaciones relacionadas con la disolución de oro utilizando tiosulfato, se han manejado rangos diferentes de pH; en algunos trabajos de investigación que se han presentado se sugieren rangos de pH entre 9 y 10, manifestando recuperaciones del 93% en un pH estabilizado a 10 (D., A. Villarroel, & F. Alguacil, 2001). En otra investigación, el rango de pH manejado oscila entre 8.5 y 10, con lo cual se obtuvieron recuperaciones del 80%; sin embargo, no se hace mención acerca de los cambios del sistema con respecto al pH (Abbruzzese, Fomari, Massidda, Vegliò, & Ubaldini, 1995); también existen trabajos en los que se menciona que el complejo amino cobre (II) es inestable a pH menor a 6 (Senanayake, 2004), con la especificación de que se ha trabajado con minerales de menas de oro, por lo que resulta ambiguo el empleo de cualquiera de los dos intervalos manejados. Por ello, es necesario emprender un trabajo en el que se midan las conductividades eléctricas para acotar el intervalo de pH en minerales de menas de oro.

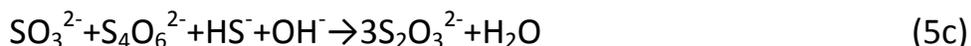
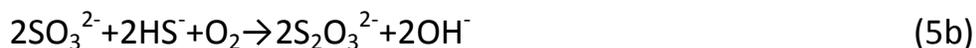
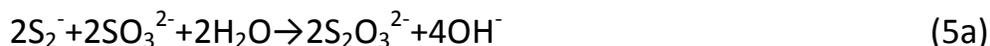
2.2 Estabilización del tiosulfato.

Se han realizado algunas investigaciones en la estabilización y generación in situ de las soluciones de tiosulfato (Chen, Deng, Zhu, & Zhao, 1996). La estabilización en soluciones de tiosulfato en la lixiviación ayudaría a minimizar la oxidación de tiosulfato y reducir el costo del proceso. El tiosulfato se puede generar a través de la oxidación de los polisulfuros Sn²⁺-

(n=2,34,...), como se ejemplifica por la ecuación 1 (Chen, Deng, Zhu, & Zhao, 1996) mediante la mezcla de azufre elemental con iones de hidróxido en presencia de una transferencia de catálisis de fase, de acuerdo con las ecuaciones 2a y 2b (Deng, Ke, & Chen, 1984), por reacción del sulfito con azufre elemental tal y como se muestra en la ecuación 3 (Kerley, 1983):



Kerley sugirió que la estabilidad de tiosulfato dentro de una lixiviación podría mejorarse añadiendo iones sulfito (Kerley, 1981). Esta regeneración de tiosulfato reacciona formando otras especies de azufre durante la lixiviación (Ecuaciones 5 a-d) (Kerley, 1981):



La adición de sulfito a la solución de lixiviación para regenerar tiosulfato, aumenta la recuperación de oro de 5 a 85% a partir de minerales que contienen manganeso (Pérez & Galaviz, 1987). Aunque este proceso ha funcionado bien en estudios de laboratorio, los ensayos de plantas fallaron (Pérez & Galaviz, 1987).

En la investigación se agrega sulfito de amonio para lograr la estabilización del tiosulfato a razón de 0.1675 g/l para una concentración de tiosulfato de 12g/l.

2.3 Cementación de cobre.

La cementación es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante (Ornelas Tabares, 1985). En el caso de iones metálicos disueltos, la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento. Este proceso se aplica en el tratamiento de efluentes de operaciones metalúrgicas (Puente, 2002) (Calvo, Vol 83). Se muestran las siguientes reacciones de cementación en el sistema surfactante:



a) El cemento de cobre de alta calidad tiene la ventaja de oxidarse rápidamente mediante la formación de una película de óxido de cobre en la superficie, favorable para su disolución en medio ácido.

b) La presencia de iones Fe^{++} y aire, producen iones Fe^{+++} que ayudan a disolver el cobre metálico.

c) La cinética de lixiviación de Cu° es incrementada sustancialmente con el aumento de temperatura.

El siguiente diagrama muestra el procedimiento utilizado para realizar la cementación de cobre. El cobre obtenido es utilizado en la lixiviación de

oro con tiosulfato para la formación del complejo tetraminocobre (II) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2-}$ el cual es utilizado como catalizador del sistema.

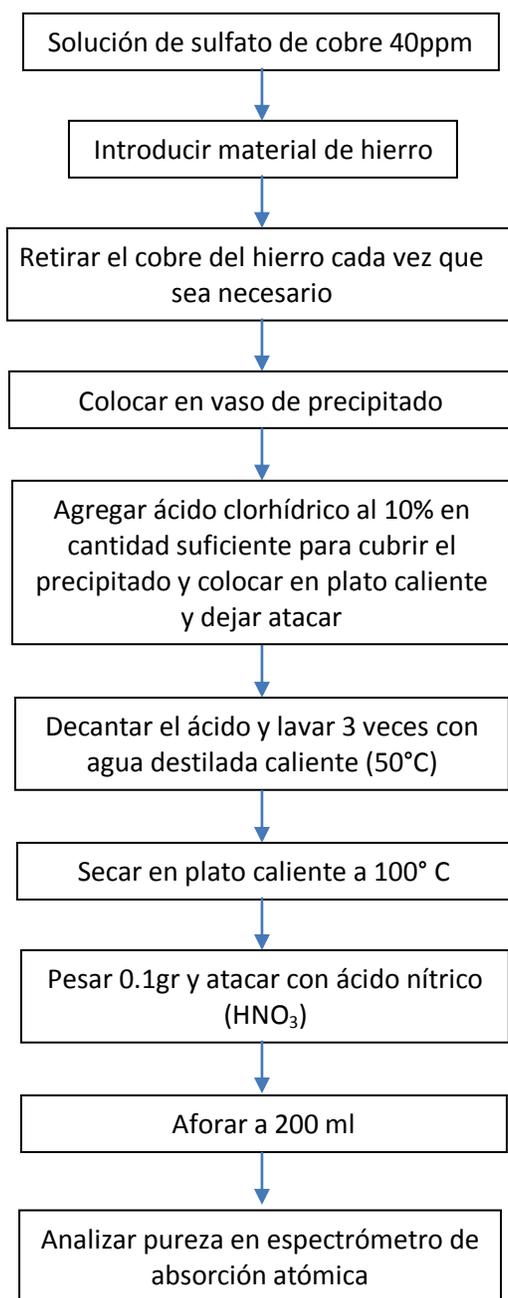
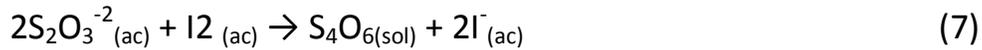


Fig. 1 Diagrama de flujo para la cementación de cobre a partir de una solución de sulfato de cobre.

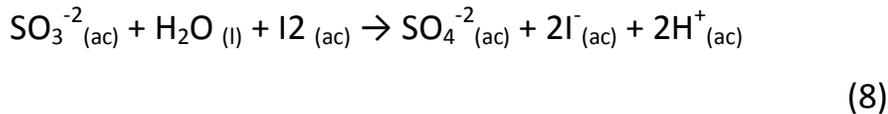
2.4 Determinación de tiosulfato.

La titulación yodométrica es el método más antiguo conocido para la determinación de tiosulfato (Dhawale, 1993) y (Skoog, Wet, & Holler, 1996). El ión tiosulfato ($S_2O_3^{(-2)}$) reacciona con yodo en un medio alcalino o neutro, formando tetrionato (sal del ácido tetratónico) y decolorando dicha disolución:



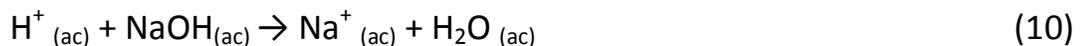
La reacción del yodo con el tiosulfato es cuantitativamente como indicador del punto final se emplea engrudo de almidón.

Los iones sulfito también reaccionan con el yodo reduciéndolo a yoduro:



En este caso la solución adquiere carácter ácido, los iones tiosulfato $S_2O_3^{(-2)}$ no disminuyen el pH durante la reducción del yodo.

De esta forma, el ión sulfito se puede valorar como el ácido con una solución de un hidróxido (generalmente hidróxido de sodio) utilizando como indicador anaranjado de metilo:



El método utilizado se muestra siguiente diagrama:

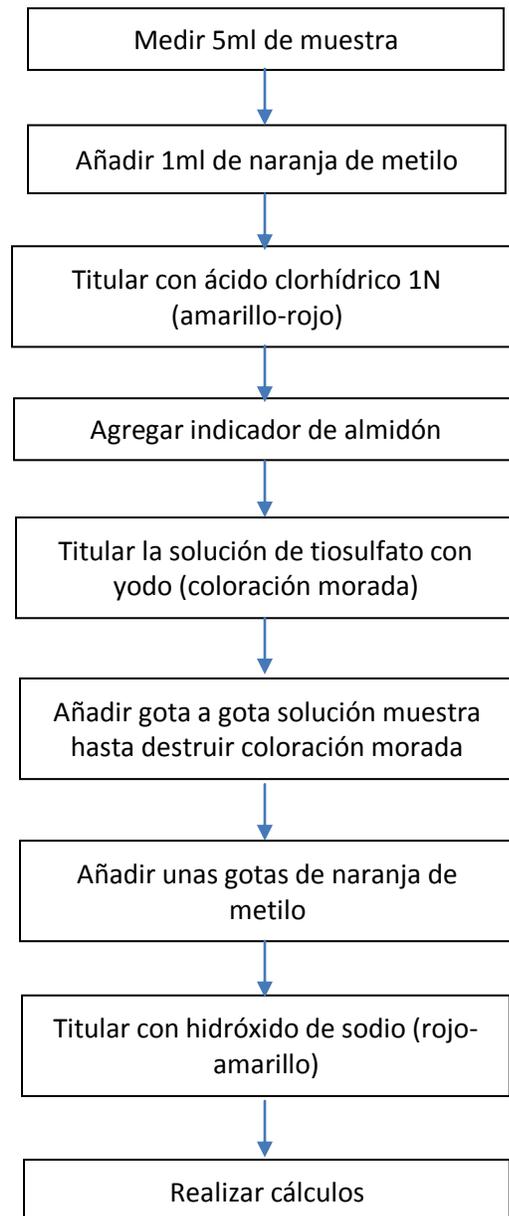


Fig. 2 Diagrama de flujo para la determinación de tiosulfato en solución por medio de volumetría.

2.5 Determinación de oro y cobre por espectrometría de absorción atómica.

La espectrometría de absorción atómica constituye una de las técnicas más empleadas para la determinación de más de 60 elementos. La espectroscopia de absorción atómica con llama es el método más empleado para la determinación de metales en una amplia variedad de matrices. Su popularidad se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación.

En este método la solución muestra es directamente aspirada a una llama de flujo laminar. La llama tiene como función generar átomos en su estado fundamental, de los elementos presentes en la solución muestra. Temperaturas cercanas a los 1,500–3,000°C son suficientes para producir la atomización de un gran número de elementos, los que absorberán parte de la radiación proveniente de la fuente luminosa (Skoog, West, Holler, & Chouch, 2001).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo debe establecer el rango de pH en el cual el sistema de disolución de oro usando tiosulfato obtiene las mayores cantidades de oro. Para ello se realizan pruebas para determinar los parámetros base, como las cantidades de reactivos y temperatura.

3.1 Materiales.

- Pipetas
- Probetas
- Matraces volumétricos y erlenmeyer
- Vasos de precipitado

3.2 Equipos.

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- Potenciómetro-phchímetro
- Balanza analítica

3.3 Reactivos.

- Oro metálico pureza 99.99%
- Tiosulfato de amonio
- Tiosulfato de sodio
- Sulfito de amonio
- Cobre pureza 85%
- Hidróxido de sodio

- Hidróxido de amonio
- Agua destilada
- Sulfato de cobre

3.4 Parámetros.

- Oro en solución
- Cobre en solución
- pH
- Conductividad
- Temperatura
- Concentración de tiosulfato

3.5 Métodos Experimentales .

- En el experimento se utilizaron láminas de oro (aproximadamente 1 mg) con superficies completamente limpias, se agrega una solución con tiosulfato de amonio además de 7.5 mg de cobre cemento y se mantuvieron a una temperatura estable. Una de las pruebas se realiza con hidróxido de sodio, cobre y tiosulfato, mientras que a la segunda prueba se le adiciona una cantidad de hidróxido de amonio que es el electrolito débil que aportará los OH⁻. Se preparan además otras dos pruebas, sin la adición de oro, una de ellas sin cobre y otra con cobre como pruebas control, todas las pruebas se corren a 300 rpm durante un tiempo de 2 hrs. A todas las pruebas se les extrajo 25 ml de muestra en tiempos establecidos para tomar las lecturas de las mediciones correspondientes a oro y cobre, y después de la toma de muestra, se ajustaba el volumen de la solución con 25 ml de solución nueva estéril.

Todo esto responde a un diseño experimental previo acorde con la génesis del trabajo y a los resultados experimentales esperados. Las pruebas se corrieron por quintuplicado.

- En la segunda fase de experimentación, se corren pruebas con láminas de oro, provenientes del ataque ácido de chatarra electrónica, las cuales son más delgadas, aparentando pequeñas y finas hojas de papel, aproximadamente 1 mg de éstas son sometidas en solución previamente preparada de tiosulfato de amonio a una concentración de 12 g/L, a pH 10 modificado con hidróxido de amonio, además se agregan 100 mg de cobre cemento y se colocan en agitación a 300 rpm durante 2 hrs, obteniendo las mediciones cada 24 minutos, además de la extracción de 25 ml de muestra para la lectura de oro y cobre disueltos en absorción atómica. También se corren pruebas con tiosulfato de sodio con modificación de pH con hidróxido de sodio, y combinaciones de tiosulfato de amonio con hidróxido de sodio y tiosulfato de sodio con hidróxido de amonio. y con control de temperatura ambiente (25°C aproximadamente). Se llevan a cabo 5 repeticiones de cada prueba.
- En la siguiente fase de experimentación, se toma 1mg de las láminas de oro (también provenientes del ataque ácido de chatarra electrónica), se agregan 100 mg de cobre cemento a una solución de tiosulfato de amonio de 12 g/L e hidróxido de amonio en agitación durante 12,24 y 48 minutos respectivamente a 300 rpm, la medición y toma de muestras se realizan al finalizar cada prueba. La temperatura ambiente es controlada en un rango

cercano a los 25 °C. También se corren pruebas con tiosulfato de sodio con modificación de pH con hidróxido de sodio, y combinaciones de tiosulfato de amonio con hidróxido de sodio y tiosulfato de sodio con hidróxido de amonio. Las pruebas se corren por triplicado.

- La última fase de experimentación llevada a cabo se realiza con tres diferentes pruebas, la primera es realizada con tiosulfato de sodio a 12 g/L y con modificación del pH a 10 con hidróxido de sodio 1N, disolviendo cobre cemento por un lapso de 48 minutos y filtrando la solución para eliminar el resto del cobre que no se disolvió, una vez filtrado se mide el pH y se colocan en agitación a 300 rpm, 10 mg de las láminas finas de oro, durante 12, 24 y 48 minutos, realizando la medición y toma de muestra al final de cada tiempo.

La segunda prueba se realiza utilizando 12g/L de tiosulfato de sodio, con 0.35 g/L de sulfato de cobre y agregando hidróxido de sodio 1N como modificador de pH (llevándolo a 10), bajo estas condiciones, se agregan 10 mg de finas láminas de oro, se colocan en agitación a 300 rpm, durante 12, 24 y 48 minutos y al finalizar cada prueba se llevan a cabo las mediciones y la toma de muestra para su análisis por oro y cobre disuelto en absorción atómica.

una tercer prueba se corre a 35 g/L de tiosulfato de sodio, utilizando hidróxido de sodio para llevar el pH a 10 y posterior disolución de 100 mg de cobre durante 48 minutos, filtrando la solución para eliminar el cobre no disuelto, se agregan a la solución aproximadamente 10 mg de oro en agitación a 300 rpm, durante 12, 24 y 48 minutos y al finalizar cada prueba se

llevan a cabo las mediciones y la toma de muestra para su análisis por oro y cobre disuelto en absorción atómica.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I:

Au	Muestra	pH	Conductividad (ms)	Hora	Temp. °C	Au Disuelto (ppm)	Cu Disuelto (ppm)
2mg	A	10.00	11.05	15:00:00	26.30	0.00	0.00
	A	9.97	10.87	15:15:00	26.90	0.00	0.00
	A	9.77	10.85	15:30:00	27.00	0.00	0.00
	A	9.82	10.85	15:45:00	27.00	0.00	0.00
	A	9.73	10.73	16:00:00	27.00	0.00	0.00
	A	9.70	10.96	16:15:00	27.10	0.00	0.00
	A	9.74	11.09	16:30:00	27.20	0.00	0.00
	A	9.34	11.07	16:45:00	27.20	0.00	0.00
	A	9.25	11.09	17:00:00	27.30	0.00	0.00
	2.2 mg	B	10.00	11.05	15:00:00	26.30	0.00
B		9.77	10.88	15:15:00	26.60	0.00	0.00
B		9.73	10.88	15:30:00	26.80	0.00	0.00
B		9.80	10.87	15:45:00	27.10	0.00	0.00
B		9.60	10.79	16:00:00	27.40	0.00	0.00
B		9.69	10.93	16:15:00	27.60	0.00	0.00
B		9.70	10.96	16:30:00	28.00	0.00	0.00
B		9.29	10.87	16:45:00	28.30	0.00	0.00
B		9.22	10.98	17:00:00	28.40	0.00	0.00
2.2 mg		C	10.00	11.05	15:00:00	26.30	0.00
	C	9.77	10.85	15:15:00	26.30	0.00	0.00
	C	10.01	10.93	15:30:00	26.40	0.00	0.00
	C	9.71	10.87	15:45:00	26.80	0.00	0.00
	C	9.58	10.82	16:00:00	27.20	0.00	0.00
	C	9.67	10.94	16:15:00	27.50	0.00	0.00
	C	9.64	10.97	16:30:00	28.10	0.00	0.00
	C	9.26	10.84	16:45:00	28.50	0.00	0.00
	C	9.22	10.92	17:00:00	28.70	0.00	0.00
	1.9 mg	D	10.00	11.05	15:00:00	26.30	0.00
D		9.87	10.80	15:15:00	26.30	0.00	0.00
D		10.07	10.85	15:30:00	26.30	0.00	0.00
D		9.76	10.79	15:45:00	26.60	0.00	0.00
D		9.56	10.86	16:00:00	26.70	0.00	0.00
D		9.80	10.97	16:15:00	27.00	0.00	0.00
D		9.63	11.03	16:30:00	27.30	0.00	0.00
D		9.39	10.96	16:45:00	27.50	0.00	0.00

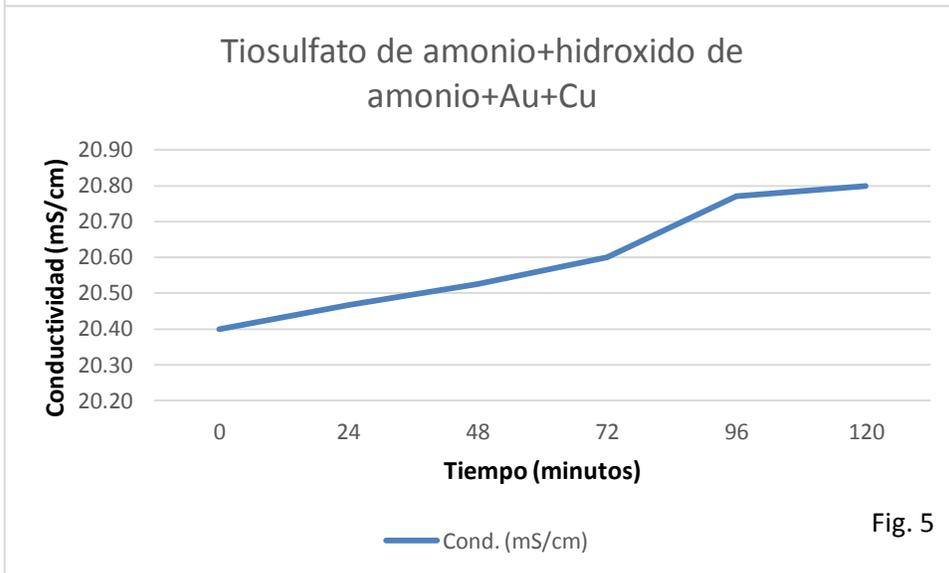
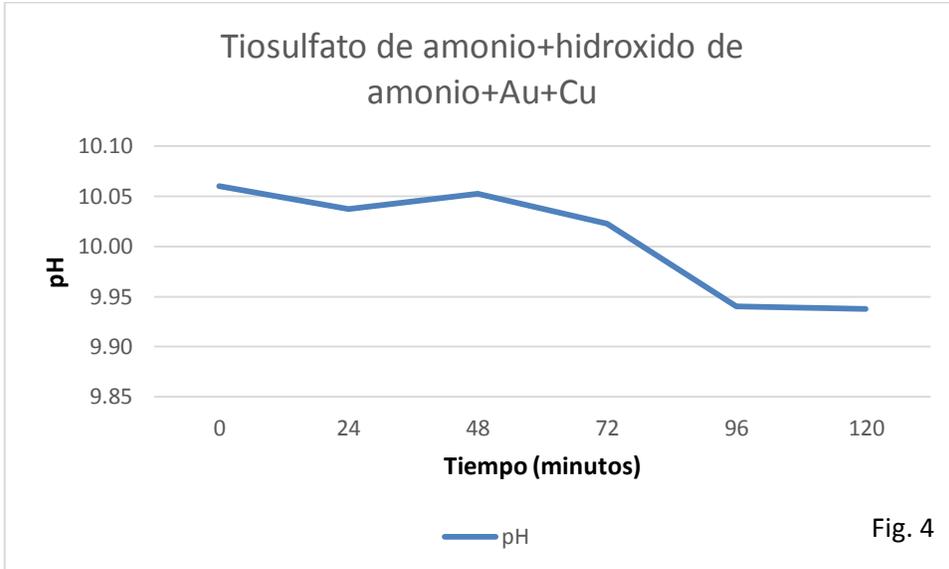
	D	9.38	11.03	17:00:00	27.60	0.00	0.00
--	---	------	-------	----------	-------	------	------

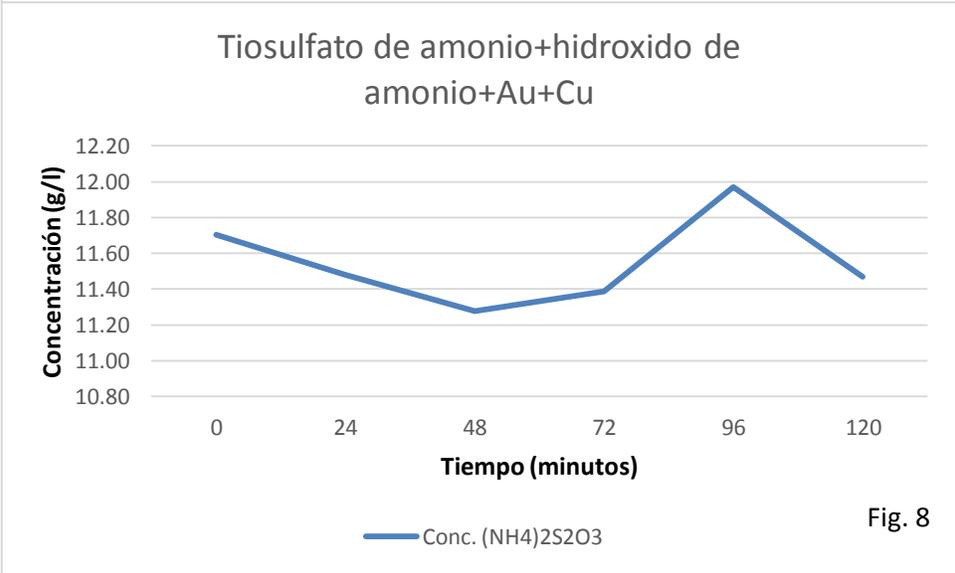
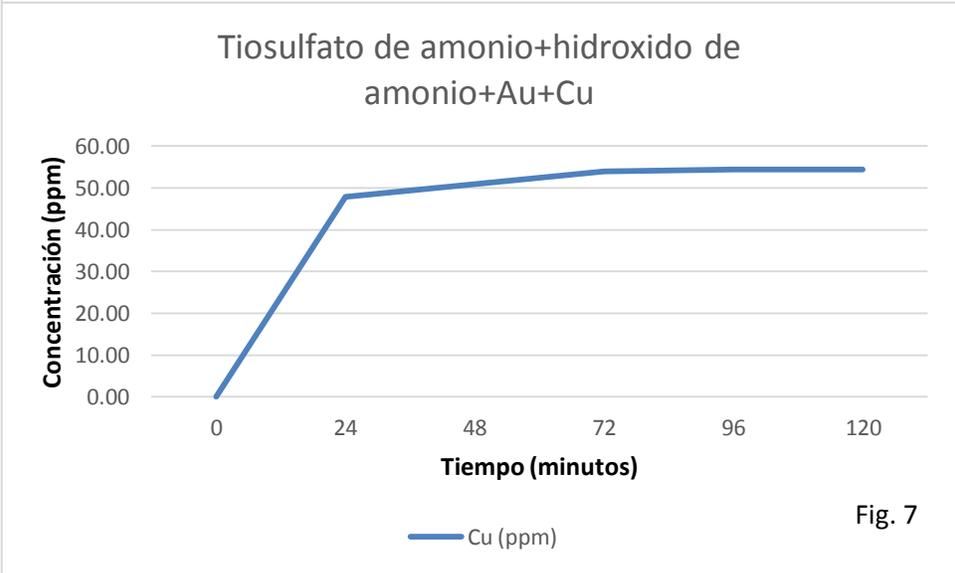
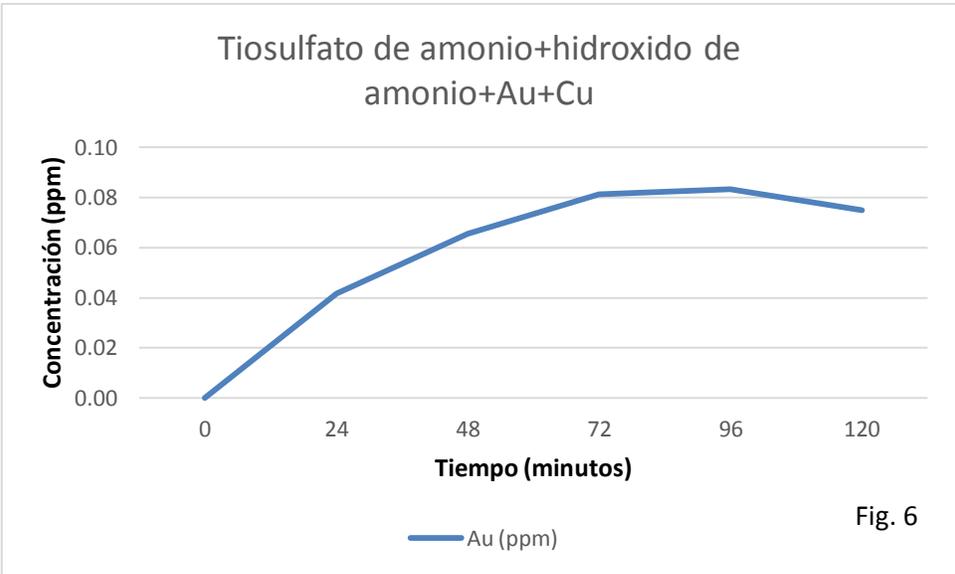
Fig. 3 Resultados Fase I (disolución de tiosulfato de amonio 12g/L, utilizando hidróxido de amonio como modificador de pH. Se agregan 0.0075g de cobre cemento).

Analizando los resultados de esta fase se puede observar que no existe disolución de oro ni de cobre, a partir de estos resultados se decide buscar láminas más delgadas de oro, y además aumentar la cantidad de cobre cemento.

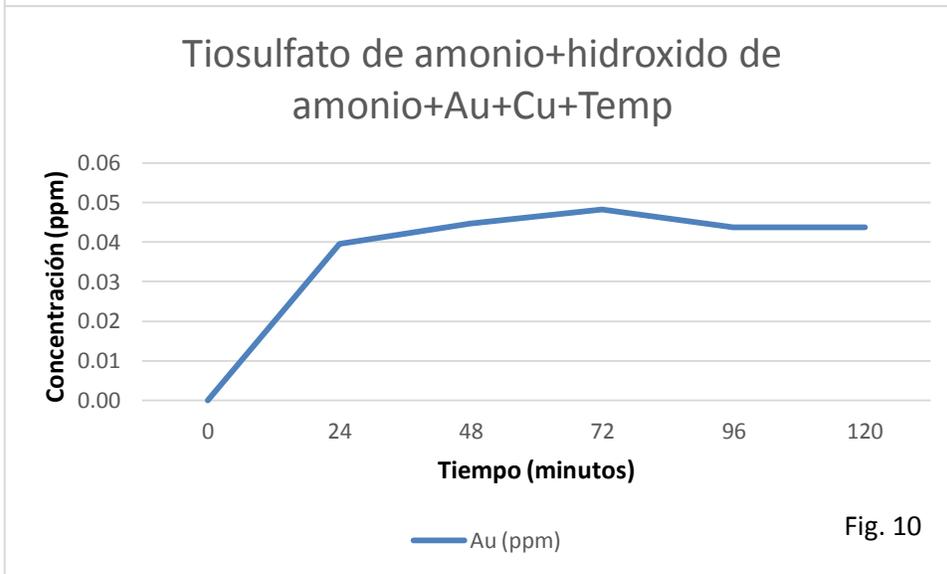
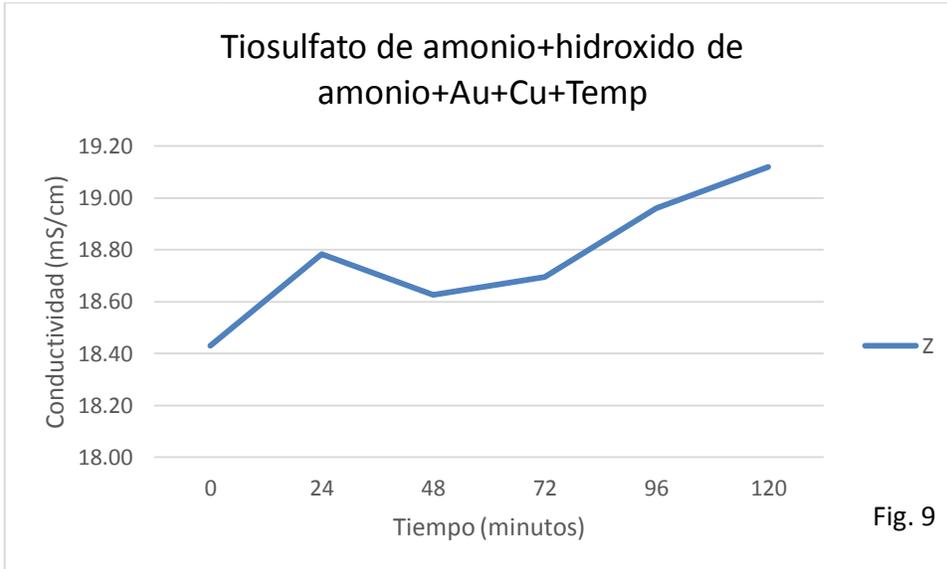
FASE II:

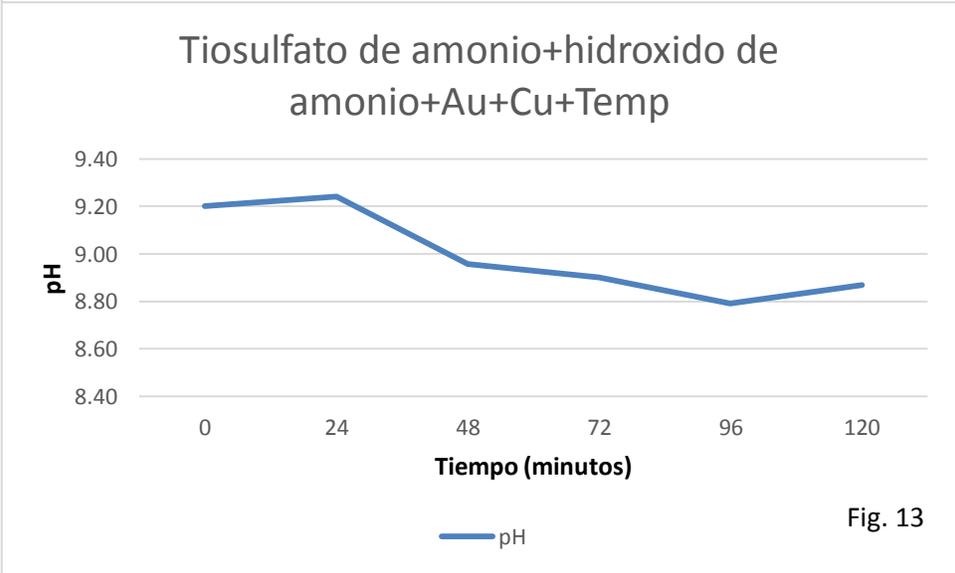
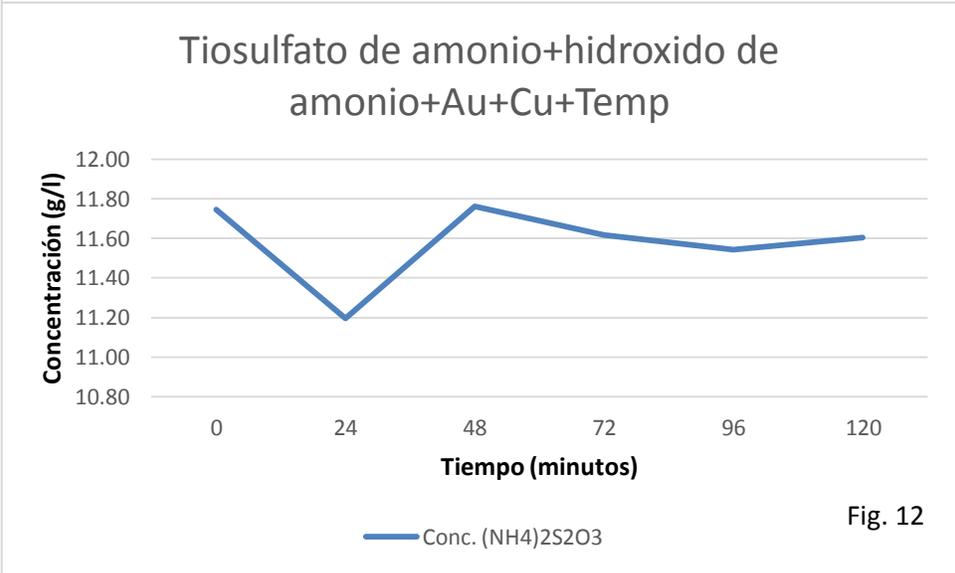
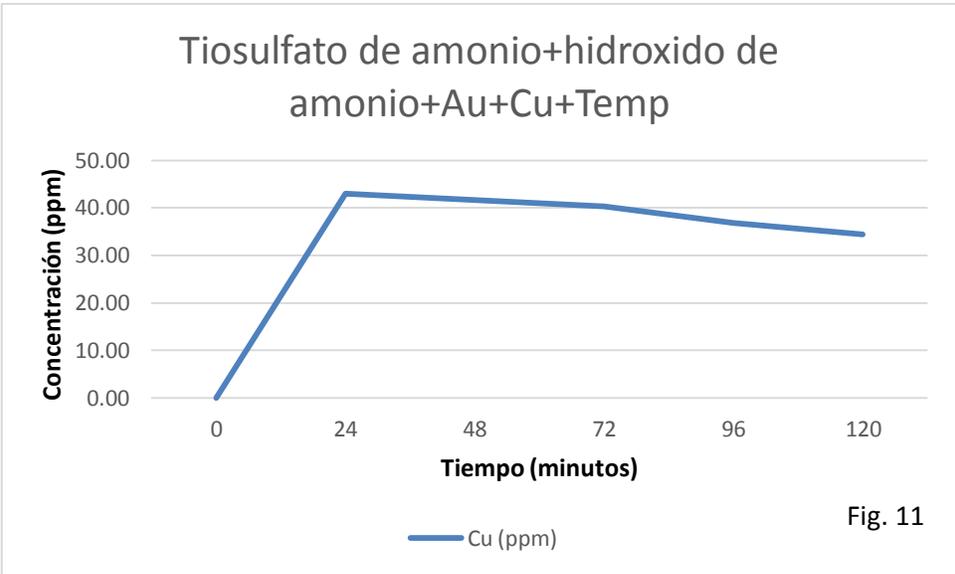
Tratamiento 1: Tiosulfato de amonio +hidróxido de amonio+ Au+ Cu



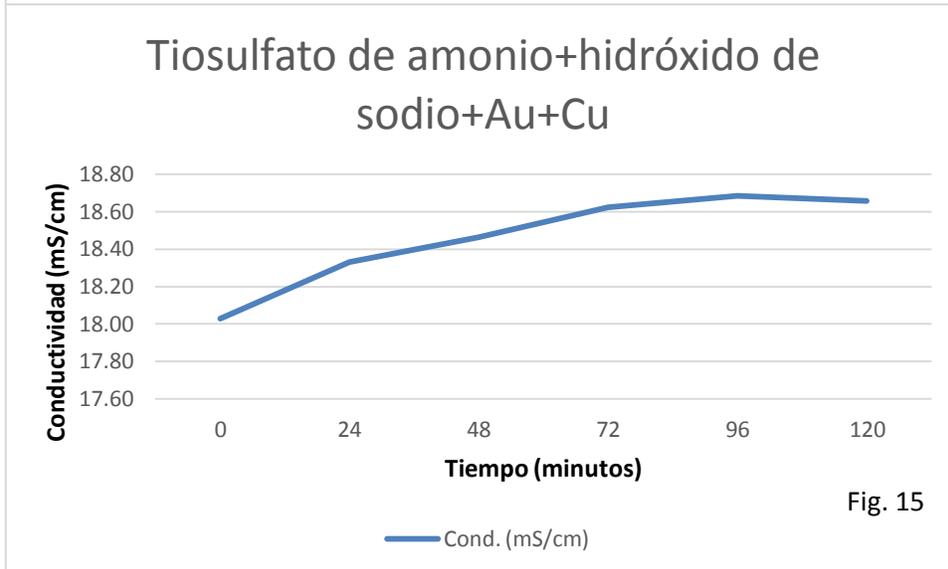
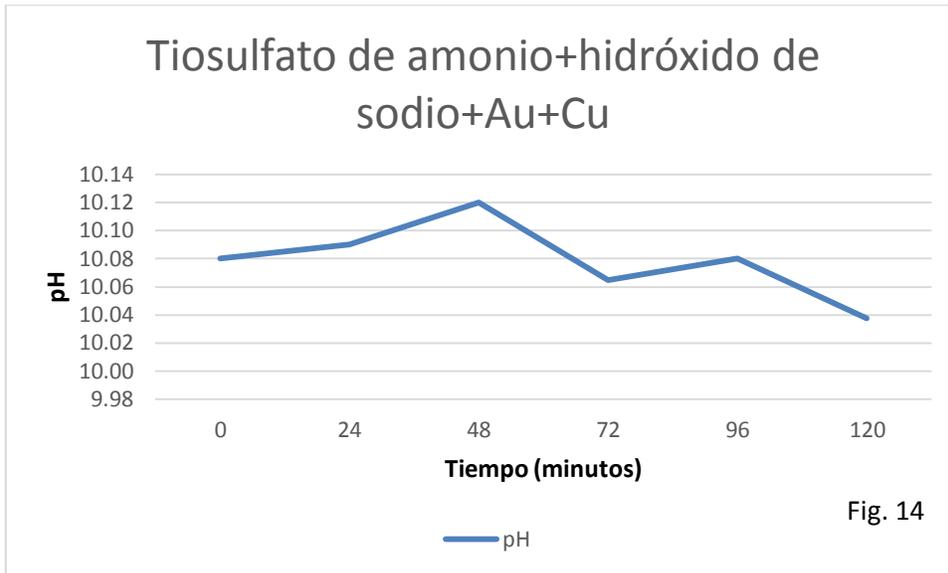


Tratamiento 2: Tiosulfato de amonio + hidróxido de amonio+ Oro+ Cobre (cemento)+ T (40°C a 45°C)





Tratamiento 3. Tiosulfato de amonio+ hidróxido de sodio+ Au+ Cu



Tiosulfato de amonio+hidróxido de sodio+Au+Cu

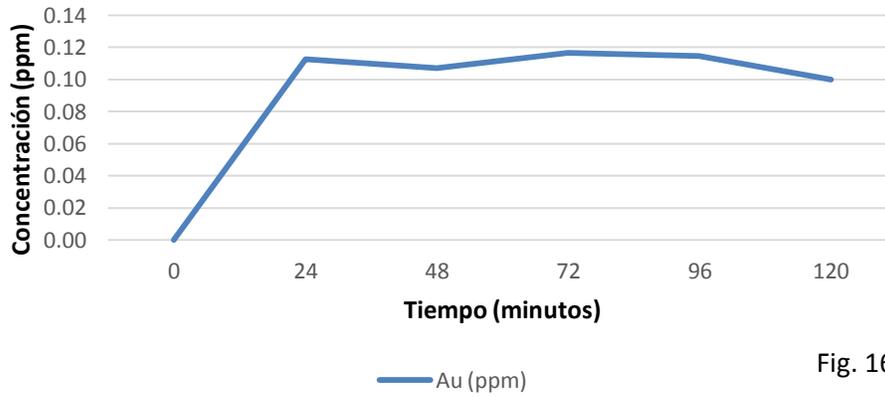


Fig. 16

Tiosulfato de amonio+hidróxido de sodio+Au+Cu

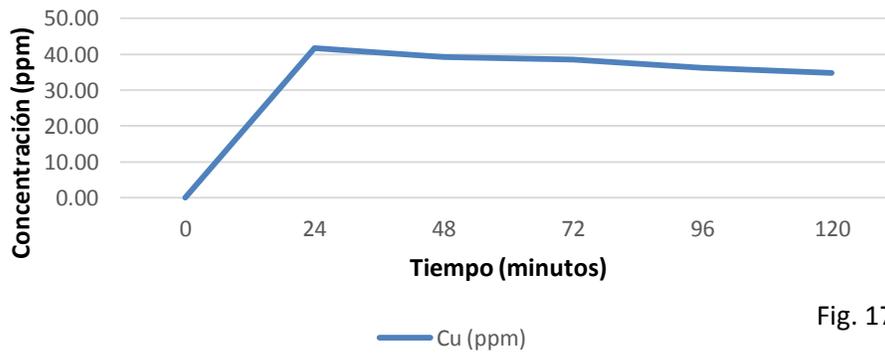


Fig. 17

Tiosulfato de amonio+hidróxido de sodio+Au+Cu

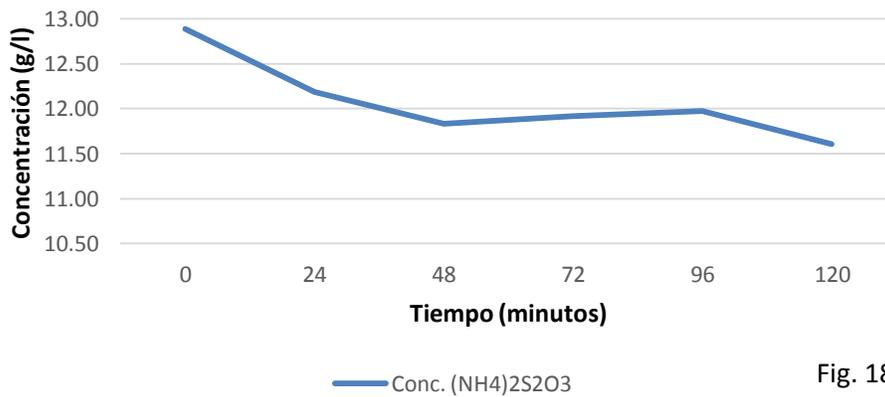
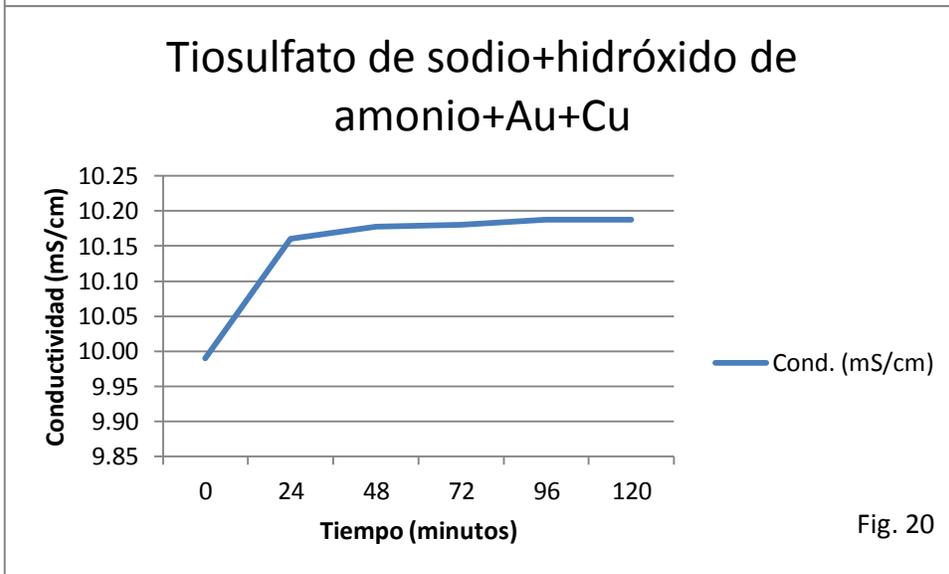
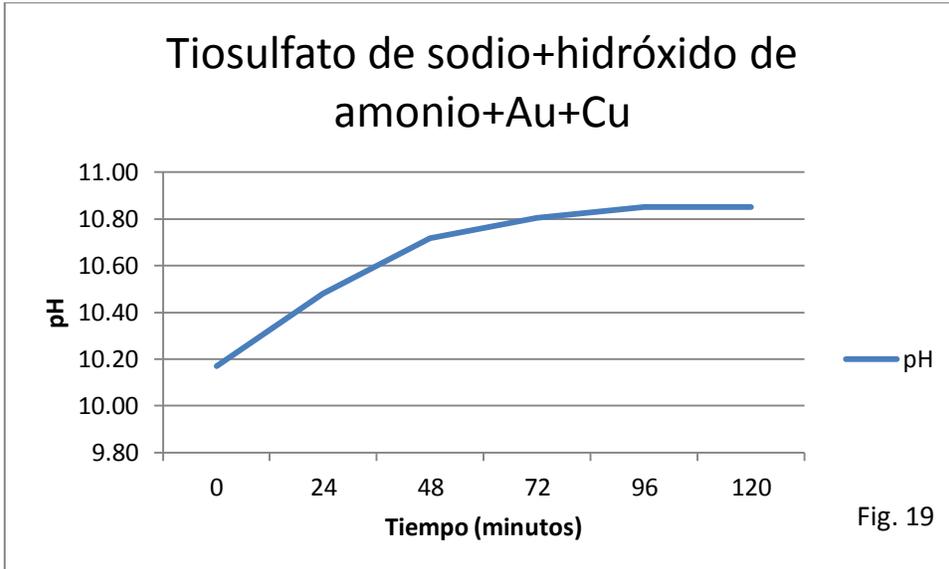


Fig. 18

Tratamiento 4. Tiosulfato de sodio + hidróxido de amonio + Au+ Cu



Tiosulfato de sodio+hidróxido de amonio+Au+Cu

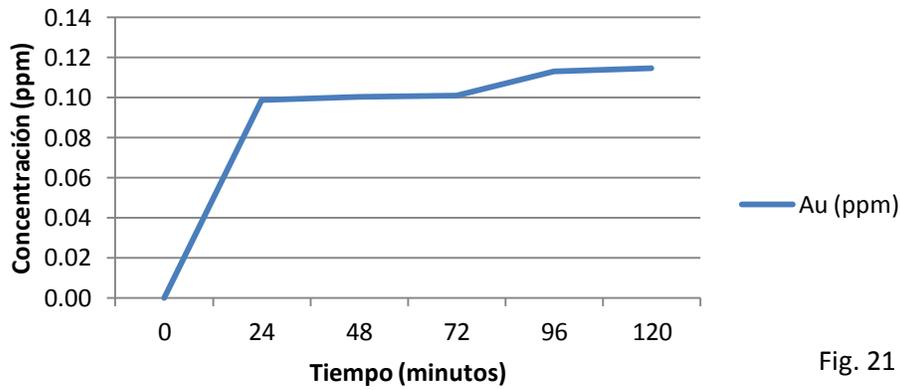


Fig. 21

Tiosulfato de sodio+hidróxido de amonio+Au+Cu

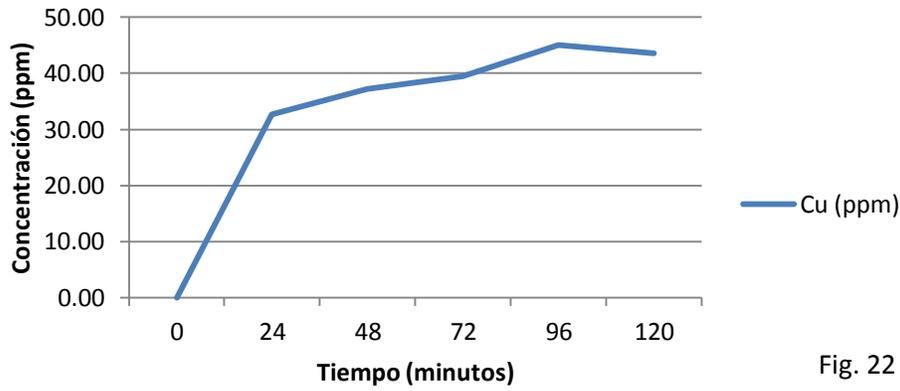


Fig. 22

Tiosulfato de sodio+hidróxido de amonio+Au+Cu

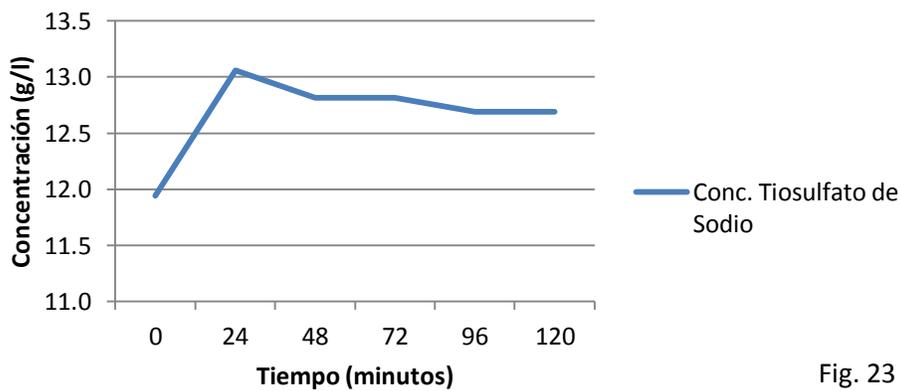
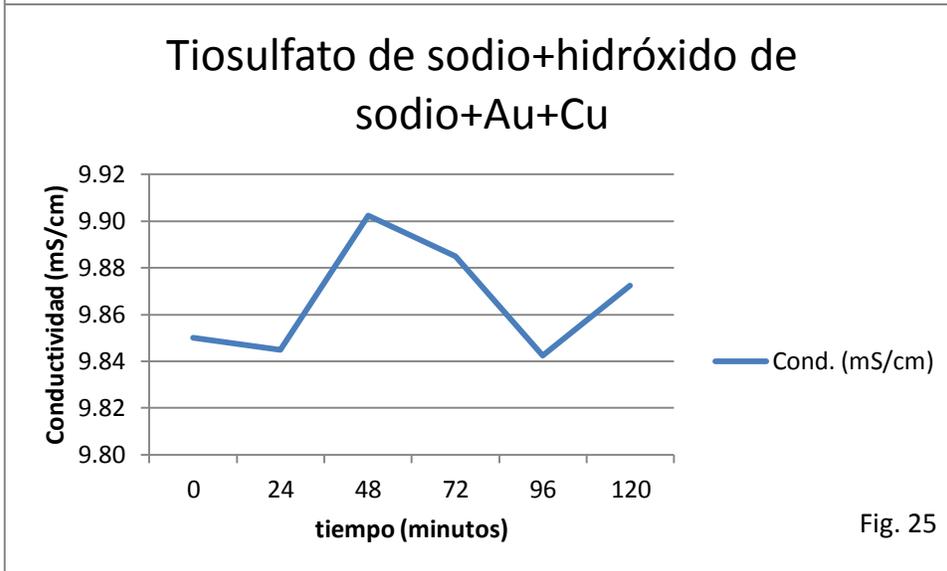
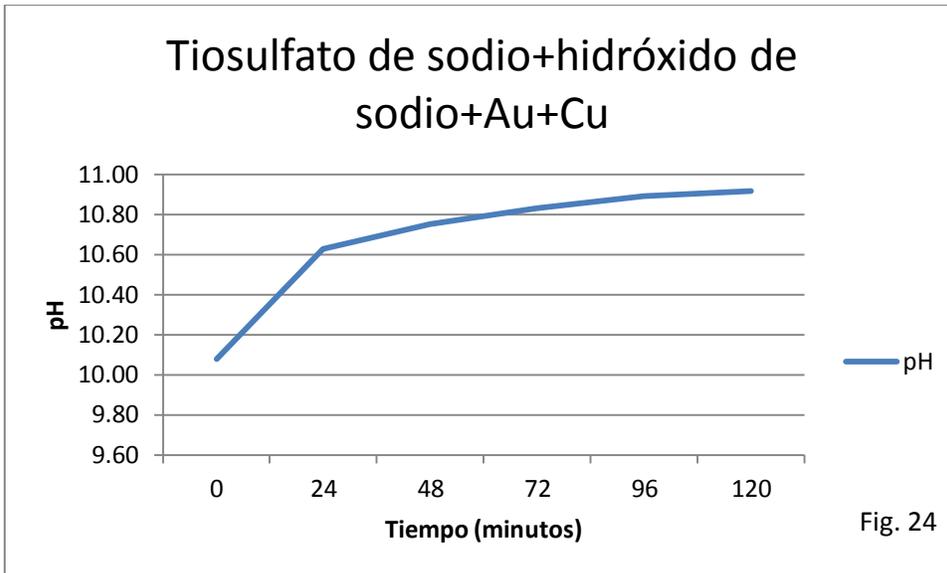


Fig. 23

Tratamiento 5. Tiosulfato de sodio+ hidróxido de sodio+ Au+ Cu



Tiosulfato de sodio+hidróxido de sodio+Au+Cu

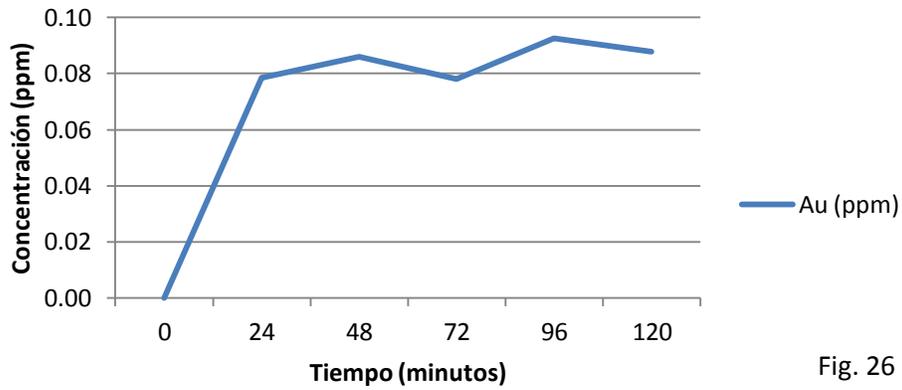


Fig. 26

Tiosulfato de sodio+hidróxido de sodio+Au+Cu

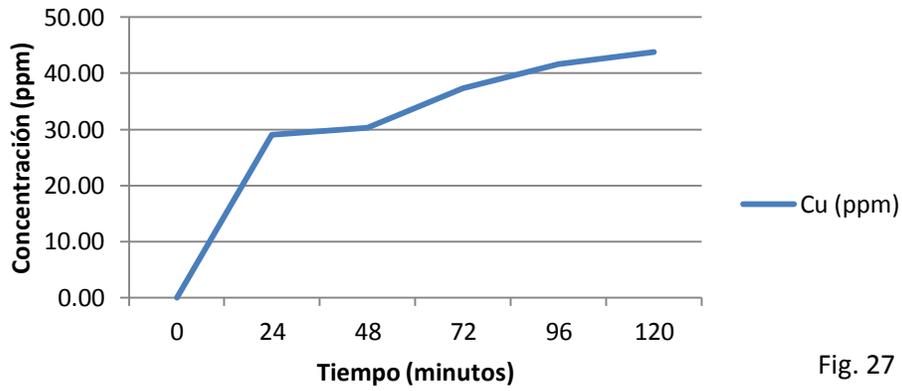


Fig. 27

Tiosulfato de sodio+hidróxido de sodio+Au+Cu

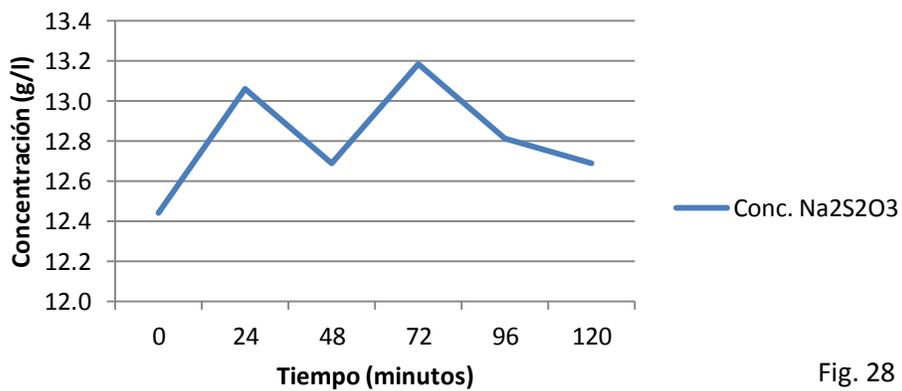
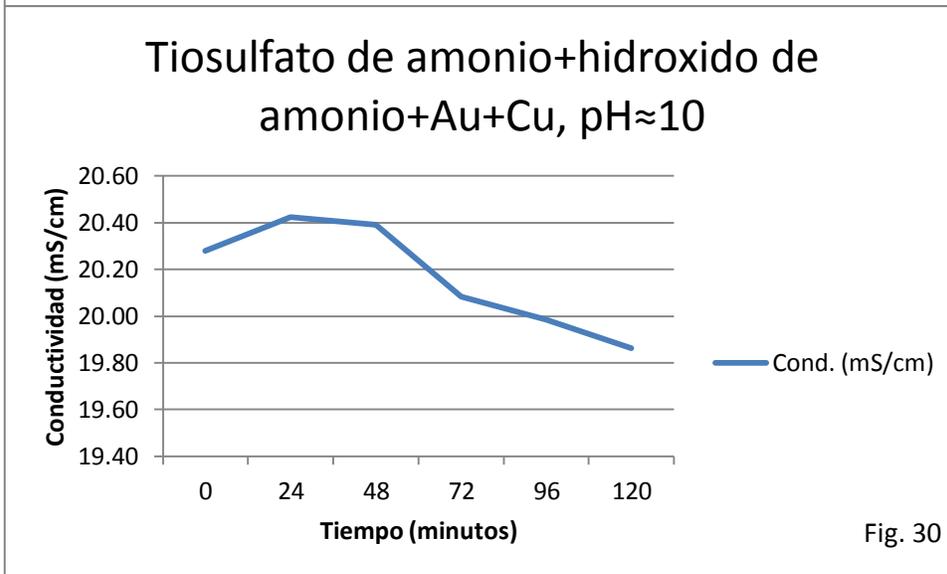
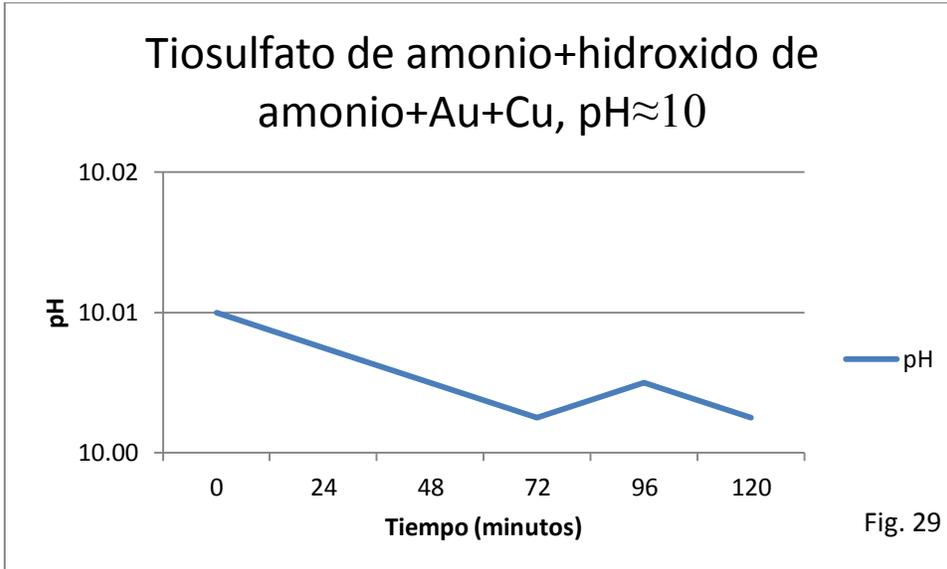


Fig. 28

Tratamiento 6. Tiosulfato de amonio+ hidróxido de amonio+ Au+ Cu, pH≈10



Tiosulfato de amonio+hidroxido de amonio+Au+Cu, pH≈10

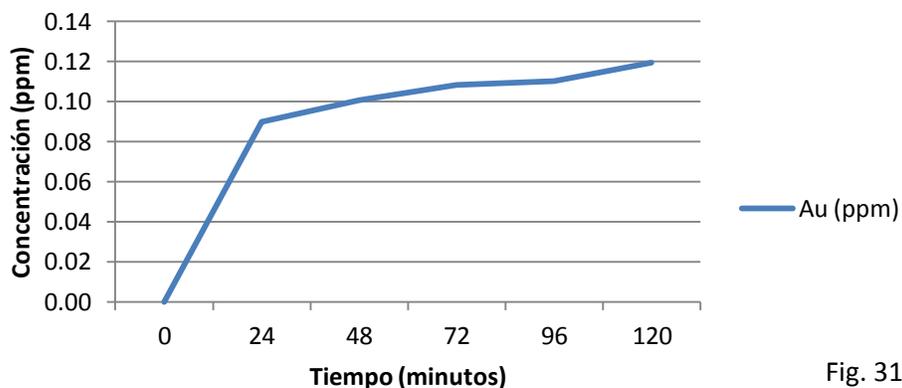


Fig. 31

Tiosulfato de amonio+hidroxido de amonio+Au+Cu, pH≈10

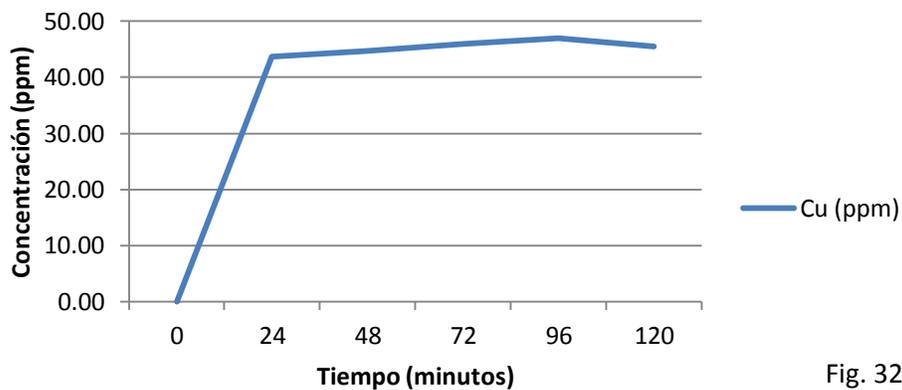


Fig. 32

Tiosulfato de amonio+hidroxido de amonio+Au+Cu, pH≈10

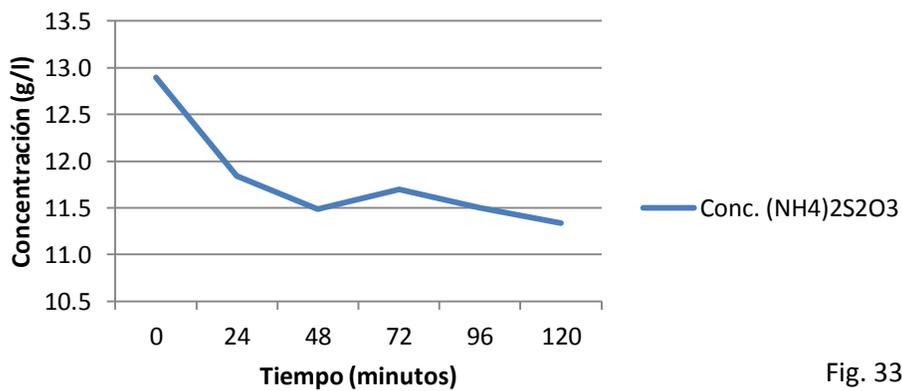


Fig. 33

De los resultados anteriores se evaluó la situación de la toma de muestras, ya que al extraer los 25 ml con valores y agregar otros 25 ml de solución nueva, al hacer esto se le agrega el valor del pH de la solución original, interfiriendo en los nuevos valores de pH de la solución.

Dada esta situación, que dificultó el análisis de la información buscada, se decidió modificar la experimentación e iniciando una tercer fase experimental, donde se decide correr las pruebas a 12, 24 y 48 minutos y tomar la muestra al final de las corridas experimentales.

FASE III

TRATAMIENTO 10-A

Solución preparada con tiosulfato de amonio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de amonio. Se agrega Oro y cobre cemento a temperatura ambiente (24-26°C)

A) pH

Tiempo Minutos	Prueba 1 pH	Prueba 2 pH	Prueba 3 pH
0	10.00	10.00	10.00
12	10.08	10.03	10.03
24	10.06	10.00	9.99
48	9.98	9.90	9.92

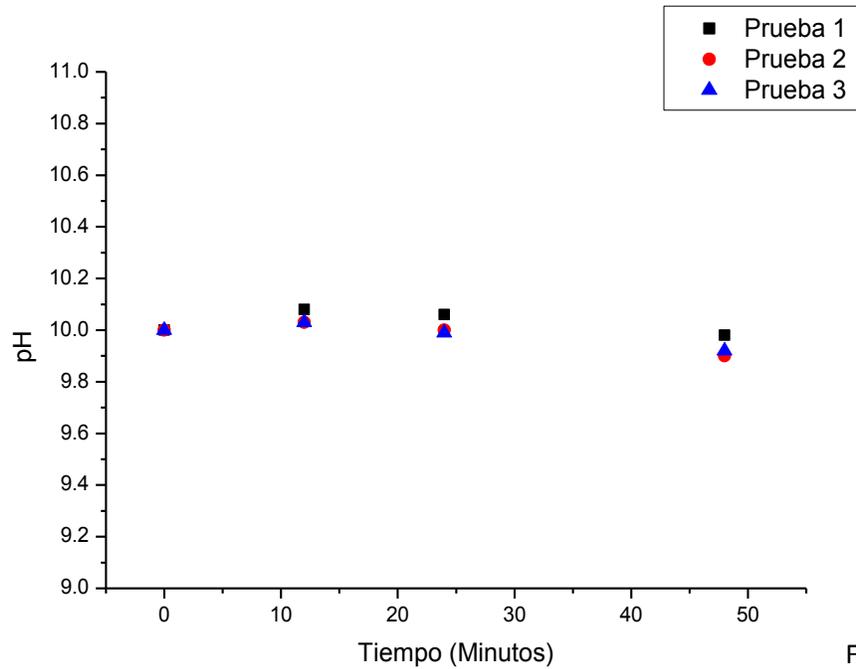


Fig. 34

B) Conductividad

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	21.03	21.03	21.03
12	20.45	20.40	20.41
24	20.39	20.47	20.37
48	20.49	20.46	20.46

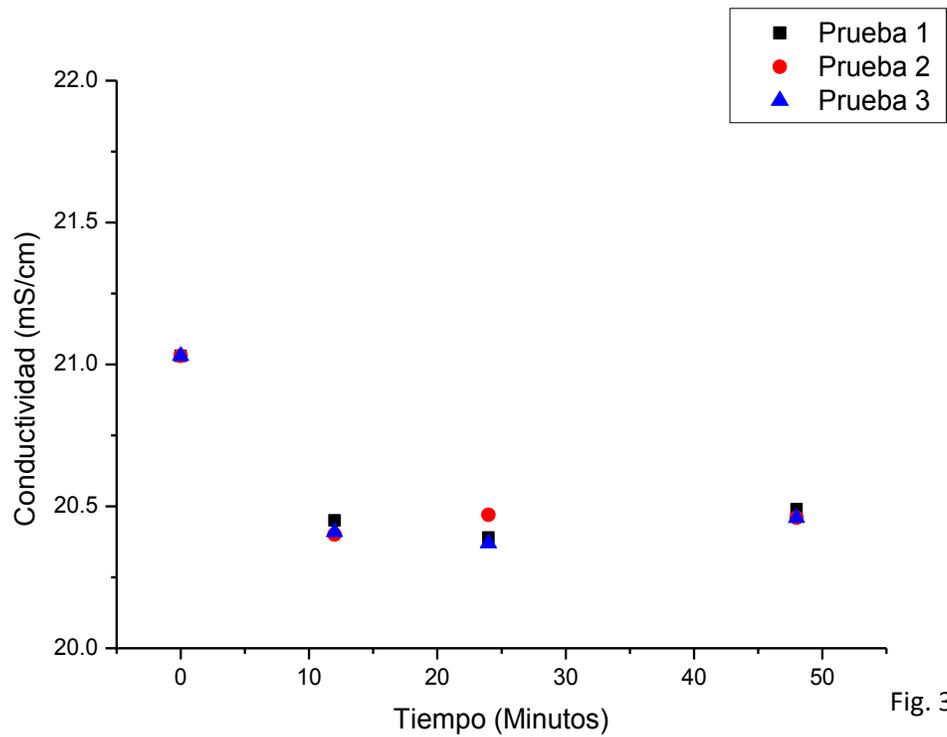


Fig. 35

C) Concentración Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.07	0.05	0.05
24	0.07	0.08	0.07
48	0.08	0.09	0.09

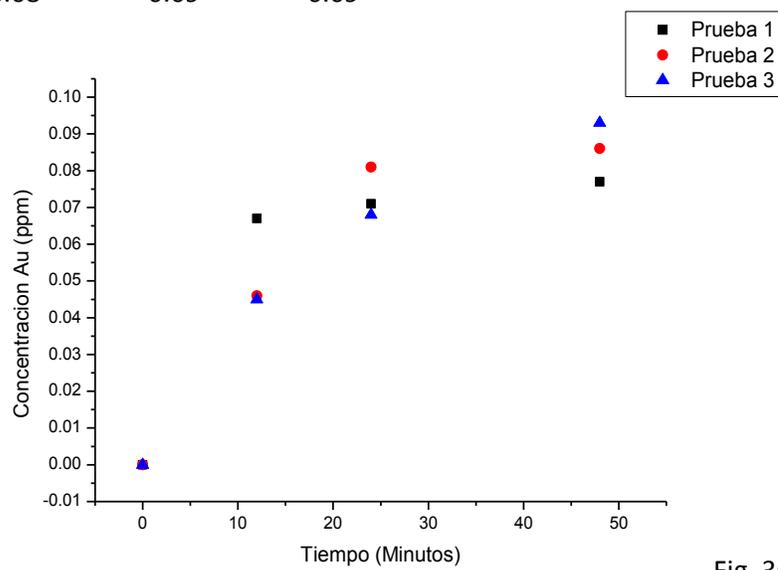


Fig. 36

D) Temperatura

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	26.70	26.50	26.50
12	25.80	26.10	25.80
24	24.90	25.60	25.20
48	25.60	26.20	25.50

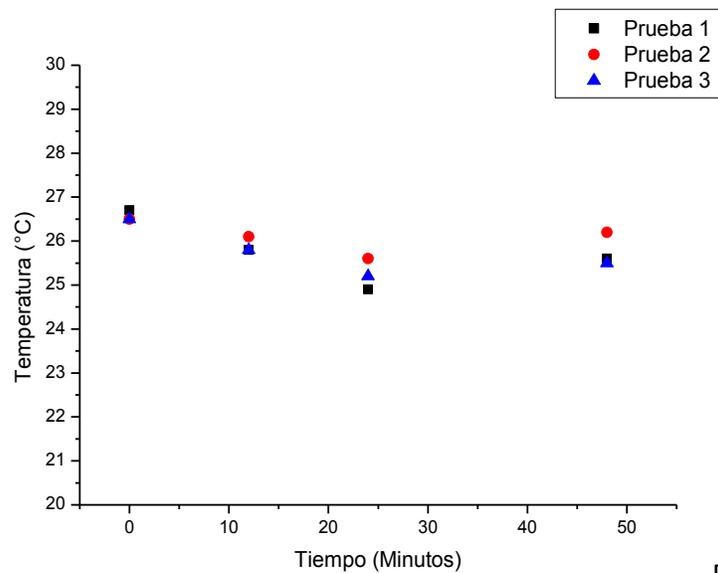


Fig. 37

E) Concentración Cu

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	143.22	142.66	143.07
24	145.22	133.79	120.78
48	147.63	144.26	138.79

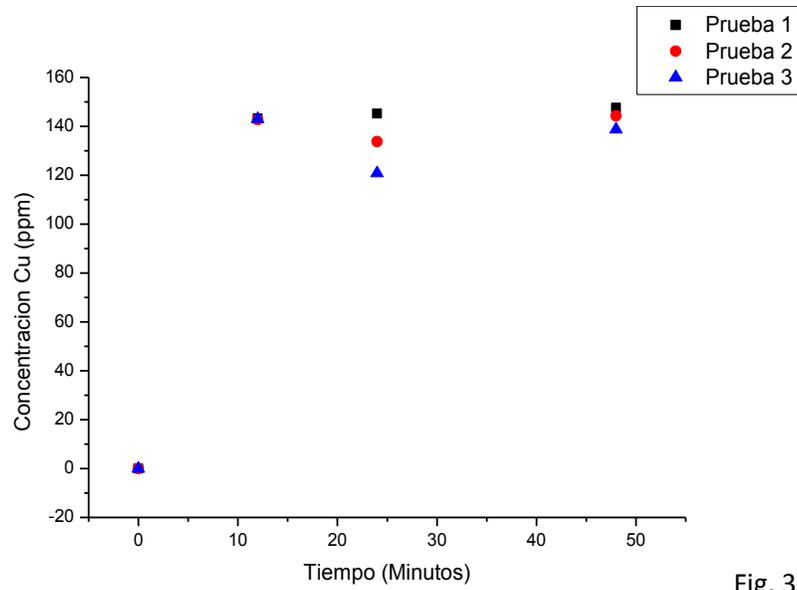


Fig. 38

f) Concentración Tiosulfato

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	11.70	11.80	11.80
12	11.45	11.46	11.01
24	11.35	11.43	11.60
48	11.62	11.44	11.45

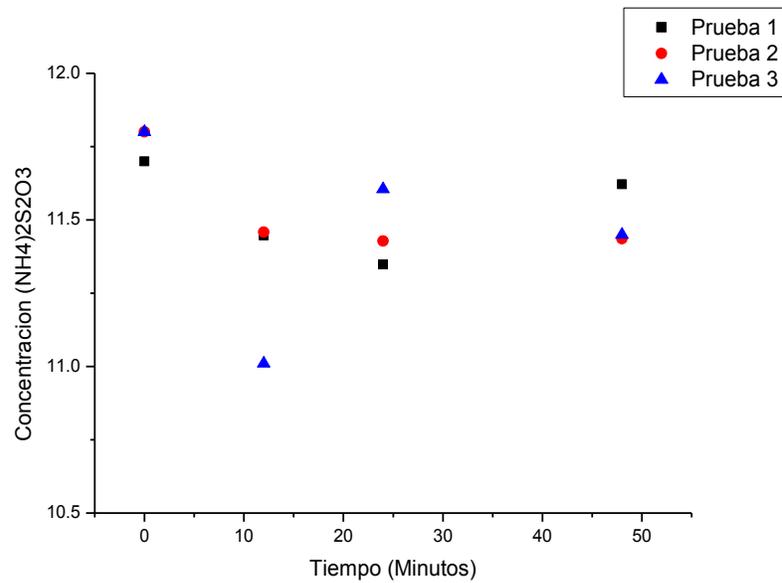


Fig. 39

TRATAMIENTO 10-C

Solución preparada con tiosulfato de amonio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de amonio. Se agrega oro. Temperatura ambiente (24-26°C).

A) pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.00	10.00	10.00
12	9.95	9.91	9.94
24	9.96	9.94	9.94
48	9.94	9.93	9.93

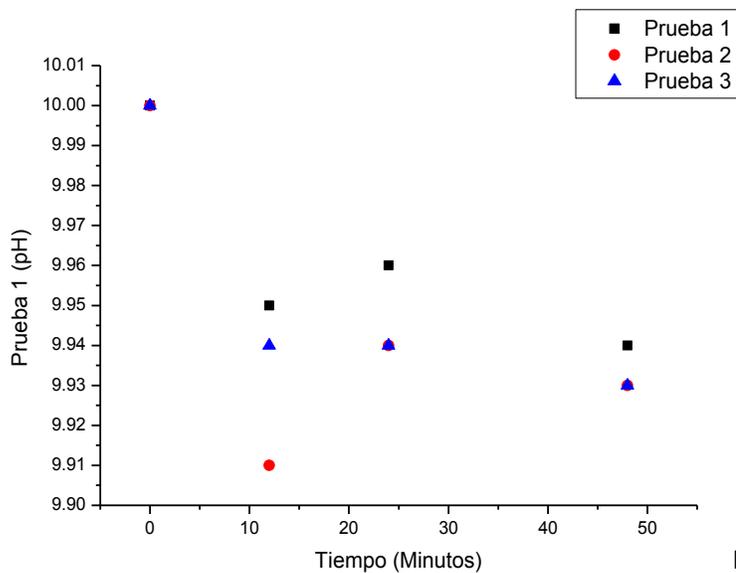


Fig. 40

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	21.56	21.56	21.56
12	21.53	21.63	21.55
24	21.54	21.60	21.38
48	21.40	21.28	21.30

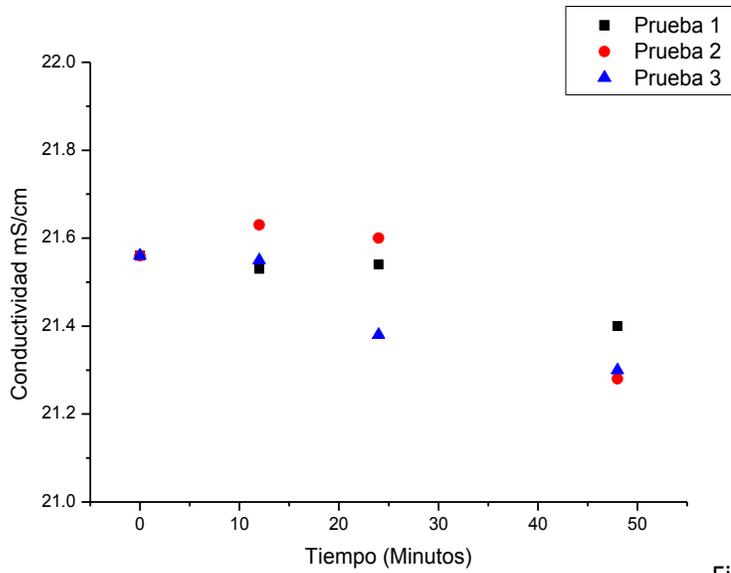


Fig. 41

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	24.00	23.50	23.60
12	23.10	23.50	23.00
24	22.70	23.00	22.80
48	23.60	23.80	23.70

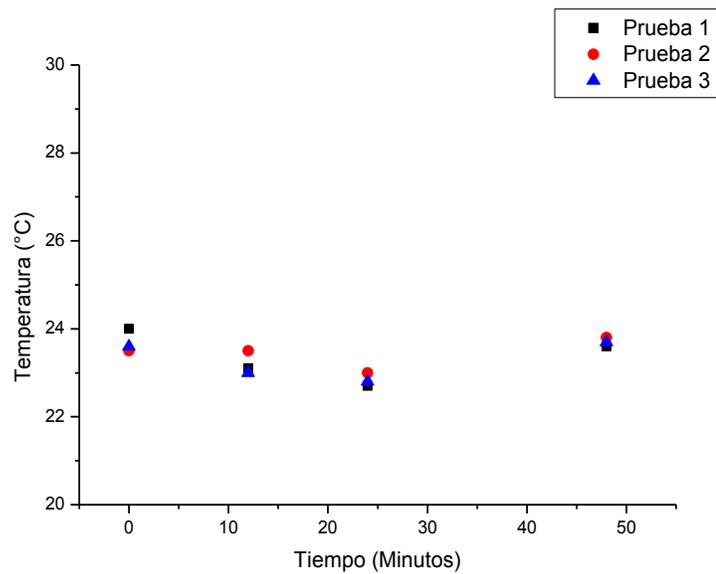


Fig. 42

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.11	0.08	0.09
24	0.12	0.08	0.06
48	0.12	0.08	0.13

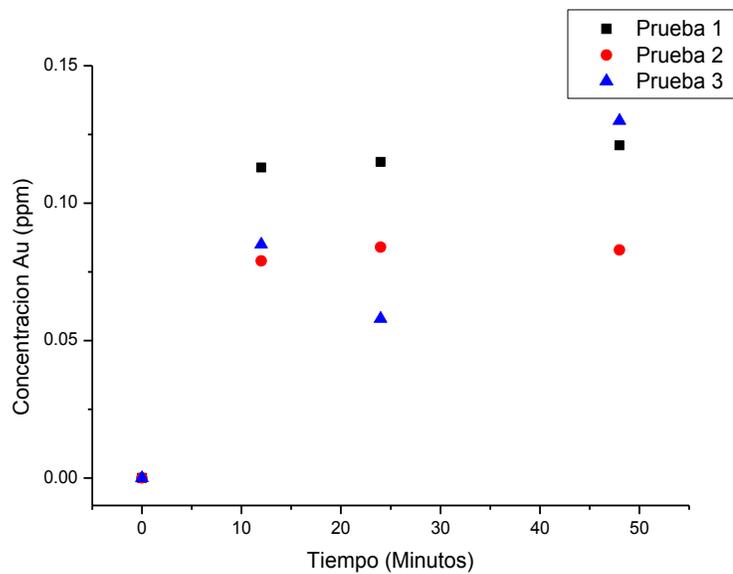


Fig. 43

E) CONCENTRACIÓN Cu (no se agrega cobre)

F) CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	11.80	11.80	11.80
12	11.24	11.18	11.18
24	11.53	11.53	11.31
48	11.82	11.80	11.80

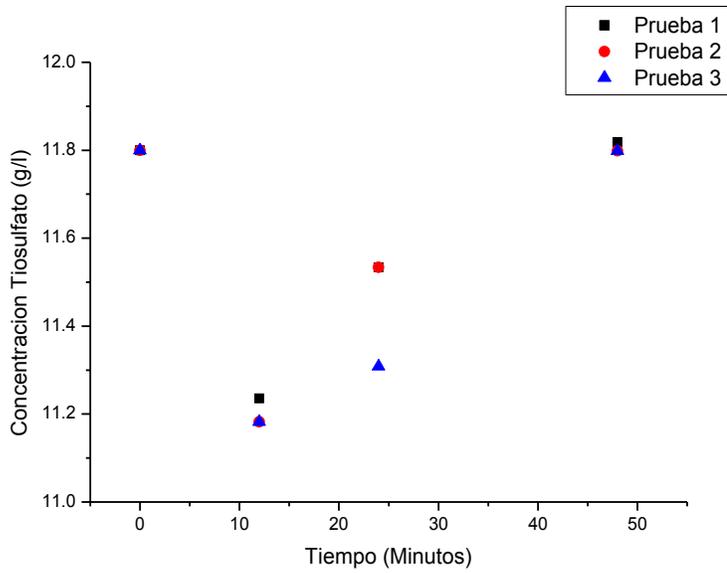


Fig. 44

TRATAMIENTO 11-A

Solución preparada con tiosulfato de sodio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de Amonio. Temperatura ambiente. Se agrega oro y cobre cemento.

A) pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.00	10.00	10.00
12	10.93	10.91	11.07
24	11.09	11.19	11.14
48	11.28	11.25	11.20

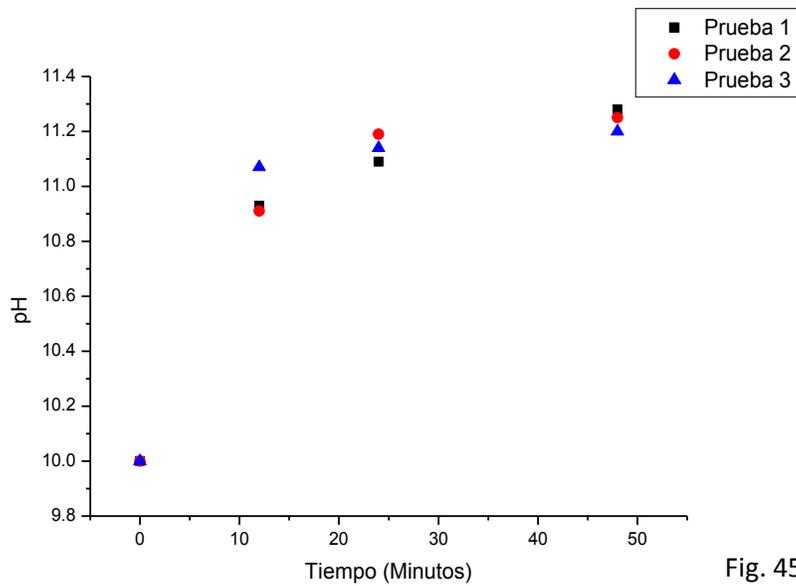


Fig. 45

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.54	14.65	14.71
12	14.60	14.59	14.57
24	14.63	14.65	14.62
48	14.67	14.72	14.65

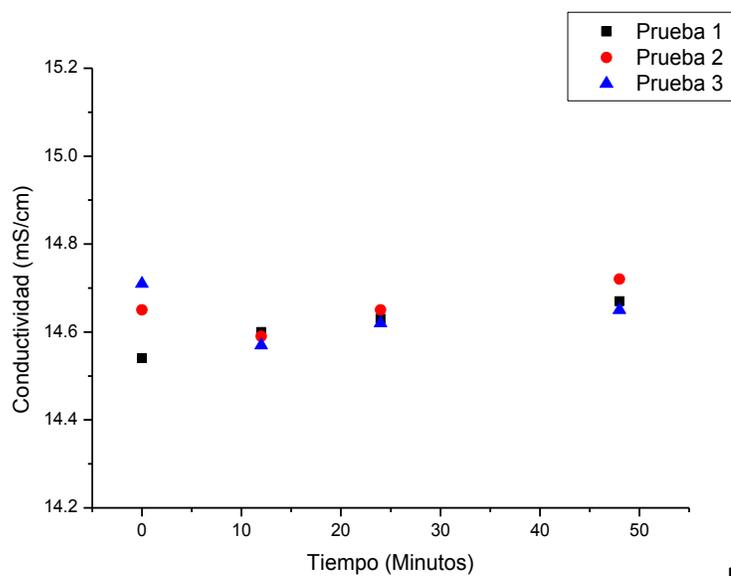


Fig. 46

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.54	14.65	14.71
12	14.60	14.59	14.57
24	14.63	14.65	14.62
48	14.67	14.72	14.65

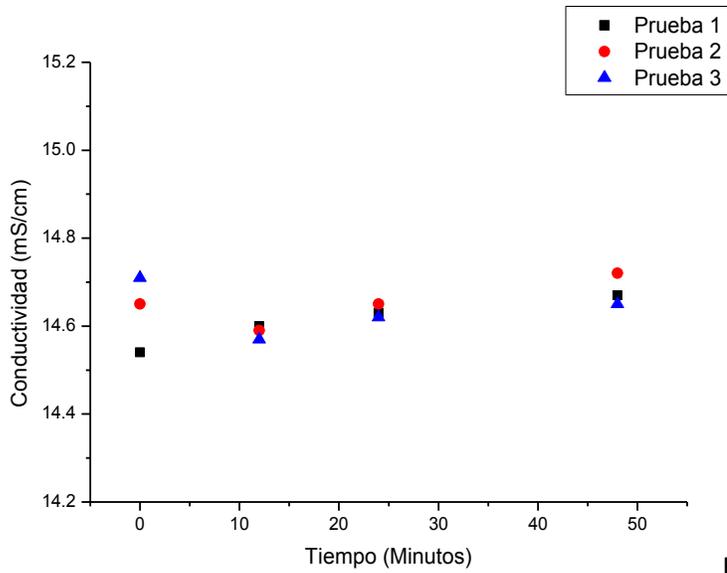


Fig. 47

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.11	0.09	0.08
24	0.11	0.12	0.09
48	0.11	0.12	0.11

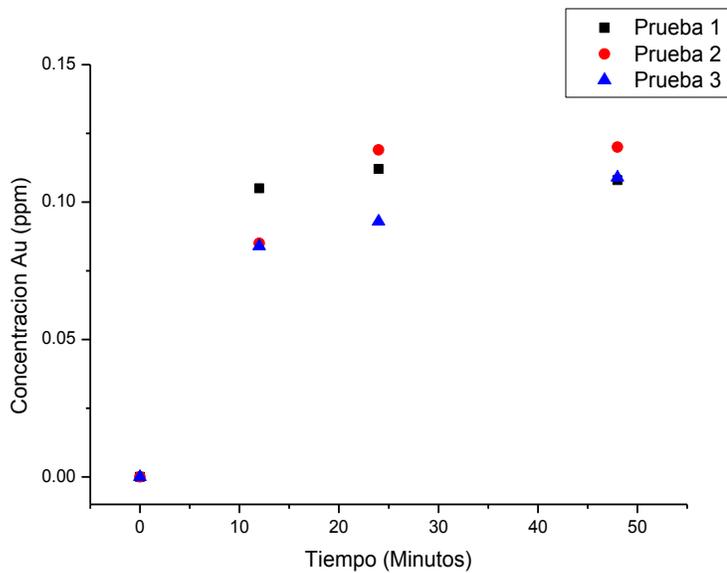


Fig. 48

E) CONCENTRACIÓN Cu

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	85.06	79.70	100.68
24	110.95	110.33	111.10
48	130.86	126.19	116.85

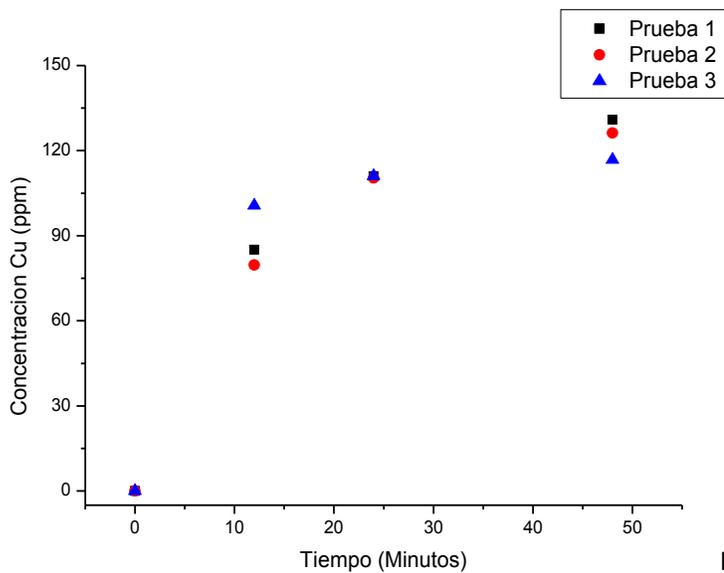


Fig. 49

F) CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.30	12.30	12.30
12	12.30	12.30	12.01
24	12.01	12.13	12.13
48	12.24	12.19	12.25

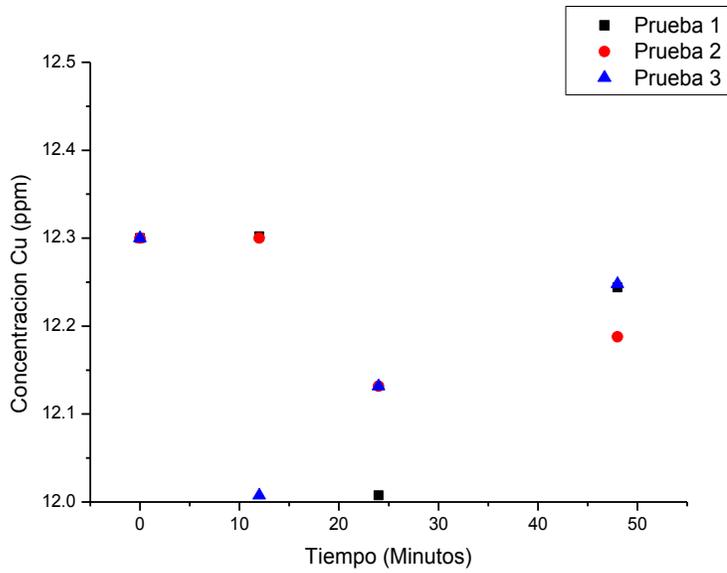


Fig. 50

TRATAMIENTO 11-B

Solución preparada con tiosulfato de sodio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de Amonio. Temperatura ambiente. Se agrega oro y cobre cemento. Control sobre el pH, se mantuvo entre 9 y 11 con hidróxido de amonio

A) pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.01	10.00	10.00
12	10.65	10.44	10.41
24	10.09	10.13	10.11
48	10.66	10.56	10.55

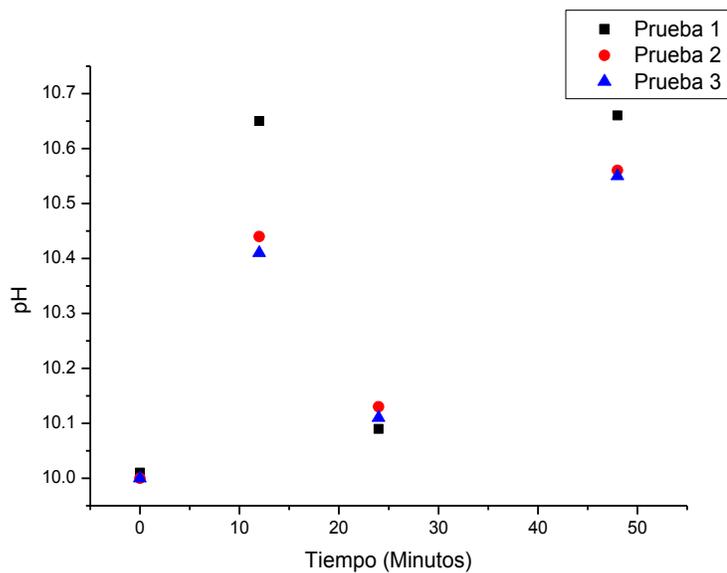


Fig. 51

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.95	14.95	14.95
12	14.62	14.59	14.59
24	14.65	14.64	14.62
48	14.84	14.89	14.84

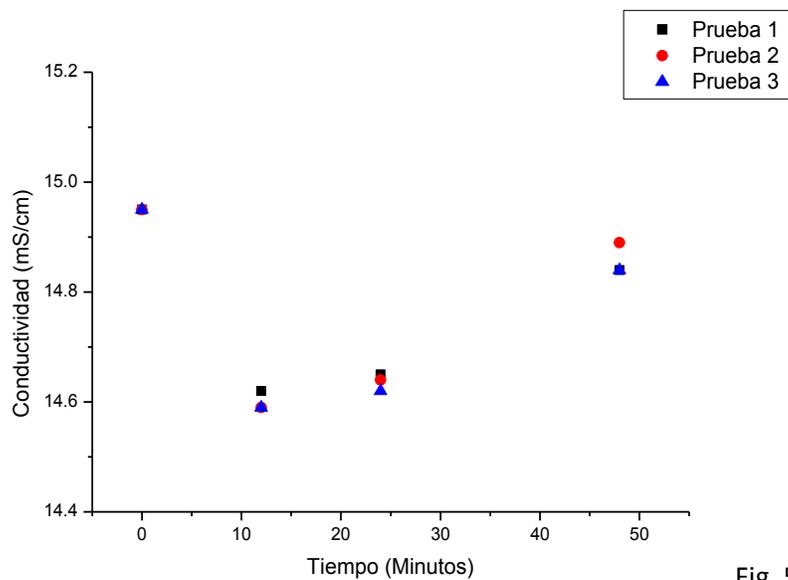


Fig. 52

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	25.00	25.00	25.00
12	25.00	25.50	25.10
24	25.20	25.60	25.20
48	24.20	24.70	24.30

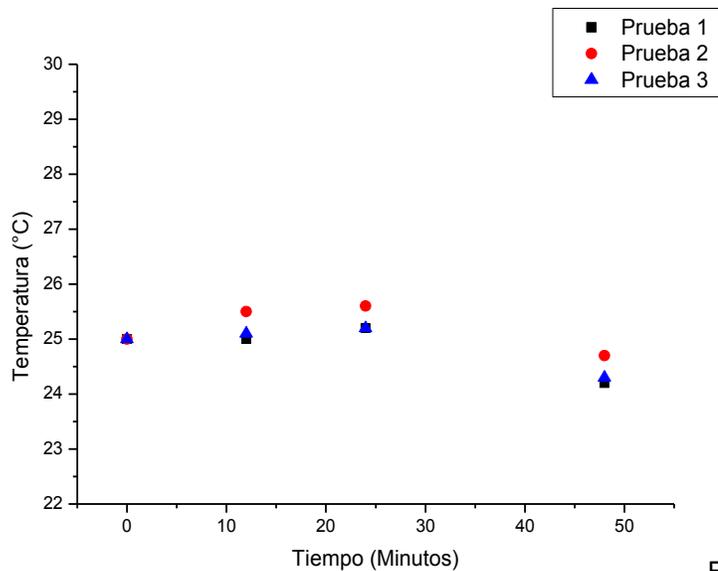


Fig. 53

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.06	0.05	0.06
24	0.08	0.07	0.06
48	0.08	0.07	0.08

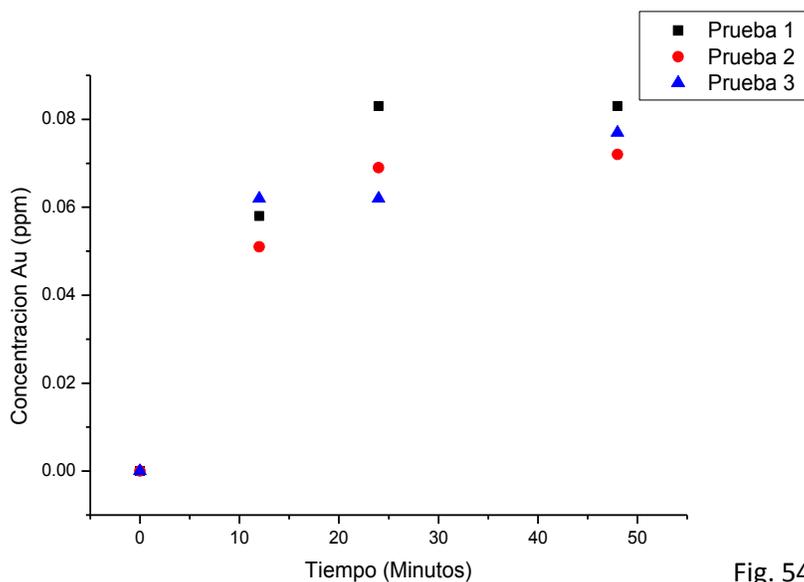


Fig. 54

E) CONCENTRACIÓN Cu

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	97.57	97.00	91.26
24	117.02	117.77	111.50
48	117.70	117.95	117.02

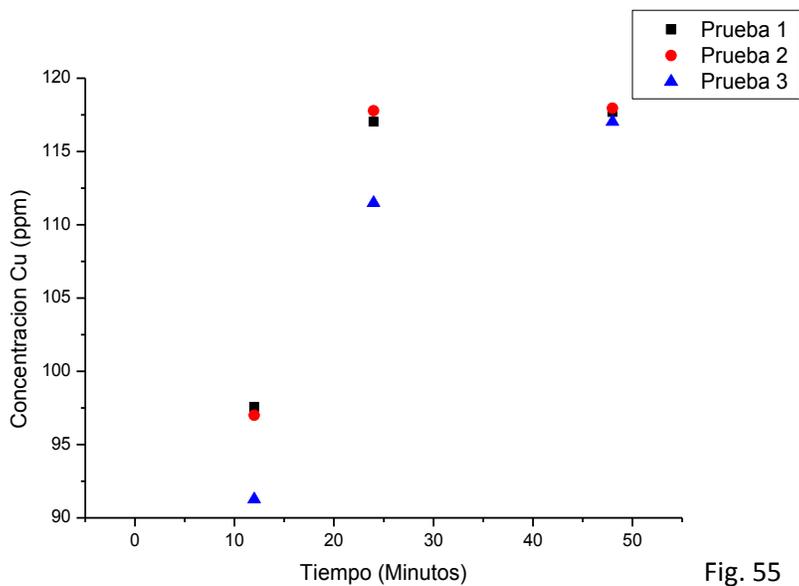


Fig. 55

F) CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.00	12.00	12.00
12	11.89	11.80	11.70
24	11.60	11.70	11.50
48	11.60	11.70	11.50

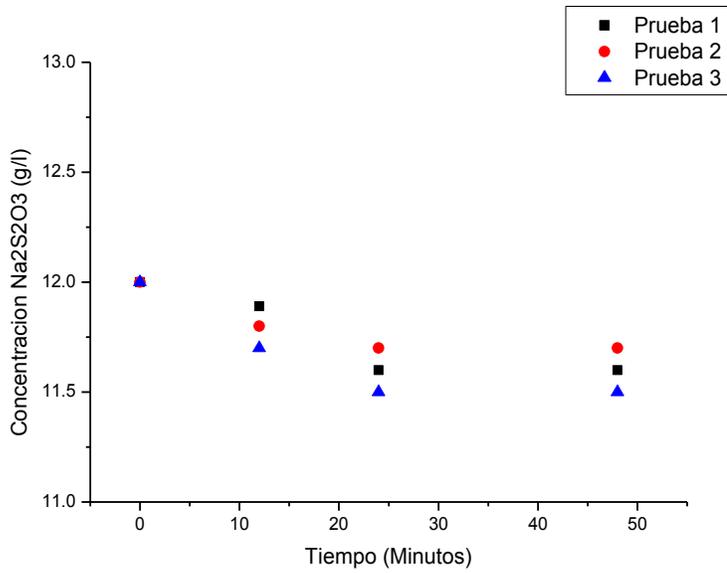


Fig. 56

TRATAMIENTO 11-C

Solución preparada con tiosulfato de sodio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de Amonio. Temperatura ambiente. Se agrega oro.

A)pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.00	10.02	10.00
12	9.86	9.88	9.90
24	10.03	10.02	10.01
48	9.67	9.78	9.79

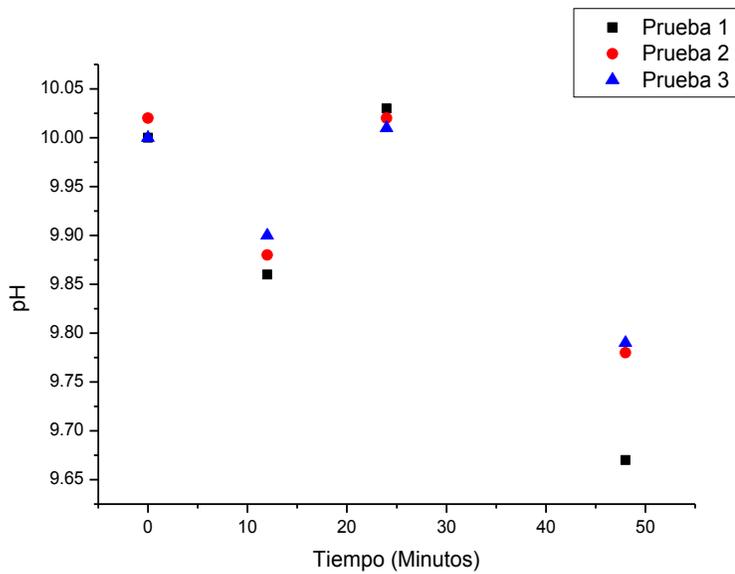


Fig. 57

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.70	14.78	14.70
12	14.74	14.80	14.81
24	14.90	14.92	14.93
48	14.99	15.00	14.98

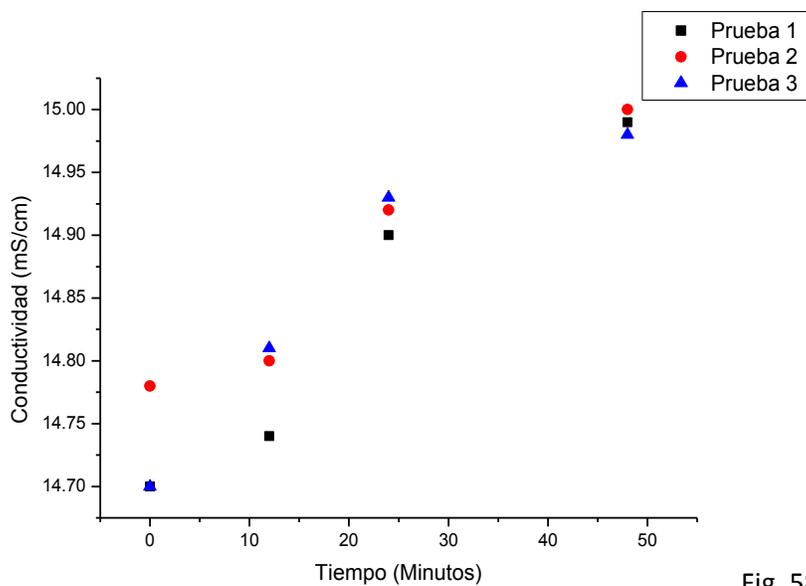


Fig. 58

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	24.40	24.40	24.40
12	24.30	24.30	24.20
24	23.00	22.90	22.70
48	22.20	22.50	22.50

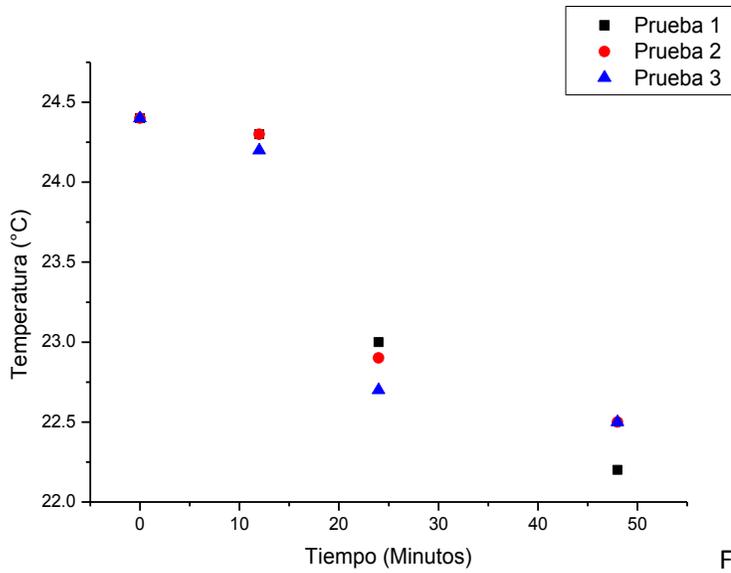


Fig. 59

D)CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.08	0.09	0.08
24	0.14	0.14	0.08
48	0.14	0.14	0.09

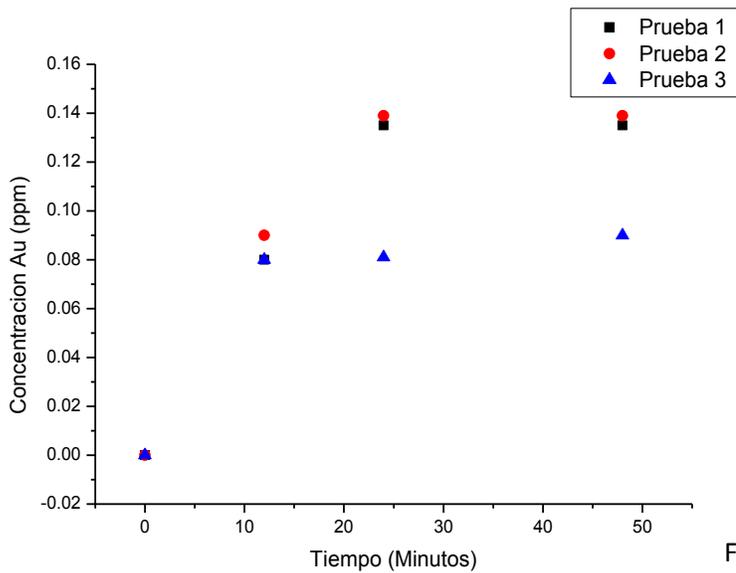


Fig. 60

E)CONCENTRACIÓN Cu

No se agrega cobre a la solución

F)CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.25	12.25	12.25
12	12.25	12.25	12.25
24	12.24	12.24	12.24
48	12.23	12.24	12.24

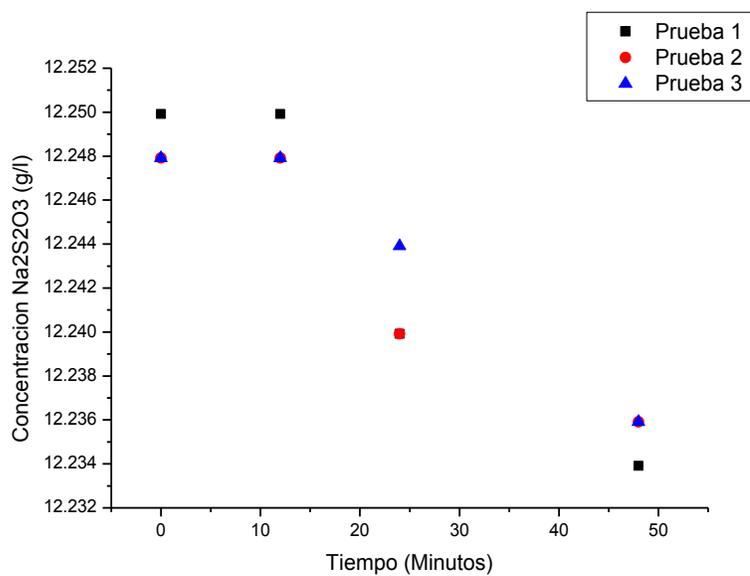


Fig. 61

TRATAMIENTO 12-A

A)pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.00	10.00	10.00
12	11.08	11.09	11.14
24	11.25	11.28	11.35
48	11.46	11.41	11.47

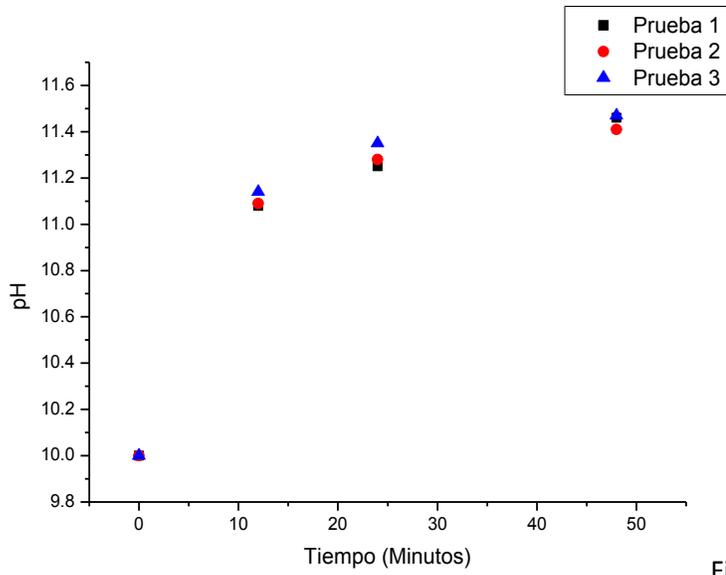


Fig. 62

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.46	14.46	14.46
12	14.75	14.81	14.82
24	14.79	14.83	14.81
48	14.68	14.70	14.67

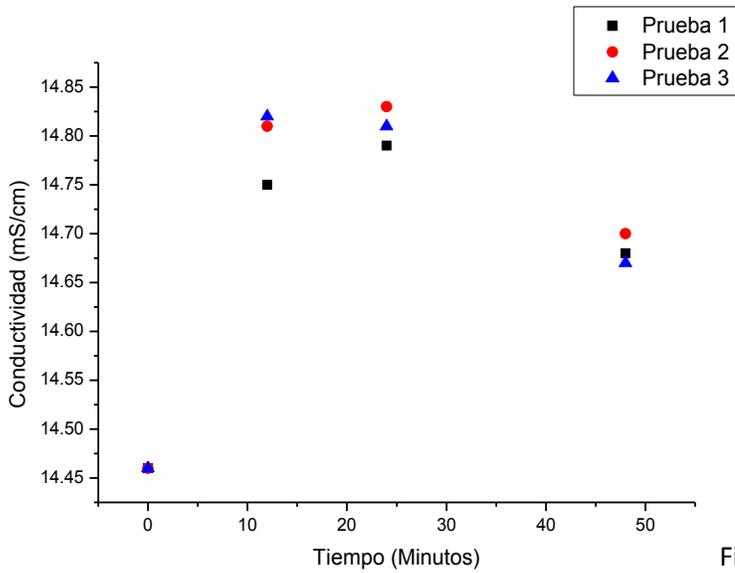


Fig. 63

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	25.40	25.40	25.40
12	25.40	25.70	25.30
24	25.70	26.20	25.90
48	26.00	26.00	26.00

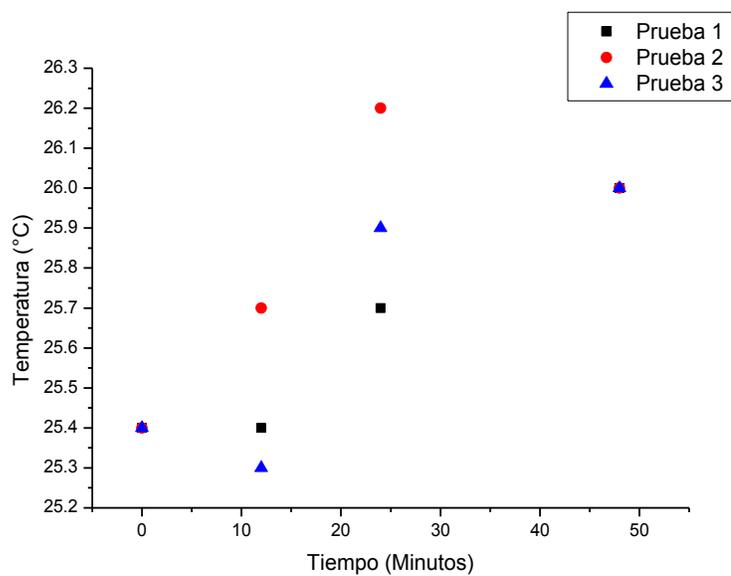


Fig. 64

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.10	0.13	0.11
24	0.14	0.13	0.12
48	0.14	0.15	0.16

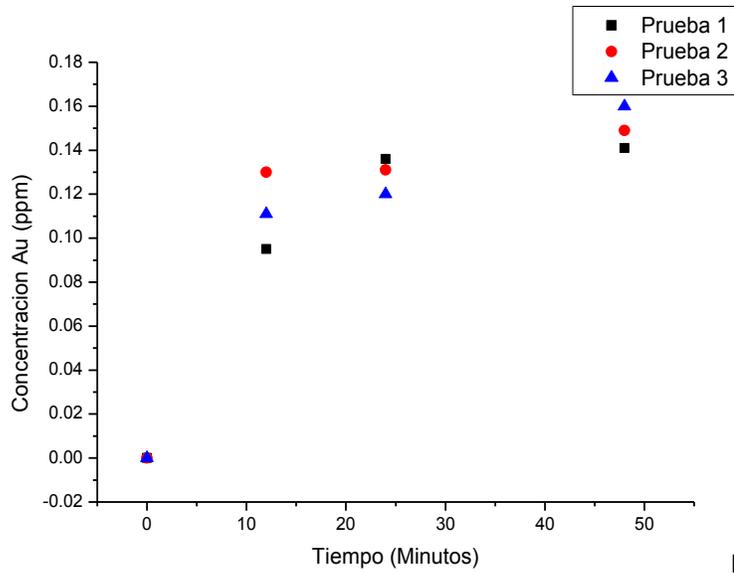


Fig. 65

E) CONCENTRACIÓN Cu

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	91.97	91.77	95.66
24	129.03	121.26	130.60
48	134.20	129.31	135.34

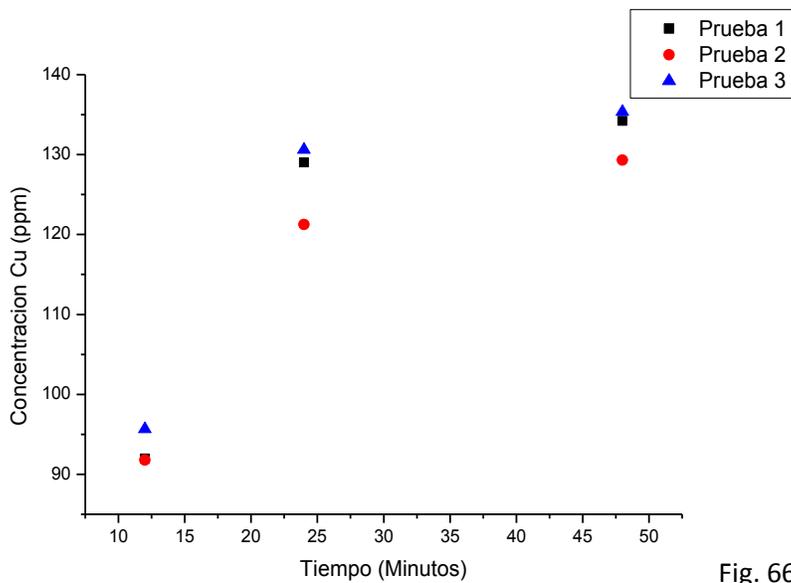


Fig. 66

F) CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.60	12.60	12.60
12	12.25	12.59	12.60
24	12.58	12.59	12.59
48	12.30	12.60	12.54

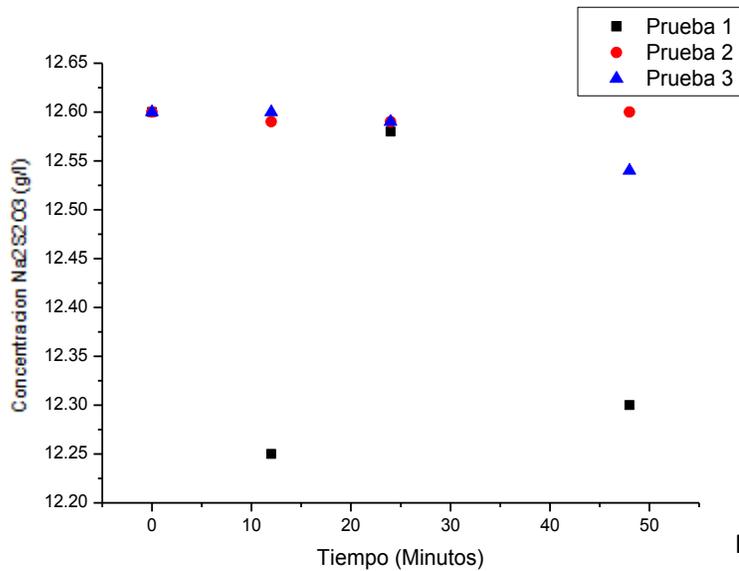


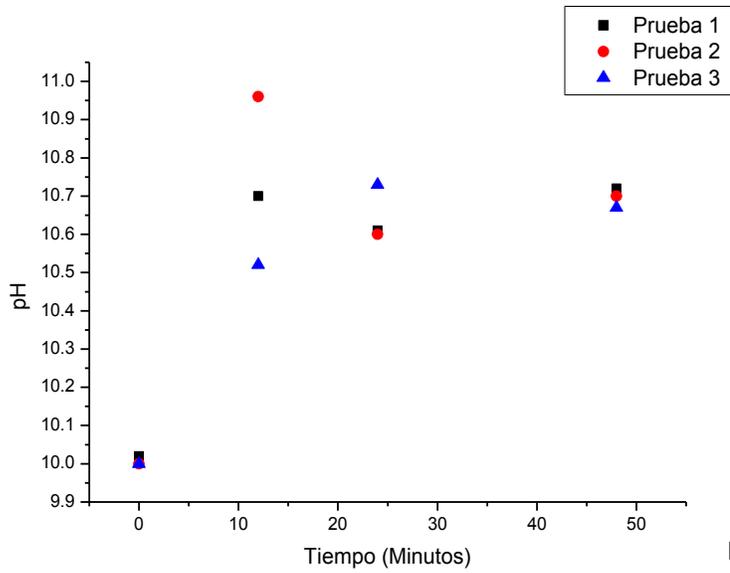
Fig. 67

TRATAMIENTO 12-B

Solución preparada con tiosulfato de sodio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de sodio. Temperatura ambiente. Se agrega oro y cobre cemento.

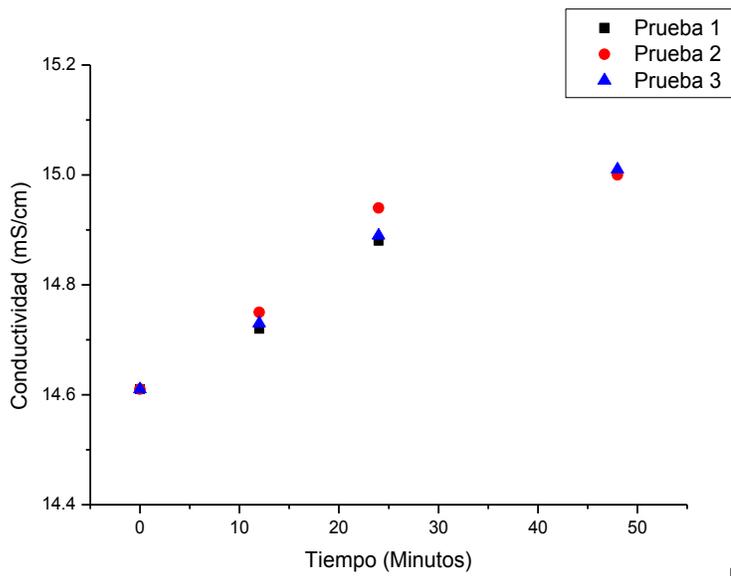
A) pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.02	10.00	10.00
12	10.70	10.96	10.52
24	10.61	10.60	10.73
48	10.72	10.70	10.67



B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.61	14.61	14.61
12	14.72	14.75	14.73
24	14.88	14.94	14.89
48	16.39	15.00	15.01



C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	25.00	24.80	26.00
12	24.80	24.80	25.20
24	24.30	24.70	24.50
48	24.30	24.80	24.20

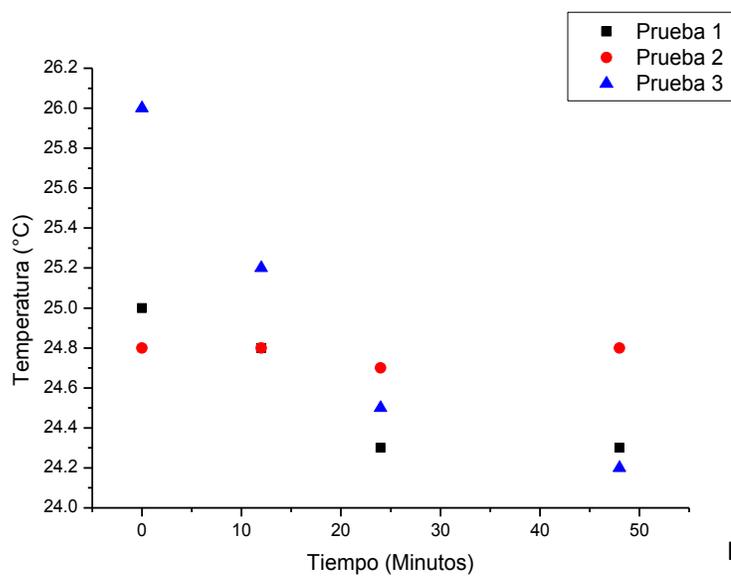


Fig. 70

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.04	0.03	0.02
24	0.05	0.04	0.06
48	0.05	0.06	0.07

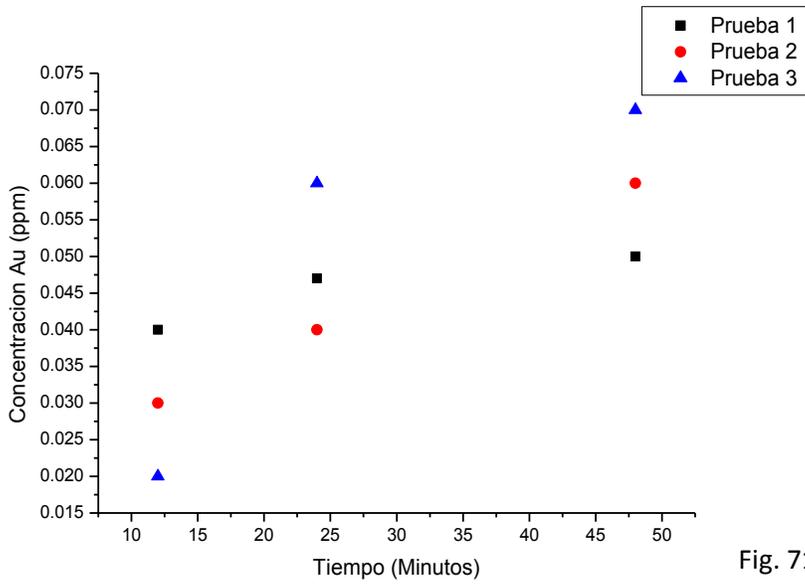


Fig. 71

E)CONCENTRACIÓN Cu

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	83.53	85.65	93.62
24	107.09	109.82	114.16
48	125.98	128.81	123.87

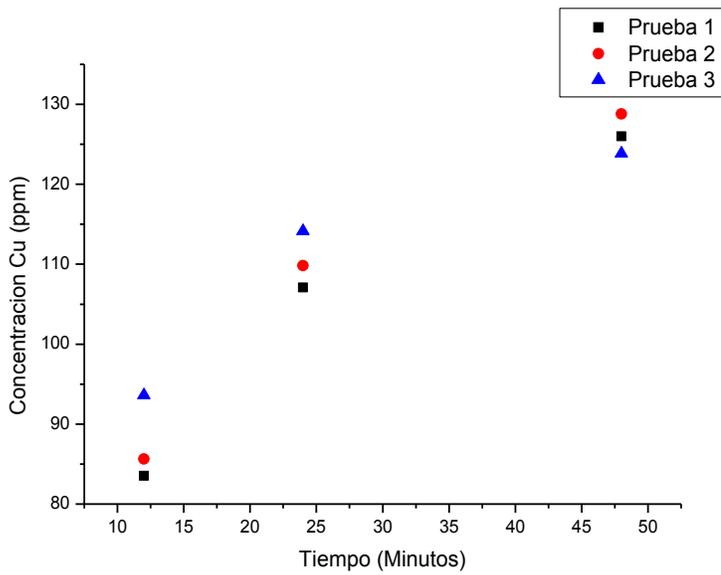


Fig. 72

F)CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.00	12.00	12.00
12	12.00	11.95	11.95
24	11.95	11.94	11.89
48	11.83	11.82	11.82

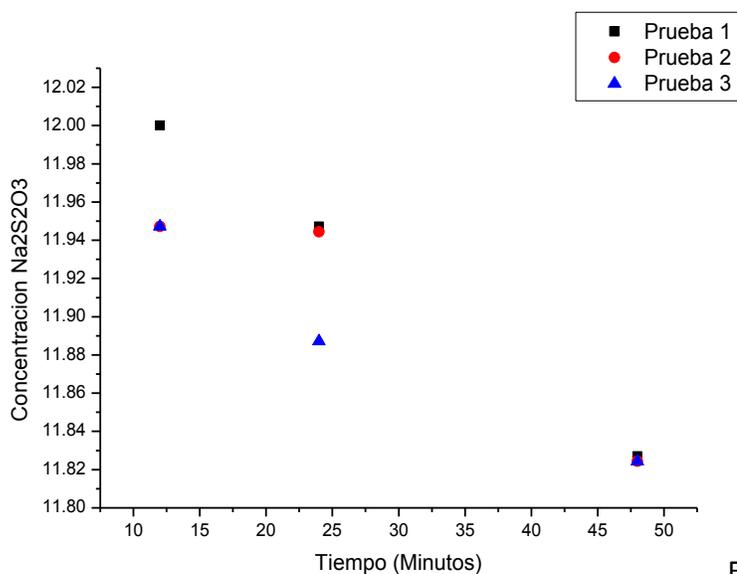


Fig. 73

TRATAMIENTO 12-C

Solución preparada con tiosulfato de sodio (12g/l) modificando el pH a 10 con hidróxido de sodio. Temperatura ambiente. Se agrega oro. Se tiene control sobre el pH.

A)pH

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.01	10.01	10.01
12	10.15	9.93	10.13
24	10.02	9.96	10.15
48	9.97	9.95	9.91

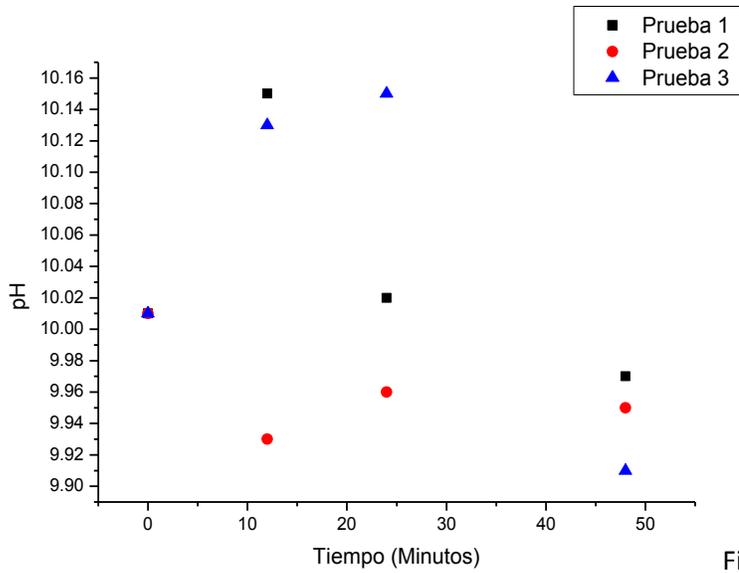


Fig. 74

B) CONDUCTIVIDAD

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.80	14.86	14.80
12	14.88	14.90	14.91
24	15.02	15.02	15.11
48	15.08	15.09	15.16

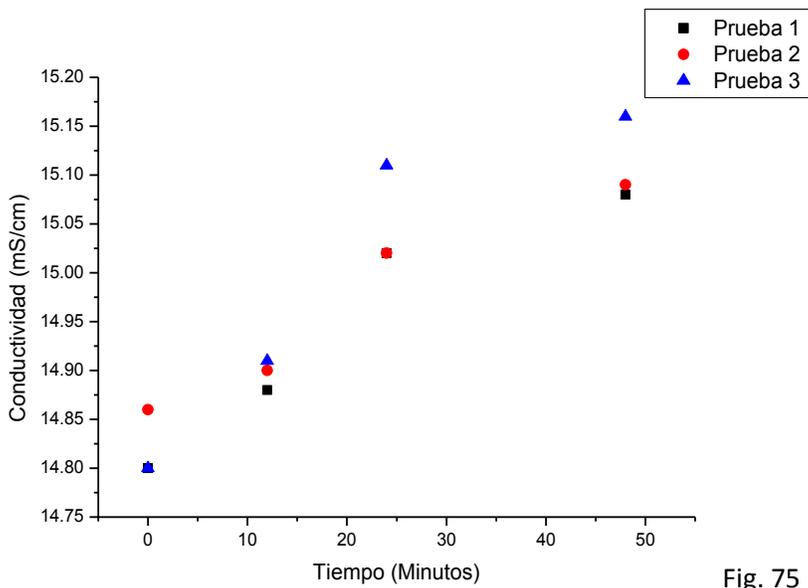


Fig. 75

C) TEMPERATURA

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	24.90	24.40	24.40
12	24.60	24.70	24.60
24	24.40	24.80	24.90
48	23.70	24.20	23.30

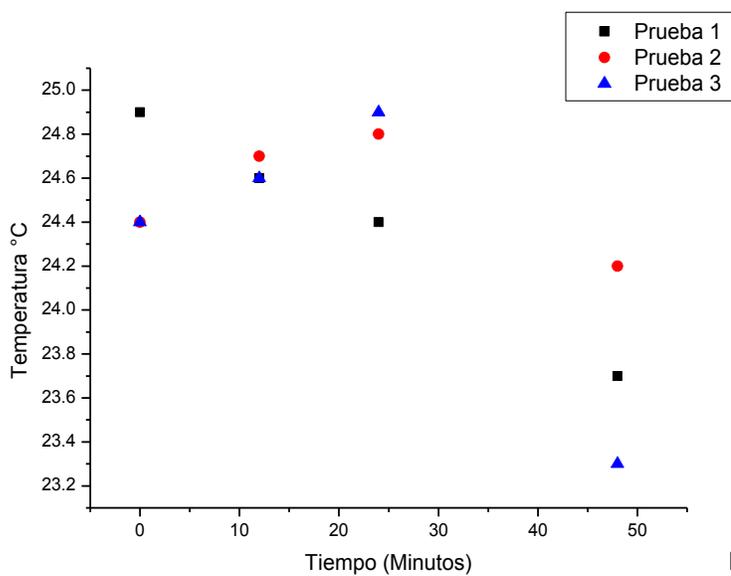


Fig. 76

D) CONCENTRACIÓN Au

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0.00	0.00	0.00
12	0.13	0.14	0.11
24	0.13	0.15	0.11
48	0.14	0.16	0.14

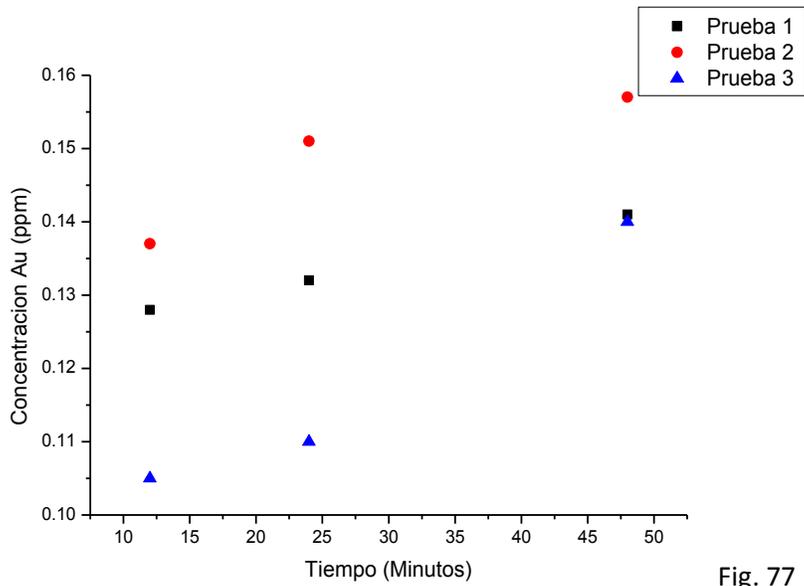


Fig. 77

E)CONCENTRACIÓN Cu

No se agrega cobre a la solución

F)CONCENTRACIÓN TIOSULFATO

Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	12.00	12.00	12.00
12	11.90	12.00	12.00
24	11.40	11.70	11.70
48	11.40	11.50	11.40

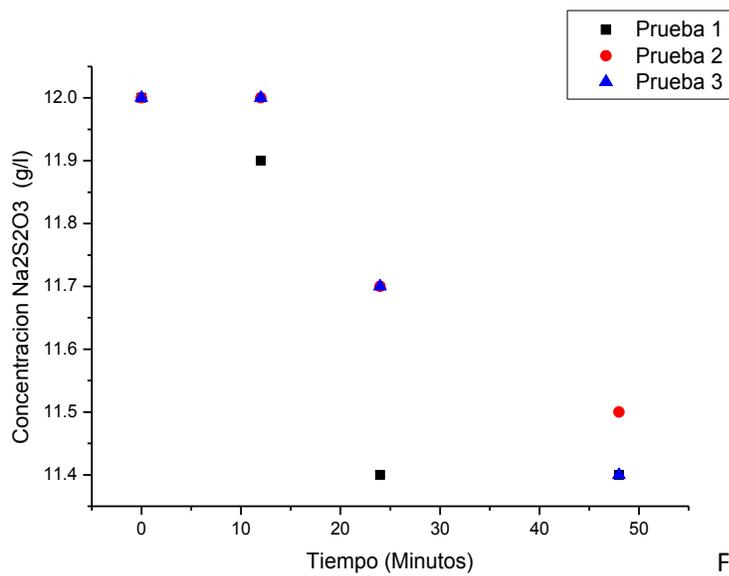
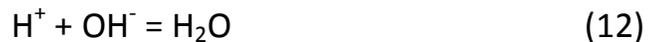
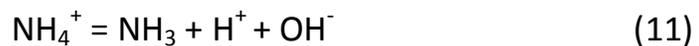


Fig. 78

Los resultados anteriores, mostraron que el cambio de pH no es notable en el tratamiento 10 (tiosulfato de amonio + hidróxido de amonio), esto se debe a que como el hidróxido de amonio es un electrolito débil, se disocia un poco para formar amoniaco, que escapa como gas, al escapar como gas, el amonio sigue disociando para mantener al sistema en equilibrio y al realizar esto el pH del sistema casi no cambia ya que se están generando OH^- que al unirse al hidrógeno forma agua (ec. 11 y 12) permaneciendo así en equilibrio.

$$K_{\text{disociación}} = \frac{[\text{NH}_3][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$



Al finalizar ésta fase se observa que en concentración los mejores resultados son en el tratamiento 12-A (tiosulfato de sodio + hidróxido de sodio + Cu + Au), y se decide trabajar con este tipo de tratamiento, infiriendo que la formación del complejo tetraminacobre II no es necesario y que solo se ocupe el cobre para oxidar al oro y que se realice la mayor disolución de éste. También se decide aumentar la cantidad de oro para así tener más superficie de contacto y lograr mayor disolución.

FASE IV

Tratamiento 14

Tiosulfato de sodio 12g/L, con previa disolución de cobre cemento (durante 48 minutos), 10 mg de oro, Temperatura ambiente. 300 rpm, 250 ml de solución.

A) Concentración de Au

Tiempo Minutos	Concentración de Au (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0	0	0
12	0.09	0.08	0.07
24	0.10	0.09	0.08
48	0.13	0.11	0.08

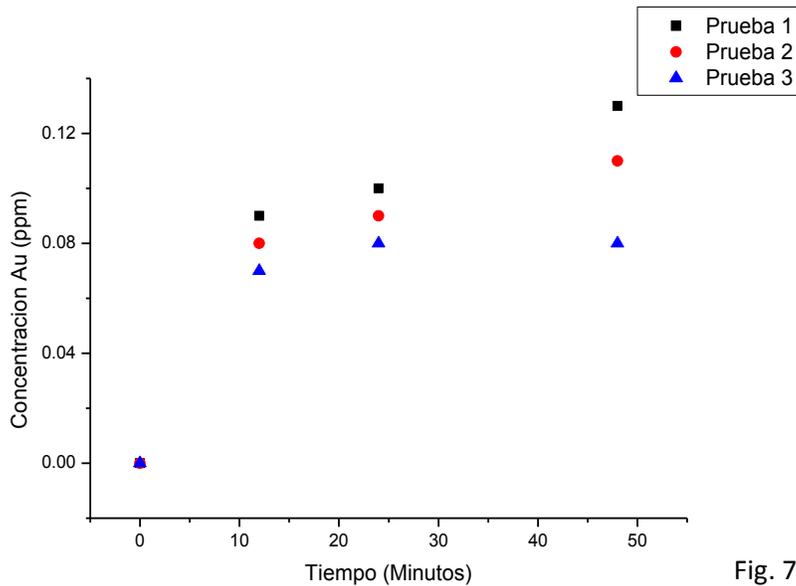


Fig. 79

B) Concentración Cu

Tiempo Minutos	Concentración de Cu (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0	0	0
12	133.52	134.87	138.34
24	139.99	132.05	131.69
48	133.38	138.15	137.54

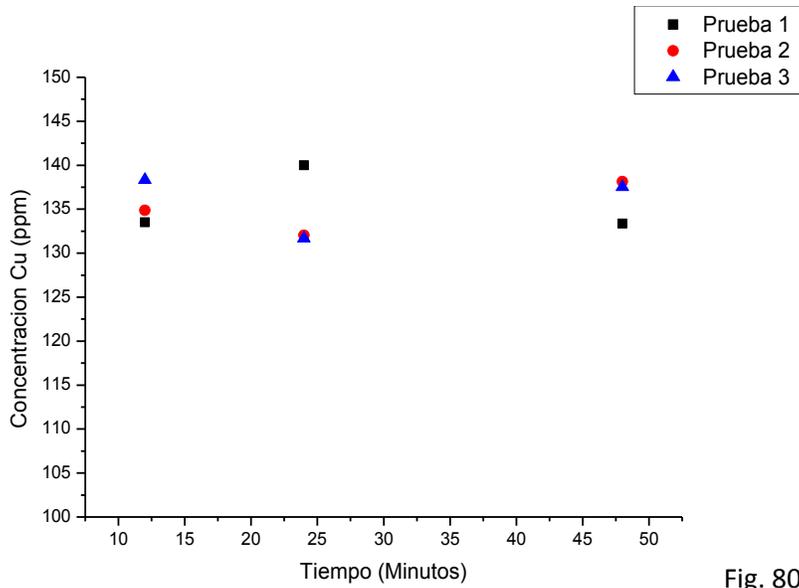


Fig. 80

C) Concentración Tiosulfato

Tiempo Minutos	Concentración de tiosulfato (g/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	13.03	13.03	13.03
12	12.31	12.61	12.31
24	12.00	12.07	12.13
48	13.03	13.03	12.91

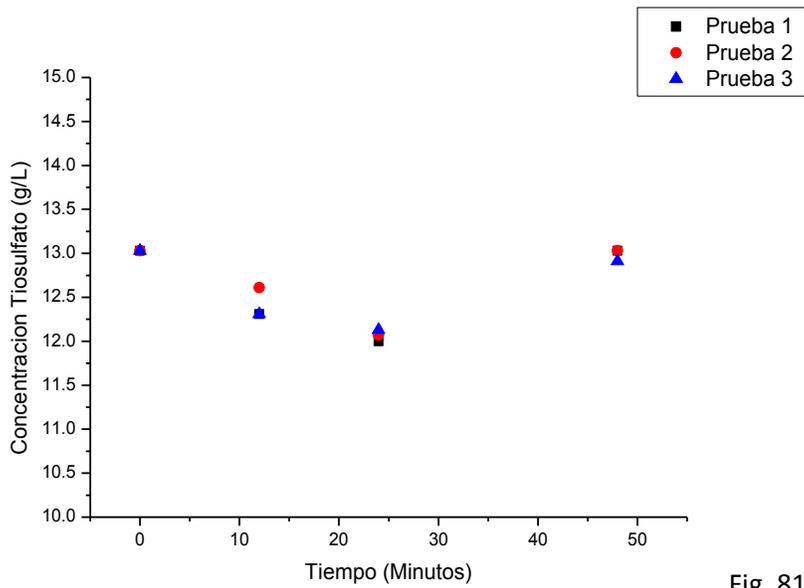


Fig. 81

D) Conductividad

Tiempo Minutos	Conductividad mS/cm		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.78	15.03	14.80
12	15.78	15.73	15.69
24	15.33	15.28	15.29
48	15.52	15.50	15.50

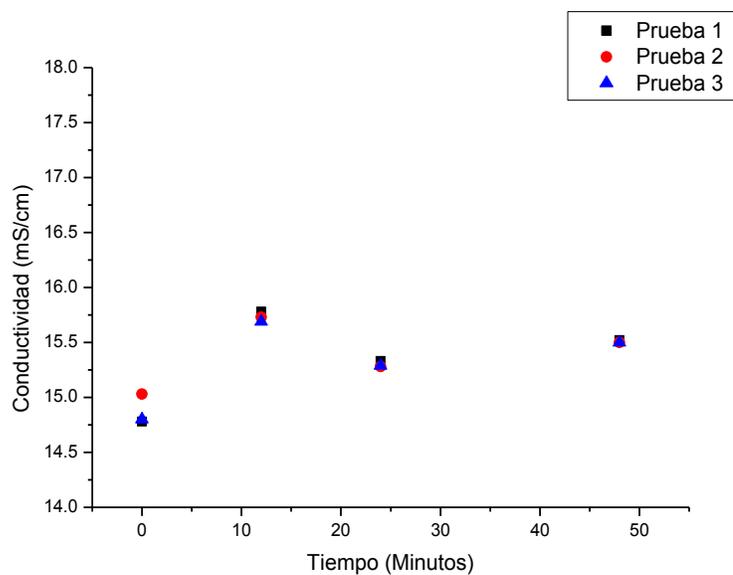
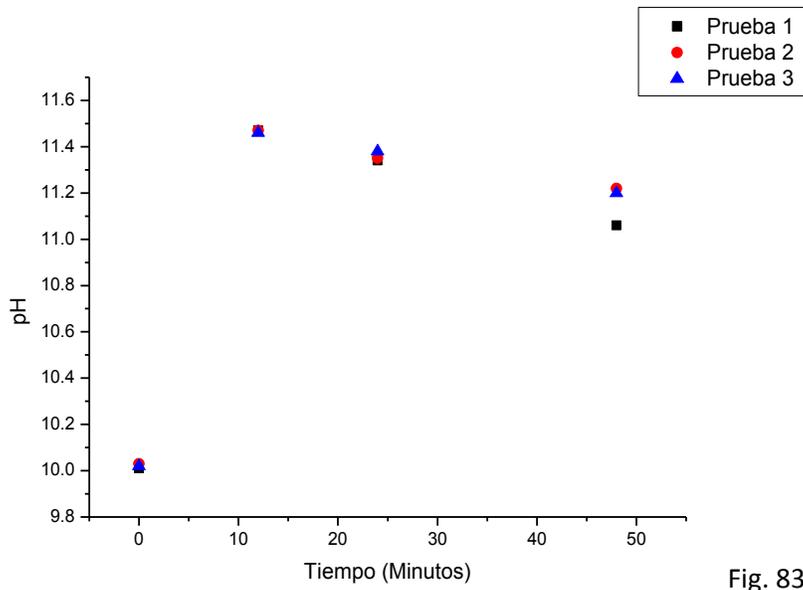


Fig. 82

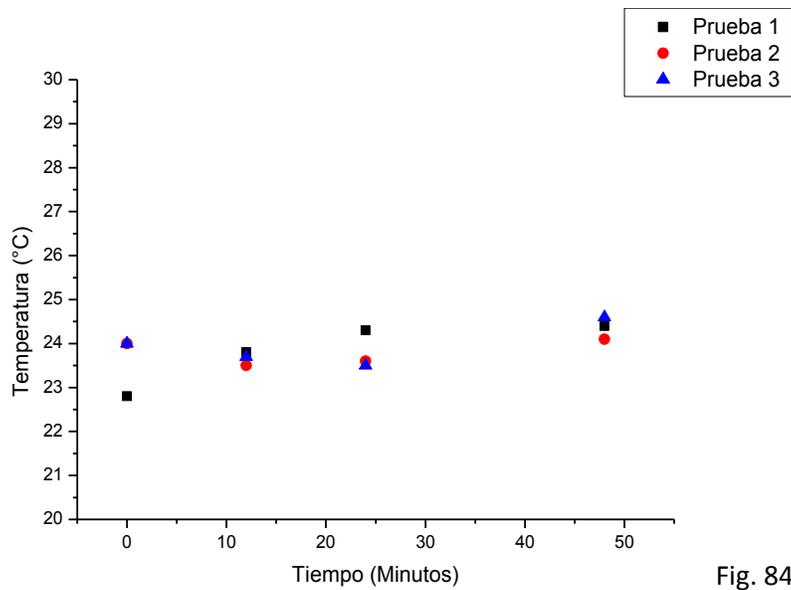
E) pH

Tiempo Minutos	pH		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.01	10.03	10.02
12	11.47	11.47	11.46
24	11.34	11.35	11.38
48	11.06	11.22	11.2



F) Temperatura

Tiempo Minutos	Temperatura		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	22.8	24	24
12	23.8	23.5	23.7
24	24.3	23.6	23.5
48	24.4	24.1	24.6



G) Recuperación Au

	% Recuperación de Oro		
Tiempo Minutos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0	0	0
12	0.22	0.20	0.18
24	0.24	0.24	0.19
48	0.33	0.27	0.20

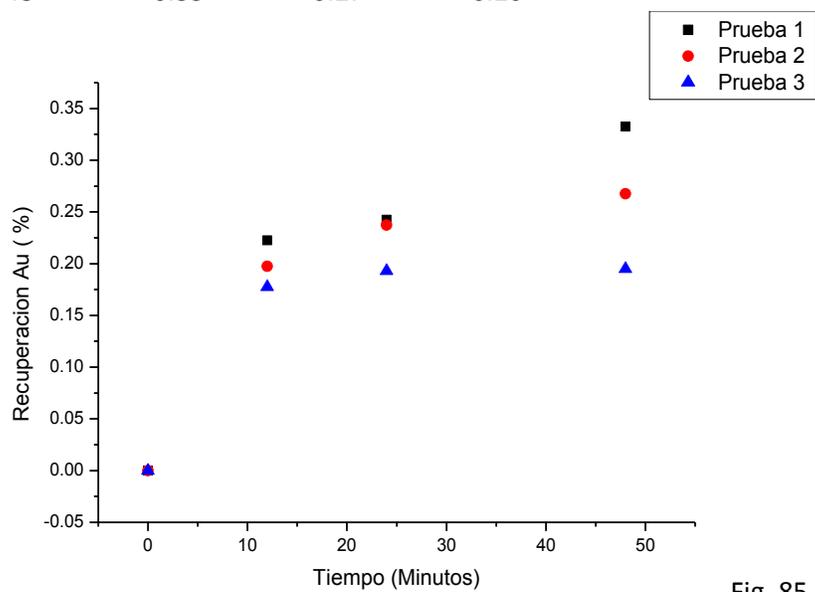


Fig. 85

Tratamiento 15

Tiosulfato de sodio 12g/L, con sulfato de cobre 0.35 g/L disuelto, 300 rpm, 10 mg de oro, temperatura ambiente.

A) Concentración de Au

Tiempo Minutos	Concentración de Au (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	0	0	0
12	0.16	0.22	0.19
24	0.17	0.22	0.20
48	0.36	0.36	0.40

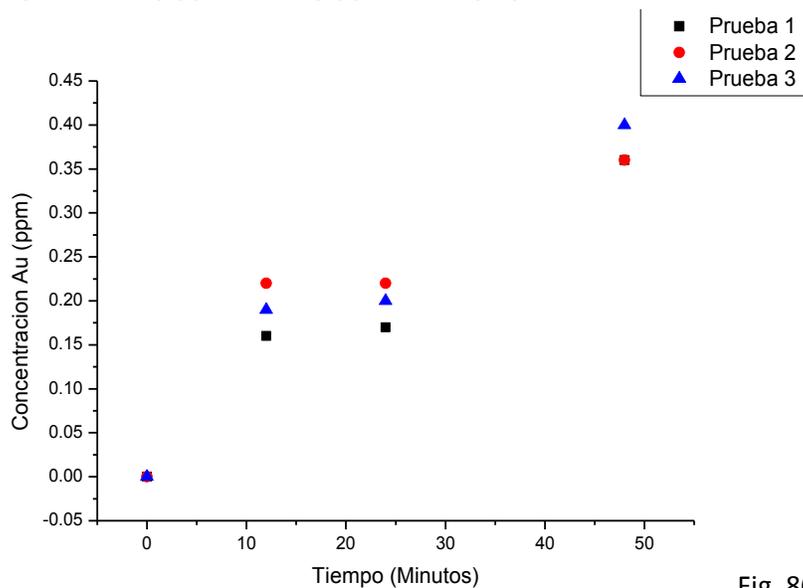


Fig. 86

B) Concentración Cu

Tiempo Minutos	Concentración de Cu (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0			
12	99.03	91.57	98.86
24	100.97	94.95	98.06
48	91.60	93.27	97.06

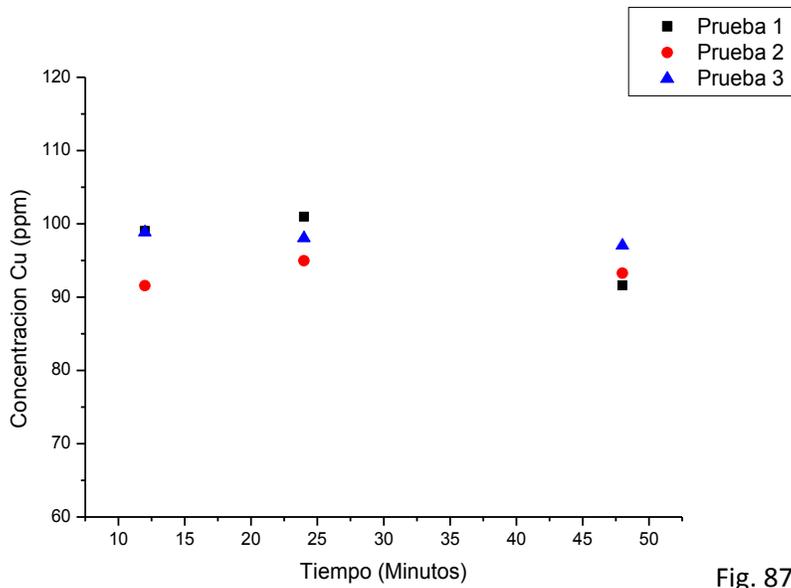


Fig. 87

C) Concentración Tiosulfato

Tiempo Minutos	Concentración de tiosulfato (g/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	11.60	11.60	11.60
12	11.59	11.59	11.59
24	11.23	11.10	11.41
48	11.11	11.05	11.29

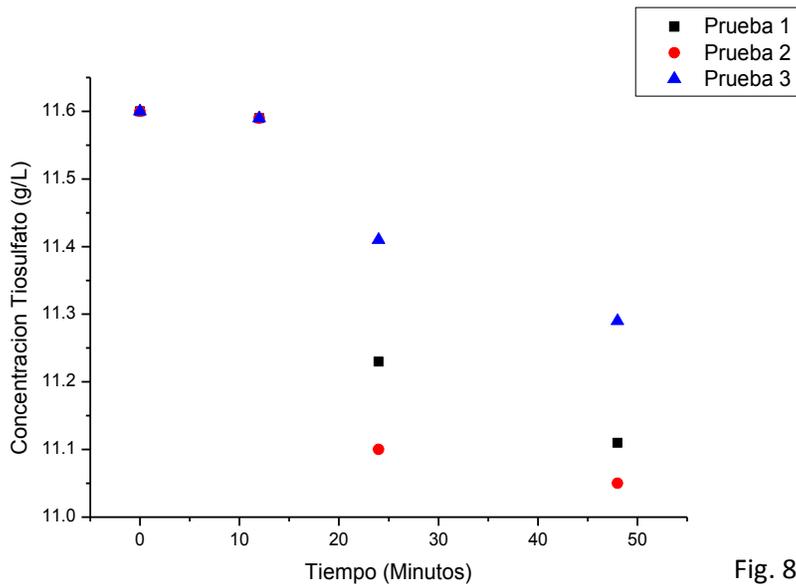


Fig. 88

D) Conductividad

Tiempo Minutos	Conductividad mS/cm		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	14.65	14.65	14.62
12	14.83	14.89	14.69
24	14.77	14.76	14.80
48	14.72	14.70	14.72

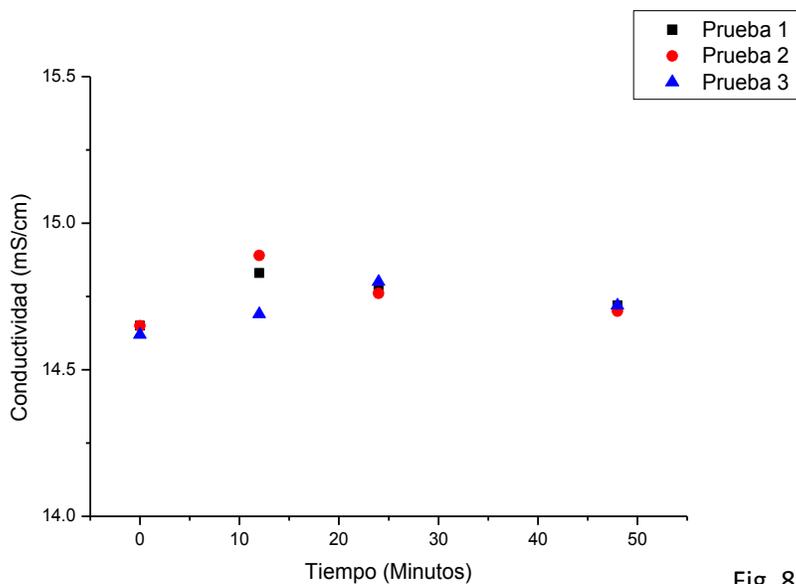
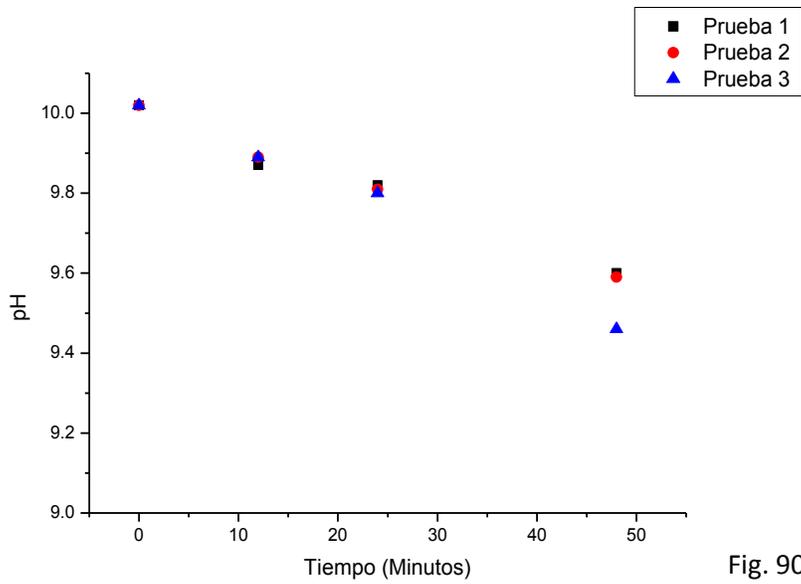


Fig. 89

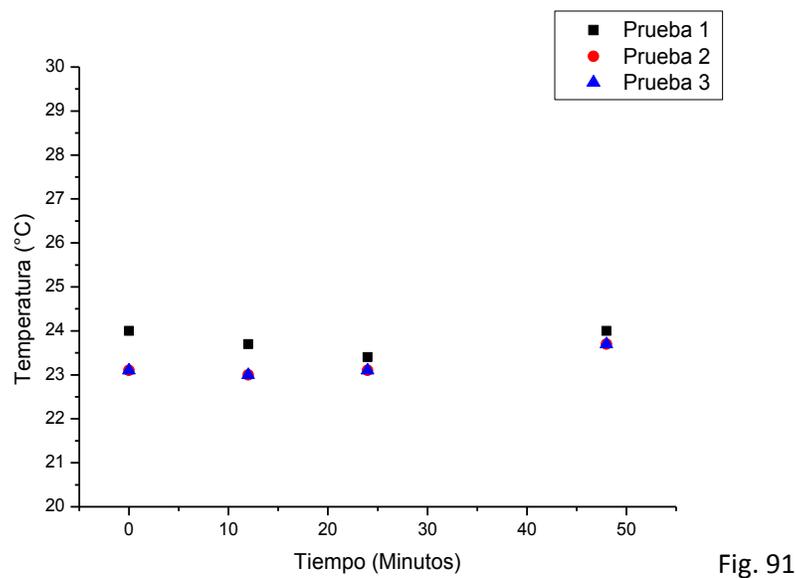
E) pH

Tiempo Minutos	pH		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	10.02	10.02	10.02
12	9.87	9.89	9.89
24	9.82	9.81	9.80
48	9.60	9.59	9.46



F) Temperatura

Tiempo Minutos	Temperatura		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	24	23.1	23.1
12	23.7	23	23
24	23.4	23.1	23.1
48	24	23.7	23.7



G) Recuperación Au

Tiempo Minutos	% Recuperación de Oro		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0			
12	0.39	0.53	0.47
24	0.40	0.51	0.49
48	0.87	0.89	0.99

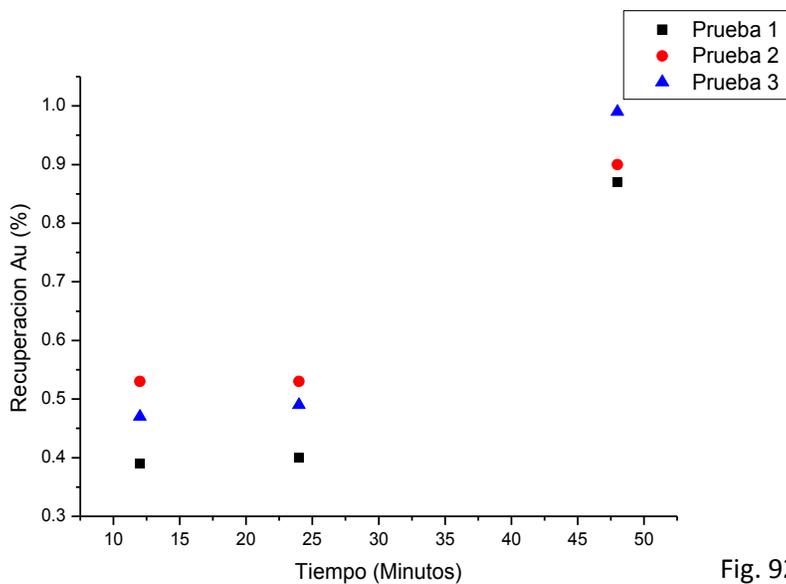


Fig. 92

Tratamiento 16

Tiosulfato de sodio 35g/L, con previa disolución de cobre cemento (durante 48 min), 300 rpm, 10 mg de oro, temperatura ambiente.

A) Concentración de Au

Tiempo Minutos	Concentración de Au (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0			
12	0.35	0.33	0.33
24	0.35	0.33	0.33
48	0.35	0.34	0.33

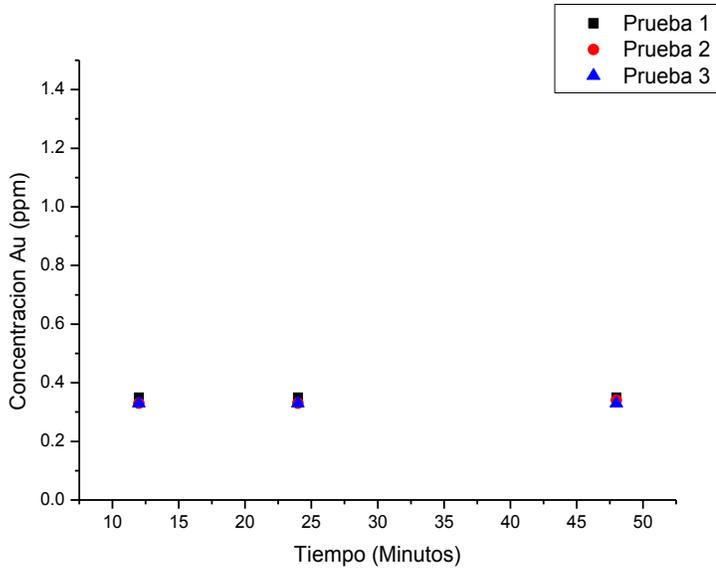


Fig. 93

B) Concentración Cu

Tiempo Minutos	Concentración de Cu (ppm)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0			
12	155.3	151.0	154.2
24	152.5	155.8	158.3
48	152.5	157.2	151.3

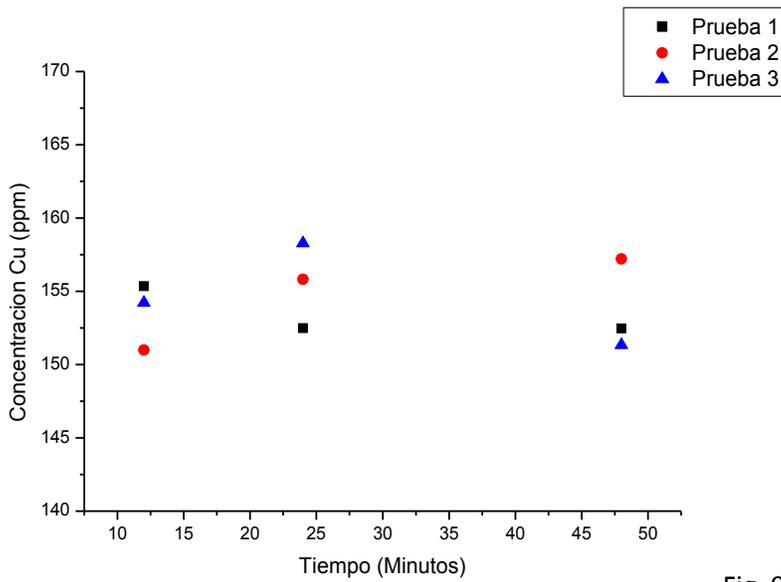


Fig. 94

C) Concentración Tiosulfato

Tiempo Minutos	Concentración de tiosulfato (g/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	35.43	35.43	35.43
12	35.43	35.12	35.42
24	34.53	34.52	33.92
48	31.51	30.93	31.51

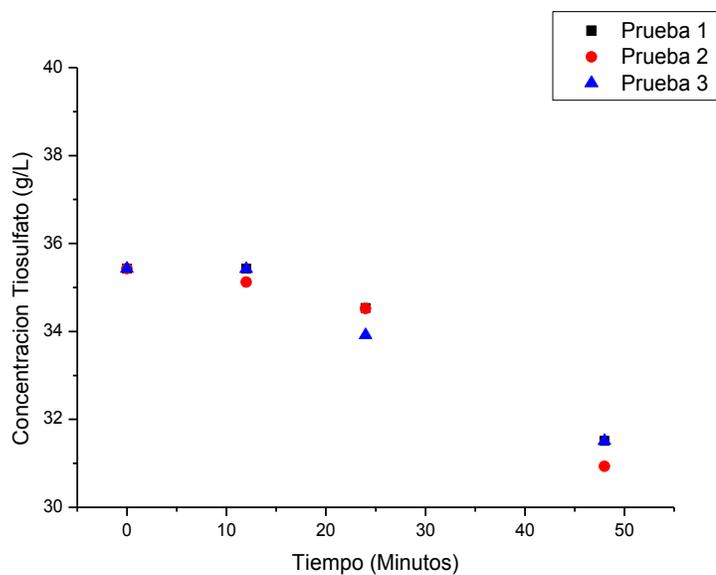


Fig. 95

D) Conductividad

Tiempo Minutos	Conductividad mS/cm		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	33.20	33.20	30.00
12	32.80	32.90	32.90
24	33.10	32.90	33.00
48	32.70	33.20	32.90

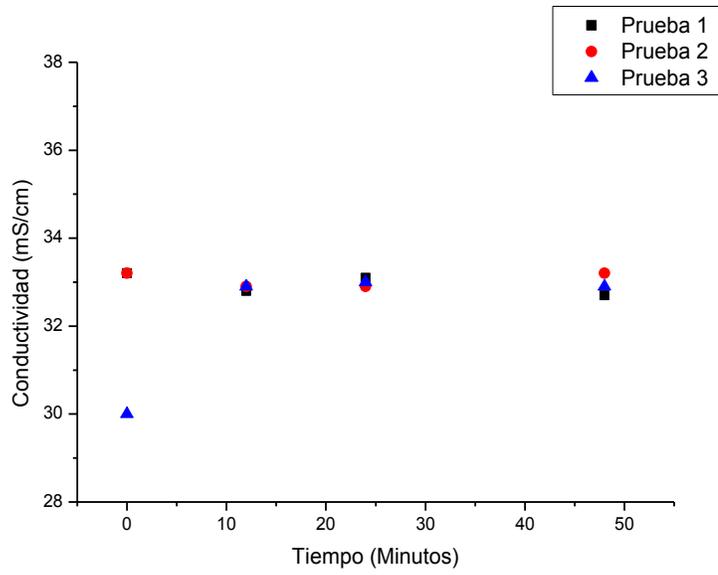


Fig. 96

E) pH

Tiempo Minutos	pH		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	9.99	10.00	10.00
12	11.48	11.46	11.43
24	11.38	11.41	11.42
48	11.53	11.54	11.54

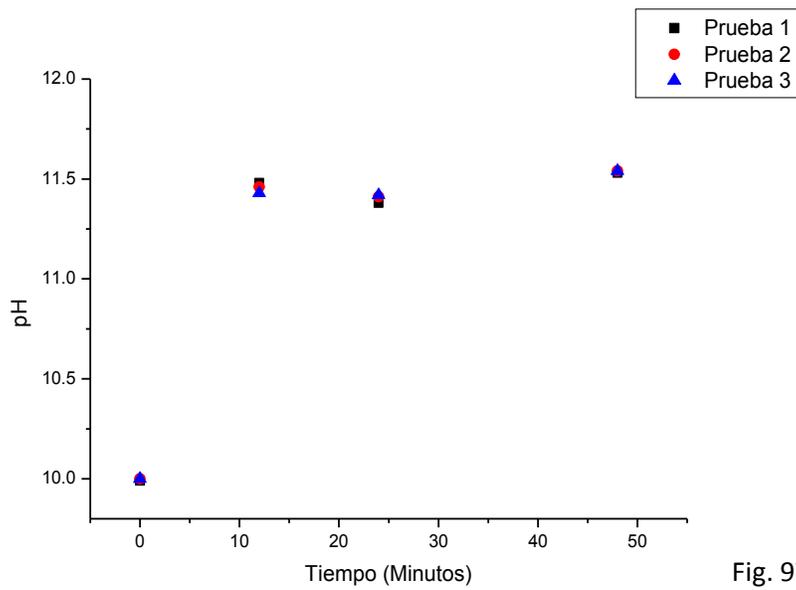


Fig. 97

F) Temperatura

Tiempo Minutos	Temperatura		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	25	25	25
12	24.8	24.9	25.0
24	26.1	25.7	25.7
48	24.3	24.1	24.2

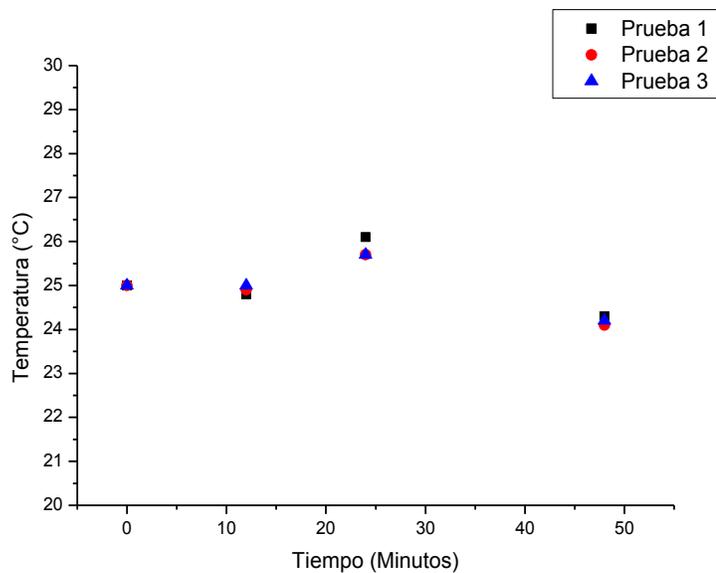


Fig. 98

G) Recuperación Au

Tiempo Minutos	% Recuperación de Oro		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0			
12	0.87	0.82	0.82
24	0.87	0.83	0.83
48	0.84	0.87	0.82

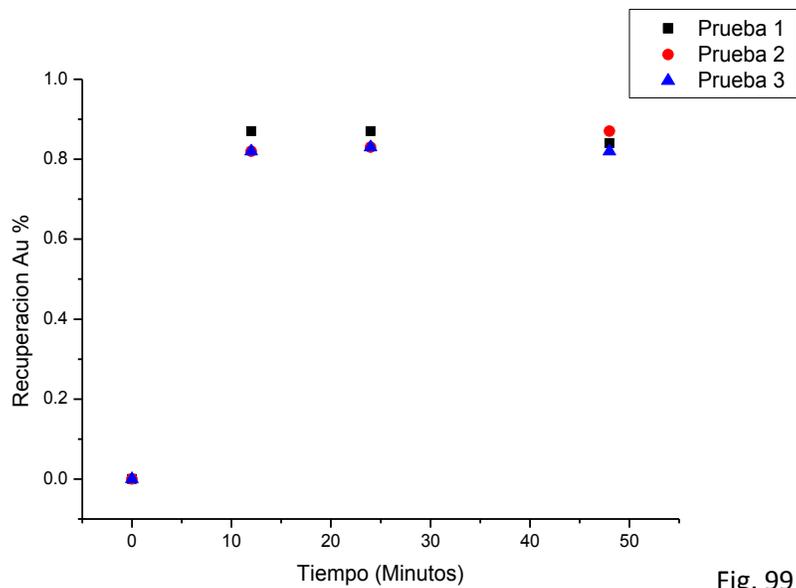


Fig. 99

Verificando los resultados obtenidos en esta fase, es posible observar, que aunque si se aumenta la disolución de oro, existe poca recuperación de este, por lo que es posible que el complejo tetraminocobre II si necesita formarse para aumentar la recuperación de oro en el menor tiempo posible.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- a) El hidróxido de amonio equilibra el sistema, evitando cambios sensibles en el pH, condición que hace difícil estudiar la evolución del pH.
- b) El hidróxido de sodio es un electrolito fuerte que se disocia completamente cambiando puntualmente el pH y evitando confusiones con cambios de pH producidos por otros procesos como la oxidación de cobre.
- c) La relación de OH^- / Cu es grande ya que el OH^- oxida al cobre y se produce agua, esto hace que disminuya el pH de la solución.
- d) Al utilizar el sulfato de cobre se está agregando cobre que ya está oxidado, dando lugar a otro tipo de reacciones que interfieren disminuyendo el pH.
- e) La formación del complejo tetraminocobre II si es necesario como catalizador de la reacción para obtener mayor recuperación de oro en menor tiempo posible.

5.2 Recomendaciones.

- a) Ampliar la experimentación con tiosulfato de amonio para formar el complejo tetraminocobre II, utilizando hidróxido de sodio para la modificación del pH ya que éste es un electrolito fuerte que se ioniza completamente dando el cambio de pH puntual, y así evitar las fluctuaciones del pH en el proceso, debido a que el hidróxido de

amonio es una base débil y por tanto se ioniza lentamente equilibrando el sistema cambiando constantemente el pH. Además, la disolución de cobre para oxidarlo y obtener la cantidad necesaria para la formación del complejo tetraminocobre II, antes de empezar la reacción con oro.

- b)** Es necesario continuar con esta investigación, se han realizado compromisos con los asesores para concluir esta investigación antes de concluir el 2015 con una publicación en una revista arbitrada en inglés.

Bibliografía

- Abbruzzese, C., Fomari, P., Massidda, R., Vegliò, F., & Ubaldini, S. (1995). Thiosulphate leaching for gold hydrometallurgy. *Hidrometallurgy*, 265-276.
- Araux Sánchez, E., & Vega Granillo, R. (2011). *Mineralogía*. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- Byerley, J., Fouda, S., & Rempel, G. (1973). Kinetics and mechanism of the oxidation of thiosulfate ions by copper (II) ions in aqueous ammonium solution. *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*, 879-883.
- Calvo. (Vol 83). Cementación de las Soluciones del Ion Tetra brommercuriato. . *Anales de Química.*, 390-393.
- Chen, J., Deng, T., Zhu, G., & Zhao, J. (1996). *Lixiviación y recuperación de oro de sistemas basados en Tiosulfato*. Trans. Indian Inst. Met.
- D., P. N., A. Villarroel, P., & F. Alguacil, P. (2001). Lixiviación de oro con tiosulfato de amonio catalizado con ion cuprico desde un concentrado polimetálico. *Jornadas SAM-CONAMET-AAS 2001*, 17-24.
- Deng, T., Ke, J., & Chen, J. (1984). Cinética de descomposición de azufre elemental en soluciones acuosas. *Journal of Chemical Industry Engineering*, 328-334.
- Deutsch, J. L. (2012). *Aspectos Fundamentales en la Lixiviación con Tiosulfato de Sulfuros de Plata*. Vancouver: Universidad de British Columbia.
- Dhawale, S. (1993). Tiosulfato, un interesante oxo anión de azufre que es utilizado en la industria y en la medicina pero implica corrosión. *Journal of Chemical Education*, 12-14.
- Dorr, J. V., & Bosqui, F. L. (1950). *Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Habashi, F. (1999). *Textbook of Hydrometallurgy*. Quebec, Canadá: Metallurgie Extractive Québec.

- Kerley, B. J. (1981). *Patente nº 4,269,622*. Estados Unidos.
- Kerley, B. J. (1983). *Patente nº 4,369,061*. Estados Unidos.
- Marsden John O. (2006). *La Química de la extracción del oro*. Estados Unidos: Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración, inc.
- O'Malley, G. P. (2002). Recovery of gold from thiosulfate solutions and pulp with anion-exchange resins. 284. Murdoch, Western Australia.
- Organization, U. N. (1991). <http://www.unido.org>. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/cleaner-production.html>
- Ornelas Tabares, J. (1985). Desarrollo en el proceso de cementación para Cu y Zn. *III Encuentro sobre concentración de minerales. Instituto de Metalurgia, Universidad de San Luis de Potosí*, 1-11.
- Pérez, A., & Galaviz, H. (1987). *Patente nº Método para la recuperación de metales preciosos de menas difíciles con Tiosulfato-cobre-amonio*. Estados Unidos.
- Puente, L. (2002). Precipitación Química y Adsorción en el tratamiento de efluentes conteniendo metales disueltos. Vol. 5 No.09.
- Puentes Siller, D., Fuentes Aceituno, J., & Nava Alonso, F. (2013). Un estudio cinético-termodinámico de la lixiviación de plata en soluciones de tiosulfato-cobre-amonio-EDTA. *Hidrometallurgy*, 134-135.
- Rong-Yu, W., & Marc LeVier, K. (2003). Factores de química de solución para la lixiviación de oro en pilas. *Int. J. Miner. Process*, 311-322.
- Senanayake, G. (2004). Gold leaching in non-cyanide lixiviant systems: critical issues on fundamentals and applications. En *Minerals Engineering* (págs. 785-801).
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2001). Espectroquímica. En D. A. Skoog, *Química Analítica* (págs. 592-650). México: Mc Graw Hill.

Skoog, D., Wet, D., & Holler, F. (1996). *Fundamentos de Química Analítica*. Estados Unidos: Saunder College Publishers.

Unidas, O. d. (8-19 de Junio de 1987). *Naciones Unidas*. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>

Wang, R. (1997). Importancia de la química de soluciones de tiosulfato para la lixiviación de oro. *World Gold'97 Conference, Singapore*, 159-172.

Ximing, Z. (2008). *The dissolution of gold colloids in aqueous thiosulfate solutions*. Perth Western Australia: Muldroch University.