



553.42
ej147
C-2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en
Ciencias de la Tierra**



"CONTROL QUÍMICO DE SOLUCIONES CIANURADAS"

PROYECTO DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de
INGENIERO EN GEOLOGIA

Presentado por:

Marco Antonio Galarza Toro



Guayaquil

-

Ecuador

1991

AGRADECIMIENTO



Mi agradecimiento sincero al personal de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, en especial al Ing. Huqo Equez Alava, director del Proyecto de grado, quien me brindo todas las facilidades de trabajo.

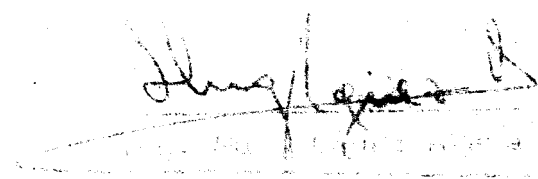
A mis amigos y compañeros de estudio.

Al CICYT por otorgarme el apoyo económico necesario para el desarrollo del proyecto.

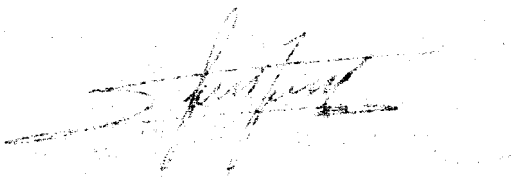
DEDICATORIA

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'José María', written over a horizontal line.

111

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'José María', written over a horizontal line.

111

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'José María', written over a horizontal line.

111

A MI PADRE

A MI 5 HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS



[Handwritten signature of Miguel A. Chávez]

Ing. Miguel A. Chávez
Presidente del tribunal

[Handwritten signature of Hugo Eguéz Alava]

Ing. Hugo Eguéz Alava
Director de Tesis

[Handwritten signature of Francisco Torres]

Ing. Francisco Torres
Miembro del Tribunal

Marcos Antonio Galarza

DECLARACION EXPRESA



"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en éste proyecto, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Marco Antonio Galarza Toro

RESUMEN

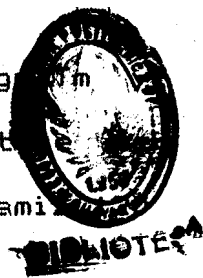
La cianuración es un proceso hidrometalúrgico utilizado principalmente en la recuperación de metales preciosos, se lo emplea desde 1890 con excelentes resultados, debido a que se aprovecha la eficiencia del cianuro en la disolución de las metales preciosos, cuando se trabaja con soluciones alcalinas.

Este trabajo tuvo tres pruebas de cianuración por agitación, el material utilizado para las pruebas provino de las colas de molino de Fonce Enriquez (prov. del Azuay).

Las colas tienen un tenor de oro promedio de 64 g/m² y 60 gr/Tm de plata. El oro en su mayor porcentaje encuentra dentro de la fracción retenida en el tamiz 20 mesh.

Los parámetros analizados fueron: concentración de cianuro y de cal, densidad de pulpa y tiempo de cianuración.

Las tres pruebas se las realizó para determinar la concentración óptima de cianuro para saber donde se encuentra la mayor recuperación.



VII

En las treinta y dos horas de cianuración, la máxima recuperación fue del 96 %, y se la obtuvo cuando se trabajo con las colas de molino, con densidad de pulpa del 40 % y con soluciones de cianuro del 0.1 %.

INTRODUCCION	VIII
ENCUENTRO DEL CIBRE	XII
MATERIALES Y EQUIPO	XIII
METODOS	XIV
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	16
CONCLUSIONES	18
CAPITULO I	
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CIBRACIÓN	
1.1. Fundamentos de la cianuración	20
1.2. Efectos de la cianuración en los metales pesados	20
1.3. Factores que afectan a la cianuración	21
1.3.1. Velocidad de cianuración	23
1.3.2. Temperatura	24
1.3.3. Salinidad	24
1.3.4. Velocidad de agitación	25
1.3.5. Densidad de pulpa	26
1.3.6. Densidad de solución	26
1.3.7. Densidad de pulpa	27
1.3.8. Tiempo de cianuración	27
1.3.9. Metalurgia de cianuro	27

INDICE GENERAL

	PAGS.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS	XIII
ABREVIATURAS	XIV
INTRODUCCION	16
GENERALIDADES	18
CAPITULO 1	
ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CIANURACION	
1.1. Fundamentos de la cianuración	20
1.2. Disolución de metales preciosos	20
1.3. Parámetros de control en el proceso de cianuración	22
1.3.1. Concentración de cianuro	22
1.3.2. Velocidad de disolución	23
1.3.3. Temperatura	24
1.3.4. Aireación	24
1.3.5. Alcalinidad	25
1.3.6. Granulometría	26
1.3.7. Densidad de pulpa	27
1.3.8. Tiempo de cianuración	27
1.4. Metales problemas en la cianuración	27

CAPITULO II

CONTROL QUIMICO DE LAS SOLUCIONES

2.1. Introducción a los métodos volumétricos	30
2.2. Terminología relacionada con los métodos volumétricos	30
2.3. Tipos de patrones	31
2.3.1. Patrones primarios	31
2.3.2. Patrones secundarios	32
2.4. Soluciones patrones	32
2.5. Los Indicadores de calar	32
2.6. La Titulación	33
2.6.1. Método de titulación para soluciones cianuradas	34
2.6.2. Método colorimétrico (Espectroquant) para soluciones cianuradas	35
2.7. Análisis colorimétrico en soluciones cianuradas	36
2.7.1. Análisis colorimétrico cualitativo para Oro	37
2.7.2. Análisis colorimétrico cualitativo para Plata	38
2.7.3. Análisis colorimétrico para Oro (uso del Espectroquant)	38

CAPITULO III

REACCIONES QUIMICAS EN EL PROCESO DE CIANURACION

3.1. Teoría de la corrosión. Boonstra (1943)	41
3.2. Evidencia cinética. Habashi (1966-1967)	42

3.3. Sulfuros solubles en soluciones cianuradas. . . .	43
3.4. Reacciones en las cajas de Zinc	46
3.5. Perdidas de cianuro	47
3.5.1. Par disolución de metales preciosos ...	47
3.5.2. Perdidas en la precipitación por Zinc ..	43
3.5.3. Pérdidas par descomposición	47
3.5.4. Perdidas debido a metales básicos	40
3.5.5. Pérdidas debido a la formación de ferro- cianuro	48
3.5.6. Perdidas par la formación de sulfociana- tos	48
3.5.7. Pérdidas mecánicas	49

CAPITULO IV

EXPEHIMENTACION

4.1. Metodología de trabajo para ensayos al fuego ..	50
4.2. Pruebas previas a la cianuración	51
4.2.1. Preparación de la solución de NO_3Ag	51
4.2.2. Preparación de la solución de ácido oxálico	52
4.2.3. Determinación de la pureza del NaCN ...	53
4.2.4. Determinación de la pureza de la Cal ...	55
4.3. Cianuración por Agitación	58
4.3.1. Variable: cianuro 0.03 % NaCN	58
4.3.2. Variable: cianuro 0.05 % NaCN	60
4.3.3. Variable: cianuro 0.1 % NaCN	63

4.4. Determinación del *tenor* de Oro de soluciones.

Método de Chiddey (Precipitación con Pb y Zn)... 66

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69

ANEXOS 72

ANEXO A: Consideraciones importantes en usos y polu-
ción ambiental de los reactivos usados en
la concentración de minerales de oro y pla-
ta 74

ANEXO B: Tablas 76

BIBLIOGRAFIA 84

INDICE DE FIGURAS

Nº	PAGS.
CAPITULO IV	
1. Gráfica de consumo de cianuro y cal (1)	59
2. Gráfica de consumo de cianuro' y cal (2)	62
3. Gráfica de consumo de cianuro y cal (3)	65
	79
	80
	81
	82
	83
	84
	85



INDICE DE TABLAS

Nº		PAGS.
I	Indicadores visuales de color	33
II	Colorimetría para cianuro	36
III	Variable: cianuro 0.03 %	77
IV	Variable: cianuro 0.05 %	78
V	Variable: cianuro 0.1 %	79
VI	Consumos de cianuro y cal (1)	80
VI 1	Consumos de cianuro y cal (2)	81
VIII	Consumos de cianuro y cal (3)	82
IX	Recuperación de Oro y Plata de Soluciones, y Cola5	83

INDICE DE ABREVIATURAS

Ag . . .	plata
Au	oro
A(CN) _x	cianuros simples
AyM(CN) _x	cianuros compuestos
CaO	óxido de calcio
c.c.c.	centímetro cúbico
Cu	cobre
cian1	cianuración 1
cian2	cianuración 2
cian3	cianuración 3
CN-1A	cloruro cianogeno
CN-2A	ácido 1.3 dimetilbarbitúrico
CN-3A	piridina
°C	grados centígrados
CO ₃ Na ₂	carbonato de sodio
CN-	ión cianuro
CO ₂	dióxido de carbono
CO	monóxido de carbono
gr	gramos
HCN	ácido cianhídrico
HOCN	ácido ciánico
H ₂ C ₂ O ₄ . 2H ₂ O	ácido oxálico
H	horas
H O	peróxido de hidrogeno

KCN	cianuro de potasio
K	potasio
kg	kilogramo
l	litros
mg	miligramos
NO_3NH_4	nitrato de amonio
NH	ión nitrato
NO_3Ag	nittrato de plata
NaCN	cianuro de sodio
NaOH	hidróxido de sodio
$\text{NaAu}(\text{CN})_2$	cianuro aúrico de sodio
Pb	plomo
ppm	partes por millón
PbO	litargírio
pH	potencial de hidrageno
rpm	revoluciones por minuta
SiO	sílice
Zn	zinc
$\text{Zn}(\text{NaO})_2$	zincato de sodio
%	porcentaje

INTRODUCCIOW

La cianuración es un proceso hidrometalúrgico que consiste en la disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro alcalinos y su posterior precipitación por cementación o por electrólisis.

El cianuro presenta una acción selectiva, atacando preferentemente a los metales preciosos, cuando se encuentra en bajas concentraciones en soluciones alcalinas, no se combina apreciablemente con los elementos indeseables.

El término cianuro se refiere a todos los grupos CN de los compuestos de cianuro que se pueden determinar como ión cianuro, CN^- , por los métodos usados. Se clasifican en cianuros simples y complejos.

Los cianuros simples se representan por la fórmula $A(CN)_x$, donde "A" es un alcali (Na, K, Amonio) o un metal, y "x" es la valencia de A. En los compuestos solubles, en particular los cianuros alcalinos simples, el grupo cianuro está presente como CN^- . En la industria de acabado de metales, estos se clasifican como cianuros libres, o sea los cianuros que se pueden titular directamente con nitrato de plata.

Los cianuros complejos tienen una variedad de fórmulas, pero normalmente los cianuros metálicos se pueden representar por $AyM(CN)_x$, donde "A" representa al alcali, "y" la cantidad, "M" el metal pesado (Hierro ferroso o férrico, Cd, Zn, Cu, Ni, Ag, Au, y otros) y "x" el número de grupos CN; "x" es igual a la valencia de "A" tomada "y" veces, más la del metal pesado. En éstos cianuros el anión se constituye por el radical $M(CN)_x$.



En un estudio reciente se han investigado los valores de K_{sp} de los cianuros complejos de los metales pesados, con el propósito de proporcionar datos que permitan determinar la solubilidad de estos cianuros complejos en agua. Se encontró que la solubilidad de los cianuros complejos de los metales pesados es muy alta, y que en general es mayor que la de los cianuros de los metales pesados. Esto se debe a que los cianuros complejos de los metales pesados son más solubles que los cianuros de los metales pesados. Los valores de K_{sp} de los cianuros complejos de los metales pesados son los siguientes:

Como se ve en esta tabla se ven los problemas que representan los cianuros complejos de los metales pesados en los sistemas de tratamiento de aguas. Los cianuros complejos de los metales pesados son muy solubles, y esto puede ser un problema en el tratamiento de aguas.

Los cianuros complejos de los metales pesados son muy solubles, y esto puede ser un problema en el tratamiento de aguas. Los valores de K_{sp} de los cianuros complejos de los metales pesados son los siguientes:

GENERALIDADES

Las reacciones que tienen lugar durante la disolución del oro en soluciones de cianuro, en condiciones normales, han sido establecidas en forma definitiva. La reacción para la disolución del oro en soluciones de cianuro diluido aceptada por la mayoría de los Hidrometalúrgistas es:

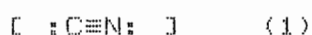


En un sistema relativamente sencillo de este tipo, el oro se disuelve rápidamente. Los únicos requisitos son que el oro esté libre y limpio, que la solución de cianuro no contenga impurezas que podrían inhibir la reacción y que esté presente una adecuada cantidad de oxígeno en la solución durante todo el período de reacción.

En la práctica muchos minerales de oro se comportan de acuerdo a esta reacción y los problemas que representan en la extracción del oro son más de orden mecánico que químico.

Los cianuros presentan diversos grados de actividad química. Los cianuros de metales alcalinos y los complejos de cadmio, zinc y plomo se disocian rápidamente. La disolución del cobre es menor, y la plata, oro, níquel y complejos de cobalto es aún más

baja. El cianuro de hidrógeno se disuelve rápidamente en agua para producir soluciones de ácido cianhídrico, un ácido débil. Los cianuros tales como el cianuro de sodio, se producen por neutralización de éste ácido. El ión cianuro es isoelectrónico con N_2 y CO:



El ión tiene una fuerte tendencia para formar complejos covalentes con cationes metálicos, tales como $Ag(CN)_2^-$, $Cd(CN)_4^{2-}$, $Ni(CN)_4^{2-}$, $Hg(CN)_4^{2-}$, $Fe(CN)_6^{4-}$ y $Cr(CN)_6^{3-}$.

La oxidación moderada del ión cianuro en solución acuosa produce el ión cianato OCN^- . El ácido correspondiente, el ácido ciánico ($HO-CN$), no es estable en solución acuosa y se descompone en CO_2 y NH_3 .



BIBLIOTECA

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CIANURACION

1.1. FUNDAMENTOS DE LA CIANURACION

Los cianuros más importantes que se emplean en la cianuración son el cianuro de sodio y el de potasio. Este último se vende en forma impura con un análisis equivalente al 50%. El primero se vende en varios grados, desde 85 hasta 98% de NaCN.

Comparando los efectos disolventes de los cianuros de amonio, sodio, potasio, magnesio, calcio, estroncio y bario, sobre el oro y la plata, se descubrió que el radical alcalino afecta al efecto disolvente del cianuro empleado, siendo el contenido de cianógeno el único factor, de importancia que afecta a la disolución.

1.2. DISOLUCION DE METALES PRECIOSOS

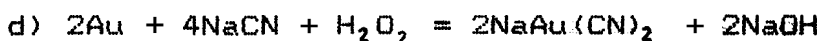
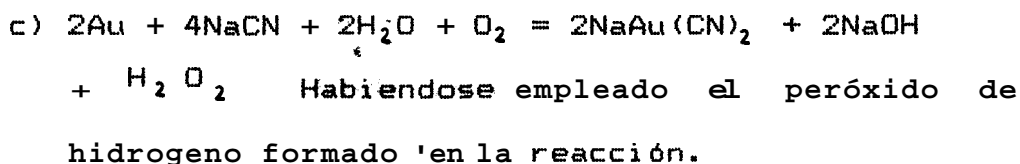
Se han dado las siguientes reacciones para la disolución del oro en soluciones de cianuro diluido:



Se conoce como la ecuación de Elsner (4).



Esta fuè sugerida por Janin (4).



Estas dos reacciones fueron sugeridas por Bodlaender. La ecuación total, sin embargo es igual que la de Elsner (4).

Barsky, Swainson y Hedley determinaron las energias libres de formación de iones complejos de cianuro de oro y de plata, con los resultados calcularon los cambios de energia libre en lar diferentes reacciones y puntualizaron cuales de estas son teoricamente posibles bajo condiciones ordinarias de cianuración.

20 at

Los resultados fueron; que para las ecuaciones de Elsner, la reacción prosiguirá prácticamente hasta ser completa, es decir hasta que toda el cianuro se haya consumido. Para las ecuaciones de Bodlaender las reacciones propuestas son posibles. Al respecto Bodlaender descubrió que realmente se había formado peróxido de hidrógeno. Estas ecuaciones expresan

las verdaderas reacciones que tienen lugar cuando el oro y la plata metálicos se disuelven en soluciones de cianuro diluido.

1.3. PARAMETROS DE CONTROL EN EL PROCESO DE CIANURACION

1.3.1. Concentración de cianuro

La velocidad de disolución de oro aumenta lineal con el aumento de la concentración de cianuro, hasta un cierto límite, mas allá del cual, un aumento adicional de cianuro tiene un efecto más bien retardante en la disolución de oro.

La disminución de la rata de disolución a concentraciones altas de cianuro, se debe al aumento del pH de la solución producida por la hidrólisis del cianuro.

La concentración de cianuro apropiada para disolver porcentajes elevados de oro, depende de la naturaleza mineralógica del material a ser tratado, la mayoría de las plantas de cianuración de oro utilizan soluciones con un promedio de 0.02% de NaCN. A medida que los minerales contienen mayor cantidad de plata la concentración de cianuro es mayor, en

éstos casos se suele usar concentraciones de 0.01% a 0.25% de NaCN.

1.3.2. Velocidad de disolución

De acuerdo a Maclaurin, la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro alcanza su máximo a una concentración de solución de 0.25% de NaCN.

Según Christy, para todo fin práctica, soluciones con menos de 0.001% de KCN no disuelven el oro.

Julian y Smart, descubrieron que la velocidad de disolución aumenta rápidamente en proporción al aumento de concentración de la solución, hasta 0.10% de KCN inclusive.

White, descubrió que la razón máxima es aproximadamente de 0.027% de KCN ó 0.02% de NaCN, cuando la solución esta saturada de oxígeno.

Barskey, Swainson y Hedley, para una disolución más rápida, es de 0.05% de NaCN.

La causa para las enormes variaciones de concentración sea la variedad de las técnicas empleadas en la determinación de estas cifras. Estas variaciones incluyen factores tales como la razón de volumen de solución a superficie de oro, violencia de agitación, velocidad de aireación.

1.3.3. Temperatura

A mayor temperatura, aumenta la activación de la solución de cianuro y por lo tanto la velocidad de disolución. Un incremento de temperatura produce también aumento en el contenido de cianuro y disminuye el contenido de oxígeno en la solución. Se ha determinado experimentalmente que sobre los 38°C la descomposición del cianuro es marcada, en climas fríos se ha de mantener la temperatura de trabajo de las soluciones entre 15.5°C y 21°C.

1.3.4. Aireación

Al aumentar el caudal de aire disminuye la capa límite de fluido que rodea las partículas, reduciéndose el espacio que deben

recorrer los iones cianuro y el oxígeno para alcanzar la superficie del metal, aumentando la disolución. Además se ha comprobado que con la aireación adecuada los resultados son tan buenos, obteniéndose altos porcentajes de recuperación de oro. Un exceso de aire produce precipitación de plata como sulfuro y la formación de tiocianatos, sulfocianatos que a la larga significa consumo de cianuro.

1.3.5. Alcalinidad

Para que se produzca la disolución de oro, es fundamental que la solución se mantenga a un determinado nivel de alcalinidad, en la práctica se ha tomado un pH que varía entre 10 a 12 como un rango óptimo de trabajo para disoluciones de minerales auríferos. La alcalinidad se la puede mantener con distintos álcalis, entre los cuales el más usado es la Cal, por su costo y facilidad de manipulación.

Las razones de realizar la reacción en medio básico son muchas entre las cuales se pueden mencionar:

a) Evitar la hidrólisis de cianuro ($\text{pH} < 10$)

- b) Evitar la descomposición del cianuro por el CO_2 atmosférico.
- c) Neutralizar los compuestos ácidos en las menas como sales ferrosas, férricas, etc.
- d) Descomponer los bicarbonatos presentes en las aguas de las plantas de tratamiento, antes de usarse en la cianuración.
- e) Para neutralizar los componentes ácidos presentes en las aguas.
- f) Para ayudar en la floculación de partículas finas del mineral.

1.3.6. Granulometría

La granulometría óptima para trabajar en cianuración, es aquella en la cual, las partículas de oro y plata se encuentran liberadas, esto lógicamente depende del tamaño de los metales en los minerales. En la práctica se ha cianurado materiales a menos de 180 mesh con buenos resultados. Mientras menor sea la granulometría, el grado de liberación de las partículas de oro es

mayor, y la disolución aumenta y una sobre molienda, sin embargo produce pérdidas en la recuperación de valores metálicos.

1.3.7. Densidad de pulpa

La densidad de pulpa debe ser óptima, de tal forma que permita al mismo tiempo un mayor contacto del mineral con la solución y una facilidad operacional. A bajas porcentajes de sólidos hay mayor cantidad de solución en contacto con las partículas de minerales, la disolución es mayor; sin embargo, el consumo de cianuro aumenta. Densidades de pulpa que varíen entre los 35 a 40% de sólidos, son apropiados para trabajar.

1.3.8. Tiempo de cianuración

El tiempo de tratamiento máximo de cianuración es variable dependiendo del tipo de cianuración, así la agitación requiere 24 a 48 horas; percolación en piscina de 21 a 30 días y percolación en rumbas de 1 a 3 meses.

1.4. METALES PROBLEMAS EN LA CIANURACION

Una de las más frecuentes fuentes de consumo de cianuro en la lixiviación es la presencia de minerales de cobre en una mena. El contenido de cobre puede ser inferior a 0.1%, pero su efecto tanto sobre la disolución como sobre la precipitación del oro puede ser muy grande! así también los complejos cianógenos de cobre afectan indirectamente a la disolución del oro.

El zinc también forma complejos cianógenos, pero sus efectos sobre la disolución del oro son mucho menos marcadas que los del cobre.

El níquel en una solución preñada tiene un efecto muy perjudicial sobre la precipitación del oro, pero aparentemente tiene poco efecto sobre su disolución.

El arsénico en forma de rejalgar y oropimente, y el antimonio en forma de estibina, presentan serios problemas en la cianuración, no forman complejos, pero si se disuelven en soluciones alcalinas consumiendo todo el oxígeno del que se dispone para la disolución del oro, su extracción disminuye.

El efecto de las capas de óxidos de hierro sobre las partículas de oro es que retardan la disolución y por lo general aumentan el contenido de oro en el

por lo general aumentan el contenido de oro en el residuo de cianuración. Este oro no solo es refractario a la cianuración, sino que también es difícil de amalgamar y difícil de flotar con los reactivos corrientes.

DESE

no de

DESE

El oro que se encuentra en el residuo de cianuración es el que no se ha disuelto en el cianuro de sodio. Este oro puede ser el oro refractario a la cianuración, el oro que se encuentra en el residuo de cianuración y el oro que se encuentra en el residuo de cianuración.

El residuo de cianuración es el residuo que queda después de la cianuración. Este residuo puede ser el residuo de cianuración, el residuo de cianuración y el residuo de cianuración.

El residuo de cianuración es el residuo que queda después de la cianuración. Este residuo puede ser el residuo de cianuración, el residuo de cianuración y el residuo de cianuración.

El residuo de cianuración es el residuo que queda después de la cianuración. Este residuo puede ser el residuo de cianuración, el residuo de cianuración y el residuo de cianuración.

El residuo de cianuración es el residuo que queda después de la cianuración. Este residuo puede ser el residuo de cianuración, el residuo de cianuración y el residuo de cianuración.

El residuo de cianuración es el residuo que queda después de la cianuración. Este residuo puede ser el residuo de cianuración, el residuo de cianuración y el residuo de cianuración.

CONTENIDO QUÍMICO DE LAS SOLUCIONES

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS VOLUMÉTRICOS DE ANÁLISIS

En el análisis volumétrico, la concentración analito se determina midiendo su capacidad de reacción con un reactivo patrón.

El reactivo patrón es una solución de concentración conocida capaz de reaccionar, más o menos completamente, con la sustancia que se analiza.

El volumen de la solución patrón requerido para completar la reacción con el analito se considera como parámetro analítico. Este procedimiento se denomina análisis volumétrico.

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO

2.2. TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON LOS MÉTODOS VOLUMÉTRICOS

En un método volumétrico se utilizan una o varias, soluciones patrones cuyas concentraciones sean exactamente conocidas.

La valoración implica conocer el volumen de solución

patrón necesaria para llevar a cabo la reacción completa con el analito.

La concentración de la solución patrón puede establecerse de dos formas:

- 1) Directamente; se disuelve una cantidad exacta de reactivo y se diluye hasta un volumen conocido.
- 2) Indirectamente; se valora la solución que contiene una cantidad pesada de sustancia pura con una solución patrón (6).

2.3. TIPOS DE PATRONES

2.3.1. Patrones primarios

Compuesto químico de elevada pureza, que se utiliza directamente en la determinación de la concentración de la solución patrón. El proceso se denomina Normalización.

Características:

- 1) Elevada pureza, de equivalencia unitaria
- 2) Estable ante los agentes atmosféricos, pH
- 3) Anhidro, ausencia de agua de hidratación,
- 4) *Peso* equivalente elevado, y a compuestos

5) Fácil adquisición y módico precio.

2.3.2. Patrones secundarios

Compuesto químico que no cumple todos los requisitos de un patrón primario.

2.4. SOLUCIONES PATRONES

Requisitos que debe cumplir una solución patrón:

- 1) Concentración invariable,
- 2) Su reacción debe ser rápida,
- 3) La reacción con el analito deberá ser completa, y
- 4) Debe reaccionar solo con el analito (6).

2.5. LOS INDICADORES DE COLOR

El método habitual para detectar el punto final en el análisis volumétrico supone el uso de una sustancia complementaria que se añade al sistema, y que experimenta un cambio de color como resultado de las variaciones de concentración que se producen en la proximidad del punto de equivalencia; estas sustancias se denominan Indicadores visuales del pH.

Los indicadores son soluciones acuosas de compuestos

orgánicos que son cromosensibles al pH.

La tabla 1 presenta una lista de los indicadores comunes empleados.

Indioñdor	pH	Cambio de Color
Acido picrico	0 - 2.2	incoloro-amarillo
Azul de timol	1.2-2.8	rojo - amarillo
Rojo de metilo	4.2-6.3	rojo - amarillo
Azul de bromo- timol	6.0-7.6	amarillo - azul
Tornasol	5.5-8.2	rojo - azul
Fenalf taleina	8.3-10.0	incoloro-rosado
Amarillo de alizarina	10.1-12.0	amarillo-violeta
Rodanina		rosada-violeta
Yoduro de potasio		amarillo-color salmon
Paradimetila- minobenzalro- danina		incoloro-amarillo pálido

Tabla 1 Indicadores visuales de color

2.6. LA TITULACION

Es un proceso en el cual una solución estandar se combina con una solución de concentración desconocida para determinar la concentración

desconocida. La solución estandar se coloca en un tubo graduado llamado bureta. La bureta tiene una llave en la parte inferior, para permitir que la solución caiga en cantidades controladas. Un volumen medido de la solución desconocida o una masa de peso conocido de un sólido desconocido disuelto en agua, se colocan en el recipiente junto con unas pocas gotas de una sustancia conocida como indicador. La solución estandar de la bureta se agrega lentamente al matraz hasta que el indicador cambie de color. Durante el proceso de adición, el contenido del recipiente se mantiene homogéneo agitándolo.

Fig. 1.9

El punto de equivalencia, que está indicada por el cambio del indicador, se han utilizado cantidades equivalentes de los dos reactivos, se lee en la bureta el volumen de la solución estandar consumida y se aplica la ecuación conocida para hallar la concentración de la solución desconocida.

2.6.1. Método de titulación para las soluciones cianuradas

Los cianuros alcalinos de las soluciones cianuradas, se titulan con una solución patrón de Nitrato de Plata para formar el

complejo de cianuro soluble, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$. Ya que todo el cianuro ha formado un complejo y se adiciona un pequeño exceso de iones plata, estos son detectados por un indicador sensible a los iones plata, la paradimetilaminobenzalrodanina o el yoduro de potasio, la cual inmediatamente cambia de color de amarillo a un color salmón o de incoloro a amarillo pálido, respectivamente.

El indicador es sensible aproximadamente a 0.1 mg/l de Ag. Si la titulación muestra que la concentración de cianuro es menor a 1 mg/l, se debió examinar colorimètricamente otra porción de la muestra. El ambiente de este método puede extenderse a concentraciones más bajas, mediante colección del cianuro en un volumen más pequeño de NaOH. El calculo debe ajustarse al volumen de absorbente usado.

Descripción: en el capítulo de experimentación se detalla el procedimiento.

2.6.2. Método colorimétrico (Espectroquant) para soluciones cianuradas

Este método colorimétrico es muy efectivo y rápido, pues se dispone de una cubeta de calibración (CN⁻ 0.074 ppm) y el equipo de las medidas directamente en partes por millímetro (ppm). Se dispone de un juego de reactivos para análisis fotométrico.

Reacción de color: El cianuro forma con el cloro (reactivo CN-1A) cloruro de cianógeno con piridina (reactivo CN-3A) reacciona este formando dialdehído glutacónico, que condensa con ácido 1.3-dimetilbarbitúrico (reactivo CN-2A) dando un colorante violeta de polimetino. También la acidez o la alcalinidad elevada deben neutralizarse con anterioridad. Sistema de medida en tabla 11.

! Toma de muestra	5 ml
! Añadir CN-1A	
! Mezclar.	1 microcuchara verde
! Añadir CN-2A	
! Mezclar.	1 microcuchara verde
! Añadir CN-3A	
! Mezclar.	3 gotas
! Tiempo	Dejar reposar 5 minutos
! Medición	Colorimetría a 585 nm

Tabla 11 Colorimetría para cianuro

2.7. ANALISIS COLORIMETRICO EN SOLUCIONES CIANURADAS

2.7.1 Análisis colorimétrico cualitativo para Oro

1. Tamñr 1000 ml de solución **en un** balón.
2. Añadir NaCN hasta llevar la solución **a una** concentración de 0.1% de NaCN.
3. Añadir **dos** o tres gotas de acetato de **Pb**.
4. Añadir 2 gramos de polvo de zinc.
5. Agitar par **dos** minutos.
6. Sedimentar y decantar la solución.
7. Añadir 10 ml de agua regia y evaporar casi **a** sequedad.
8. Agregar 2 ml de HCl concentrado.
9. Poner en **tubo de ensaya** y enfriar.
10. Añadir **unas** gotas de solución de cloruro estagnoso.

La presencia de oro estará indicada, por una coloración plomo oscuro en la solución (tinte purpura).

2.7.2. Análisis colorimétrico cualitativo para Plata

1. Tomar 10 ml de solución.
2. Adicionar 1 ó 3 gotas de sulfato de ~~amoniaco~~ ~~amoniaco~~ al 10%.
3. La presencia de plata estará incluida por un color ambar. Más oscuro el color, hay más plata en solución. Disolviendo plomo en solución puede también dar color.



2.7.3.

1. Tomar 2 ml de solución a analizar, con la que se agregará una gota de agua regia.
2. Agregar una gotas de agua regia, hasta que el pH sea menor o igual 1.0.
3. Aforar a 20 ml con agua destilada. Tomar en tubos de ensayo de análisis respectivo 2.5 ml de solución así preparada.



BIBLIOTECA

4. Añadir 2 gotas de reactivo Au-1A, agitar.
5. Añadir 4 gotas de reactivo Au-2A, agitar.
6. Añadir 6 gotas de reactivo Au-3A, agitar.
7. Agregar 6 ml de reactivo Au-4A, agitar durante un minuto.
8. Agregar 6 gotas de reactivo Au-5A, agitar intensamente un minuto.
9. Aspirar la capa orgánica (capa superior) con pipeta y trasvasarla a una cubeta de medición fotométrica.
10. Hacer lectura con el instrumento, medición a 553 nm.

Con este método se determina la concentración de oro (Au^+ / Au^{+3}). La operación para determinar el oro trivalente tiene lugar como lo descrito anteriormente, pero sin añadir Au-1A. El valor medido, corresponde directamente a la concentración del oro trivalente. La determinación del oro monovalente (Au^+) se calcula:

$$C(\text{Au}^+) = C(\text{Au}^+ / \text{Au}^{3+}) - C(\text{Au}^{3+})$$

Los reactivos vienen incluidos en el juego de reactivos (Kit de Au).

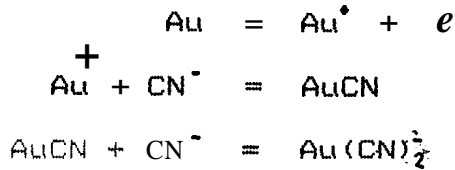
Reacción de color: La determinación fotométrica de oro se basa en la formación de un complejo de color violeta rojizo, que se forma en solución sulfúrica con Kodanina (B). Aquí se transforma el ión Au(III) con la acción del reactivo para dar un complejo de asociación. El complejo es extraíble con disolventes orgánicos. A través del proceso de extracción tiene lugar una separación del complejo de oro de la solución problema acuosa original, con ella se eliminan numerosas influencias interferentes.

REACCIONES QUIMICAS EN EL PROCESO DE CIANURACION

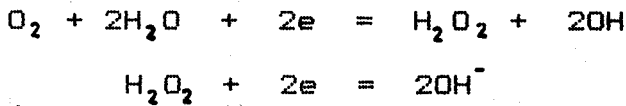
3.1. TEORIA RE LA CORROSION. BOONSTRA (1964)

Boonstra reconoció que el proceso de disolución de oro en soluciones de cianuro es similar al proceso electroquímico de corrosión de un metal, y propuso la división de la reacción de Bodlaender en las siguientes semireacciones:

Reacciones anódicas:



Reacciones catódicas:

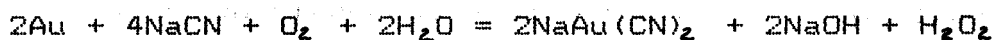


Esta acción corrosiva fue comprobada por Thompson en (1947), mediante un experimento, en el cual usó soluciones de cianuro sin aire, mezcladas con gelatina. En estas soluciones coaguladas introdujo un grano de oro para estudiar su disolución según la

dirección de una corriente de oxígeno, lo que hizo suponer la formación de celdas localizadas en las que el oro actúa de ánodo (7).

3.2. EVIDENCIA CINÉTICA. HABASHI (1966-1967)

Habashi demostró que el proceso de disolución, el cual es de naturaleza electroquímica, sigue principalmente la reacción:



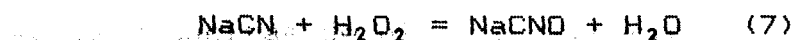
Esta conclusión fue basada en los siguientes hechos:

- a) Por cada dos equivalentes de metal, una mol de O_2 fue consumida.
- b) Por cada un equivalente de metal disuelto, dos moles de cianuro fueron consumidas.
- c) El H_2O_2 se forma durante la disolución de Au y Ag, y por cada dos equivalentes de metal disuelto, una mol de H_2O_2 fue producida.

Los experimentos demostraron que la disolución de los metales preciosos en ausencia de oxígeno fue un proceso lento. También se demostró que el efecto de

disolución de oro y plata se inhibe si grandes cantidades de peróxido de hidrogeno estan presentes, debido, a la oxidación del cianuro a cianato, el cual no tiene acción disolvente sobre el metal.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



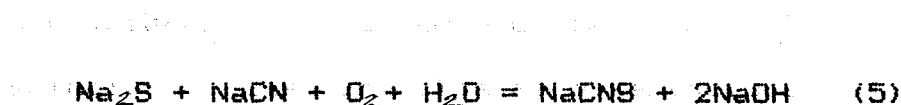
3.3. SULFUROS SOLUBLES EN SOLUCIONES CIANURADAS

Un pequeño porcentaje de un sulfuro soluble presente en la solución cianurada demora mucha la disolución del oro. Sin duda ésta es particularmente para la abstracción de oxígeno de la solución por el sulfuro, para sulfuros de oro es libremente soluble en KCN tal que la superficie del metal permanece libre de sulfuros.

Bettel, sin embargo puntualizo que el sulfuro de plata es menos soluble que el sulfuro de oro, y que el oro nativo contiene 20% de plata tratada y una película casi insoluble en soluciones cianuradas puede ser formada.

Caldecott observo que los sulfuros solubles son derivados de cianuros comerciñles y de la acción de cianuro en sulfuros de hierro en la mapa., Ellos se convierten en sulfocianicidas a expensa de cianuro y

oxígeno, así:

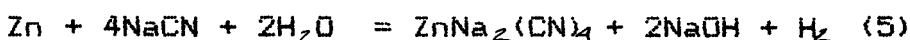
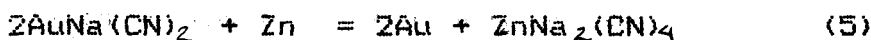


Los sulfuros alcalinos son usualmente removidos por sales disueltas de plomo o mercurio.

3.4. REACCIONES EN LAS CAJAS DE ZINC

3.4.1. INTRODUCCIÓN

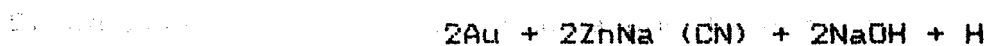
El zinc, en contacto con las soluciones de cianuro, desplaza electroquímicamente al oro y a la plata que pudieran contener. Se pueden distinguir dos etapas de reemplaza:



En el primer caso una mol de Zn reduce dos moles de oro, en el segundo caso un mol de Zn produce un mol de cianuro sódico de zinc.

La reacción que describe el primer caso se puede generalizar de la siguiente manera:

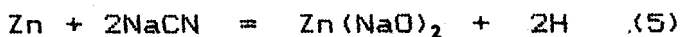
La reacción que describe el proceso se la generaliza sumando las dos reacciones y tenemos:



2 moles de AuNa(CN)₂ + 4 moles de NaCN + 2 moles de Zn + 2 moles de H₂O =

Esta reacción evidencia que hay desprendimiento de gas hidrogeno y aumento en la alcalinidad de la solución. Las principales observaciones son como siguen:

1. Un exceso de cianuro libre favorece la precipitación de oro. Algunas veces es necesario adicionar cianuro directamente a la solución en las cajas de zinc.
2. La presencia de un exceso de álcali y una deficiencia de cianuro aparentemente favorece la producción de zincatos de sodio, así:



3. Una evolución de hidrogeno toma lugar durante la precipitación, pero los hidrogenos gaseosos libres no precipitan al oro.
4. El Zn se disuelve en la solución, la cantidad depende en la concentración. Puede requerir de 15 a 20 partes de Zn para precipitar una parte de oro.
5. La precipitación es ayudada por la presencia de metales, tal como. Pb, los cuales son

electronegativos a zinc en soluciones cianuradas.

6. Durante el trayecto de la solución a través de las cajas de Zn un poco de cianuro es consumido, y el álcali libre en solución es aumentado, completamente en ningún caso es la cantidad muy grande en la práctica.
7. El calor ayuda a la precipitación, pero aumenta el gasto de cianuro por descomposición. Alrededor de mucho oro es precipitado por zinc en 24 horas en 20°C, como en 2 horas en 80°C.

El zinc se disuelve por el cianuro sódico aúrico y por el cianuro libre, esto es favorable, pues la continua disolución de zinc, expone superficies frescas del metal para la precipitación.

El precipitado contiene oro, plata, zinc y cobre. La presencia del oxígeno libre, baja la eficiencia del proceso pues se combina se combina con el cianuro libre y puede redissolver los valores precipitados.

Cuando las soluciones tienen exceso de álcalis, se presenta un precipitado blanca insoluble de $Zn(OH)_2$, que impide la precipitación del oro y la plata;

favorablemente esta reacción no es veloz y puede controlarse con el pH de la solución.

La adición de sales de plomo en la precipitación forma un par galvánico Pb/Zn que acelera la precipitación y eleva la eficiencia del proceso.

3.5. PERDIDAS DE CIANURO

3.3.1. Por disolución de metales preciosos

La cantidad de cianuro que se consume al disolver metales preciosos, depende del grado de concentración en que se encuentran los metales en los minerales y del tipo de metal que se piensa extraer. Las menas argentíferas consumen más cianuro que las menas de oro (8).

3.5.2. Pérdidas en la precipitación por Zn

Durante la precipitación con zinc, se ha demostrado por medio de pruebas de laboratorio, una marcada pérdida en la concentración de cianuro (8).

3.5.3. Pérdidas por descomposición:

Tenemos aquellas en que el cianuro se descompone en ácido cianhídrico, debido al exceso de constituyentes ácidos de las menas, a la presencia de CO_2 ó a la hidrólisis del cianuro, esto se previene usando álcalis apropiados. El cianuro se descompone lentamente por oxidación a cianato (8).

3.5.4. Pérdidas debidas a metales básicos

Todos los metales solubles en cianuro, producen perdidas de cianuro, entre ellos el cobre. Los sulfuros de cobre son los menos reactivos y estan en la solucidn como tiocianato cúprico no tiene acción sobre el oro.

3.5.5. Pérdidas debido a la formación de ferrocianuro

Las sulfuros de hierro y el hierra metálico producido como resultado de trituración y molienda, pueden actuar sobre el cianuro lentamente, formando ferrocianuro.

3.5.6. Pérdidas por la formación de sulfocianatos

El sulfocianato se forma por la descomposici-
ón de sulfuros y se presenta en las menas de
plata.

3.5.7. Pérdidas mecánicas

Omitiendo las pérdidas por derrames, siempre
hay pérdidas de cianuro en los residuos de la
filtración, debido a que no es posible lograr
un completo lavado de estos residuos.



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

6. Verificar el funcionamiento de los equipos de calefacción y de calefacción eléctrica.

EXPERIMENTACION

4.1. METODOLOGIA DE TRABAJO PARA ENSAYOS AL FUEGO

1. Tomar **40 a 50 gramos** de mena.
2. Tostar durante un tiempo determinado en la mufla a puerta abierta **en crisoles de porcelana**.
3. Besar la muestra tostada en balanza y colocar en crisal.

4. Adicionar la carga fundente:

4. Adicionar la carga fundente:
 - * Peso tostado (muestra)
 - * CO_3Na_2 (igual a muestra)
 - * 60 gr PbO
 - * 15 gr Borax
 - * 5 gr SiO_2
 - * 3.5 gr Harina
5. Mezclar, cubrir con una ligera capa de borax; fundir en la mufla a 1100°C durante 45 min.
6. Verter la fundición en una lingotera, previamente calentada recubierta con grafito, dejar enfriar,

separar la escoria del botón de plomo, y limpiar y cubificar el botón de plomo.

7. Copelar el botón en la mufla, mantener la puerta cerrada durante 5 min., luego entreabrir ligeramente para facilitar el paso del oxígeno y oxidar el plomo a óxido de plomo y continuar la copelación durante 30 min.
8. Retirar la copela, dejar enfriar, hacer una pastilla y pesar el dore.
9. Atacar el dore con ácido nítrico proporción 1:17 sobre reverbero eléctrico, luego enjuagar el dore con agua destilada.
10. Si se tiene más oro que plata ($Ag/Au < 4$) hay que usar el método de inquantación.
11. Si no es así fundir por 5 minutos y calcular la ley de la mena.

4.2. PRUEBAS PREVIAS A LA CIANURACION

4.2.1. Preparación de la solución de $NO_3 Ag$

El Nitrato de Plata es usado para la

titulación de cianuro de sodio de las soluciones. La reacción que ocurre es la siguiente:



Lo cual significa que 169.9 gr de NO Ag , saturan 98 gr de NaCN ; o lo que es lo mismo 1.754 gr de NO Ag , saturan 1.00 gr NaCN .

Si disolvemos 1.734 gr de NO_3Ag en un balón y se afora a 1 litro con agua destilada, cada mililitro de solución así preparada satura 0.001 gr de NaCN .

Se han tomado 10 ml de solución de cianuro para analizar, lo que significa que cada ml de solución de NO Ag , satura 0.001 gr de NaCN o sea el 0.01 % de NaCN .

4.2.2. Preparación de la solución de ácido oxálico =

El ácido oxálico es utilizado para la titulación de cal de las soluciones. La reacción que ocurre es la siguiente:



Lo cual significa que 126 gr de ácido oxálico saturan 56 gr de CaO, o lo que es lo mismo 2.25 gr de ácido oxálico saturan 1.0 gr de CaO.

Si disolvemos 2.25 gr de ácido oxálico en un balón y se afora a 1 litro con agua destilada cada ml de solución así preparada, satura 0.001 gr de CaO.

Se han tomado 10 ml de solución de CaO para analizar, lo que significa que cada ml de solución de ácido oxálico satura 0.001 gr de CaO ó sea el 0.01% de CaO.

4.2.3. Determinación de la pureza de NaCN

El procedimiento para determinar la pureza del cianuro de sodio es el siguiente:

1. Llenar la bureta de 50 ml con solución de NO Ag al 0.010204M preparada anteriormente
2. Preparar una solución de cianuro de sodio de concentración conocida (0.020408M), digamos 0.1% por lo cual 1.00 gr de NaCN se lo disuelve aforando a 1000 ml con agua

destilada.

3. Tomar 10 ml de la solución de NaCN, en un erlenmeyer bien limpio de 125 ml de capacidad.

4. Agregar a la solución unas gotas de indicador rodanina o yoduro de potasio, la solución adquiere una coloración rosada o incolora respectivamente.

5. Agregar gota a gota la solución de NO_3Ag y agitar ligeramente, hasta que la solución cambie a un color violeta rojizo o amarillo pálido, que es el punto de saturación de la solución.

6. Anotar el volumen en ml de NO_3Ag empleado.

7. Hacer los calculos correspondientes.

En nuestro caso las lecturas de la bureta fueron:

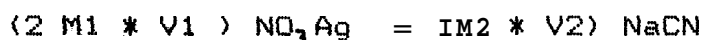
Lectura 1 = 10.0 ml

Lectura 2 = 9.8 ml

Lectura 3 = 9.9 ml

Promedio = 9.9 ml

Puesto **que** el número de moles de soluto = VM
y tomando en cuenta la ecuación de reacción,
obtenemos:



$$M_2 = \frac{2 * 9.9 * 0.010204}{10} = 0.020202 \text{ M}$$

0.020408 M ----- 100% NaCN

0.020202 M ----- X

$$X = 98.99 \%$$

Lo que indica **que** el cianuro de sodio tiene
el 99 % de pureza.

4.2.4. Determinación de la pureza de la cal

La pureza de la cal se la representa en
porcentaje de CaO presente. El procedimiento
que se sigue es el siguiente:

1. Llenar una bureta de 50 ml con solución de
ácido oxálico 0.013365 M preparada.
2. Preparar una solución de cal de
concentración 0.017863 M digamos el 0.1 %.

para lo cual 1.00 gr de cal se lo disuelve aforando a 1 litro con agua destilada.

3. Agitar la solución con un agitador magnético durante un tiempo determinado y dejar decantar.
4. Filtrar la solución de cal en matraz de 1 litro.
5. Tomar 10 ml de la solución filtrada en un erlenmeyer bien limpio de 125 ml de capacidad.
6. Agregar unas gotas de indicador fenolftaleína (1 gr de fenolftaleína en 50 ml de alcohol en 100 ml con agua destilada), la solución adquiere una coloración rosada rojiza.
7. Agregar gata a gata la solución de ácido oxálico y agitar ligeramente hasta que la solución cambie a un color blanco lechoso a incolora, que es el punto de saturación de la solución.
8. Anotar el volumen en ml de ácido oxálico

consumido y hacer los cálculos correspondientes.

En nuestro caso las lecturas de la bureta fueron:

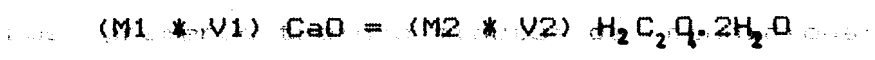
Lecturas 1 = 6.6 ml

Lecturas 2 = 6.5 ml

Lecturas 3 = 6.6 ml

Promedio = 6.57 ml

Puesto que el número de moles de soluto = VM y tomando en cuenta la ecuación de la reacción, obtenemos:



$M1 = \frac{0.013389 * 6.57}{10} = 0.008791 M$

que equivale a (0.00%) necesarios para

del mineral: $0.017863 M$ ----- 100 % CaO

$0.008791 M$ ----- X
 $X = 49.2 \%$

de la muestra de la muestra.

Lo que indica que el óxido de calcio tiene un 49.2 % de pureza.

El valor de la pureza se puede determinar de la siguiente manera:

4.3. CIANURACION POR AGITACION

4.3.1. Variable: cianuro 0.03 % NaCN

Condiciones iniciales:

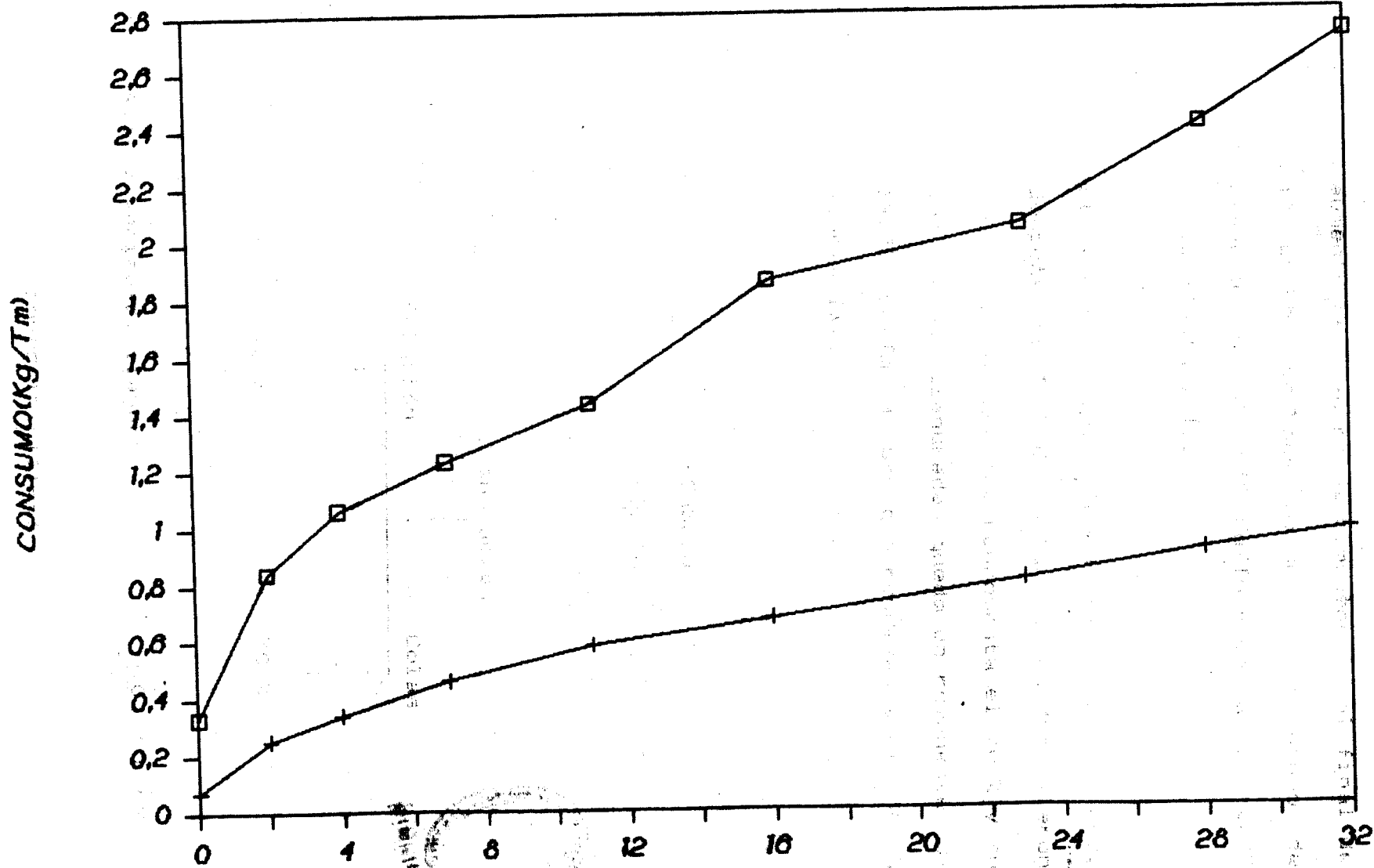
mineral	2 Kg
agua	3 litros
densidad de pulpa	40 %
concentración de cal	0.03 %
granulometría	normal
pHo	6.20
tiempo	32 Horas
revoluciones	56 rpm

Los primeros treinta minutos de acondicionamiento de la pulpa, los 3 gramos de cal iniciales, elevaron el pH del agua de 6.20 A 10.75 que representa una concentración de cal de 0.19 gr/l (0.02%) necesarios para neutralizar la acidez latente del mineral.

En la figura # 2 se representan 4 intervalos de tiempo donde la tarja de consumo de cianuro sufre variación. Se deduce & durante las primeras 6.3 H, el consumo de cianuro va aumentando, luego, viene un periodo donde el

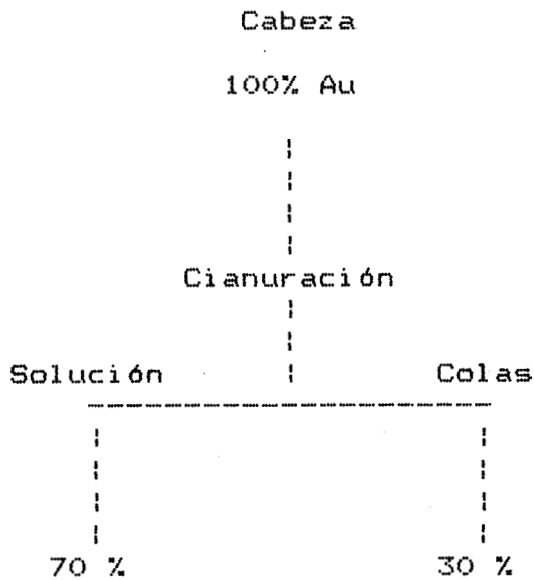
GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL(2) Fig. # 2



aumenta de cianuro *es* homogèneo y al final de la prueba *se* hace mayor. El consumo de cianuro fue de 0.97 Kg/Tm y de cal de 2.72 Kg/Tm (Tabla III).

El tenor de cabeza fue de 64 gr/Tm de ara, después de 32 H de agitación se disolvieron 44.9 gr/Tm de ara que representa el 70 % y en las colas cianuradas quedo un remanente de 19.75 gr/Tm de oro que representa el 30 % (Tabla EX).



4.3.2. Variable: cianuro

0.05 % NaCN

Condiciones iniciales:

mineral	2 Kg
	3 litros
densidad de pulpa	40 %
concentración de cal	0.03 %
granulometría	normal
pH ₀	6.25
tiempo	32 Horas
revoluciones	56 rpm

Los primeros treinta minutos de acondicionamiento de la pulpa, los 4 gramos de cal iniciales, elevaron el pH del agua de 6.25 a 10.95 que representa una concentración de cal de 0.315 gr/l (0.032%) necesarios para neutralizar la acidez latente del mineral.

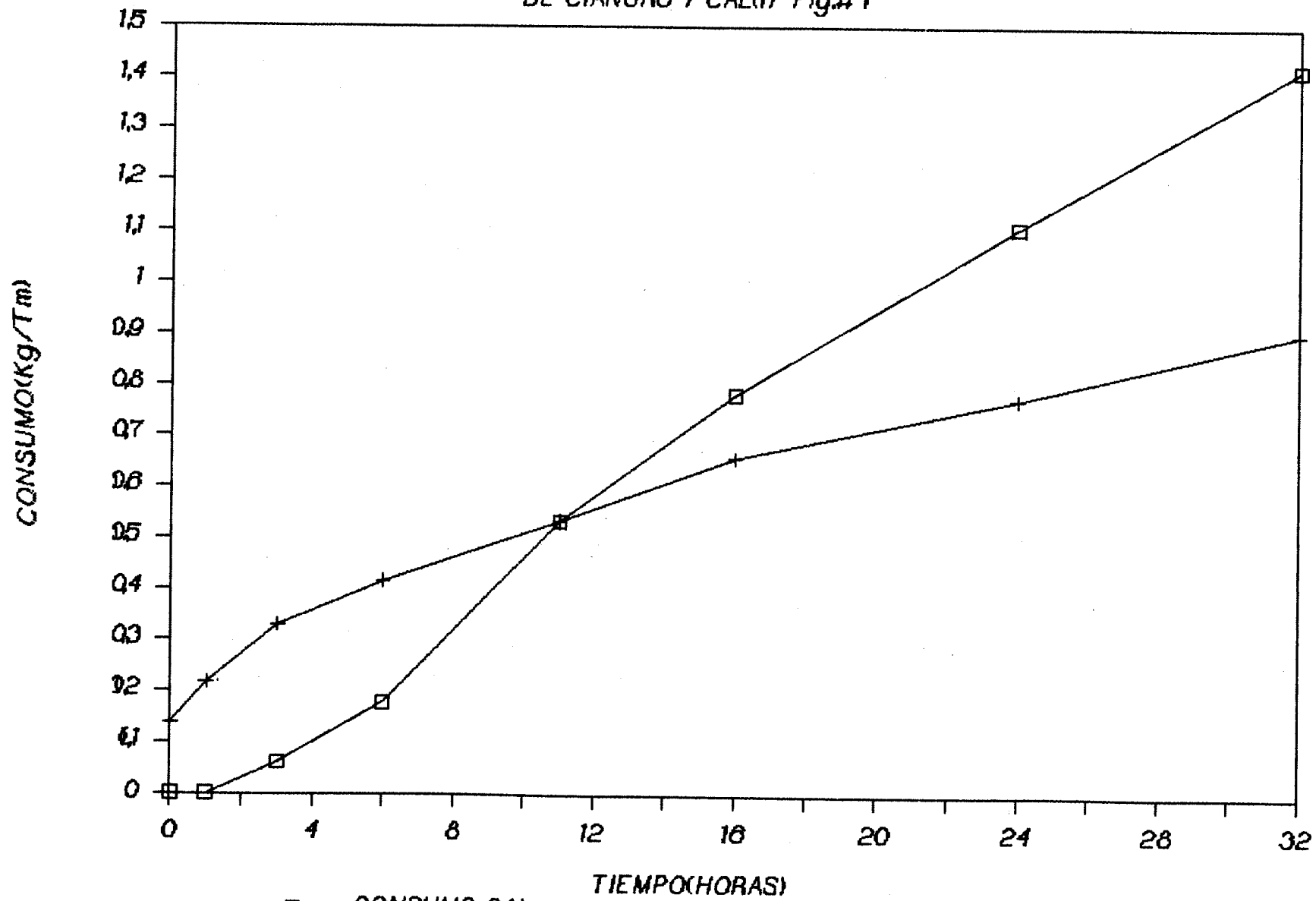
En la figura # 1 se presentan 4 intervalos de tiempo donde la tasa de consumo de cianuro sufre variaciones. Se deduce que durante las primeras 6 H, el consumo de cianuro va aumentando.

El consumo de cianuro fue de 0.9 Kg/Tm y de cal de 1.42 Kg/Tm (Tabla IV).

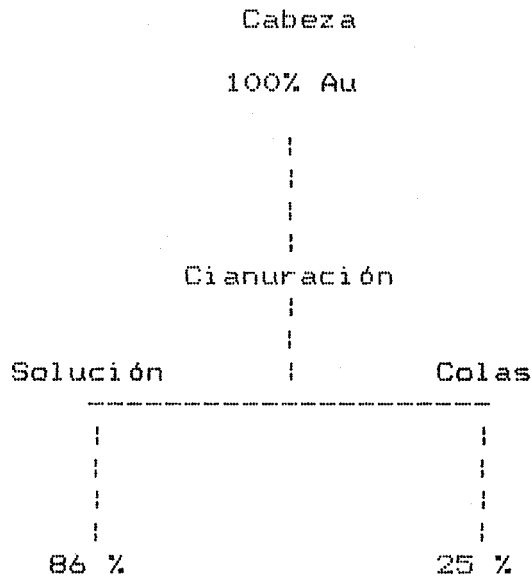
El tenor de cabeza fue de 64 gr/Tm de oro,

GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL(II) Fig.# 1



después de 32 H de agitación se disolvieron 55.5 gr/Tm de oro que representa el 86.7 %, en la colas cianuradas quedo un remanente de 16 gr/Tm de oro que representa el 25 % (Tabla IX).



4.3.3. Variable: cianuro

0.10 % NaCN

Condiciones iniciales:

mineral	2 Kg
agua	3 litros
densidad de pulpa	40 %
concentración de cal	0.03 %
granulometría	normal
pHo	6.20

tiempo	32 Horas
revoluciones	56 rpm

Los primeros treinta minutos de acondicionamiento de la pulga, los 3 gramos de cal iniciales, elevaron el pH del agua de 6.20 a 10.55 que representa una concentración de cal de 0.523 gr/l (0.0523%) necesarios para neutralizar la acidez latente del mineral.

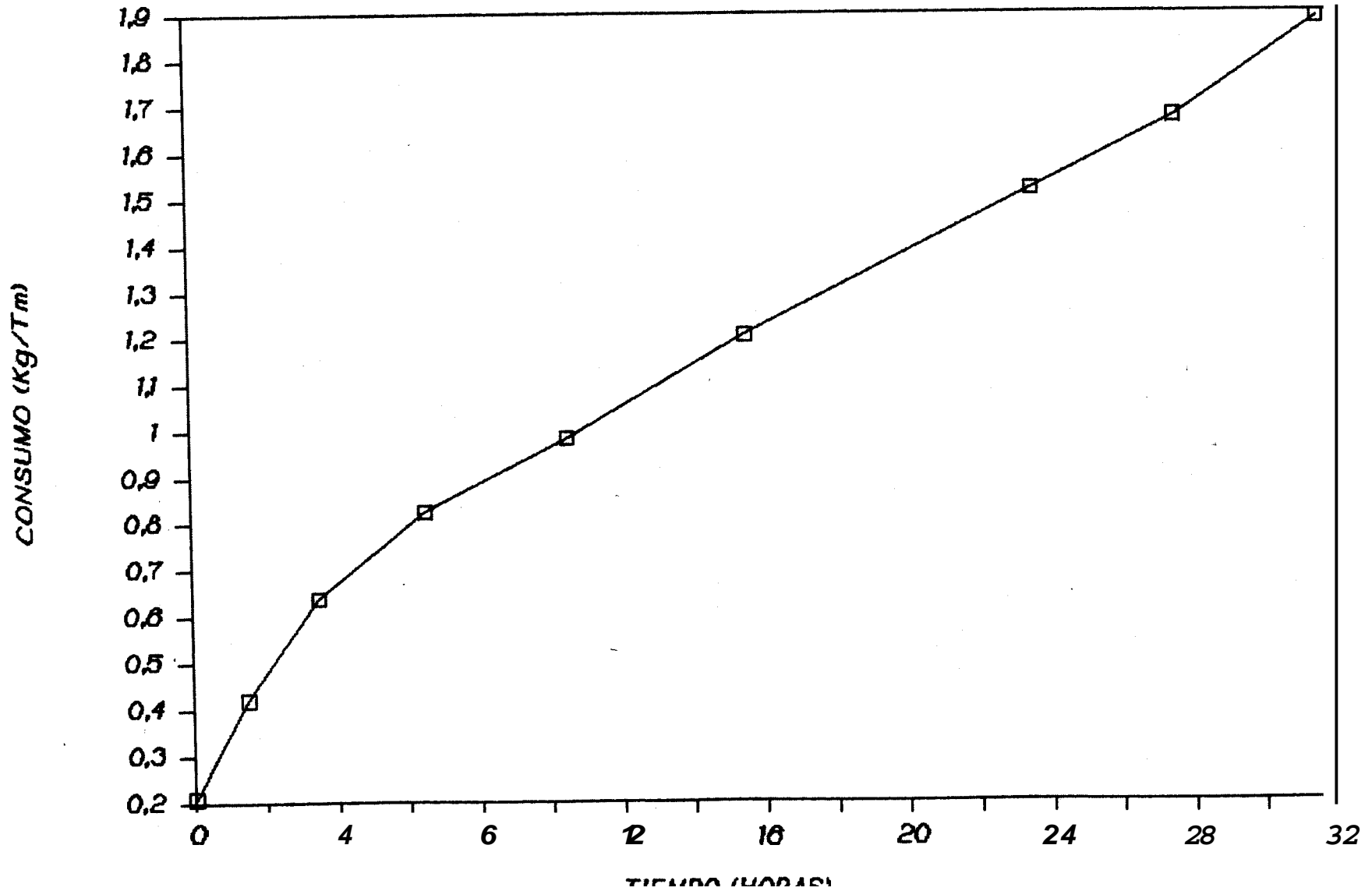
En la figura # 3 se representan 3 intervalas de tiempo donde la tasa de consumo de cianuro sufre variación. Se deduce que durante las primeras 4 H, el consumo de cianuro va aumentando, luego viene un periodo de consumo de cianuro que es constante, final de la prueba se hace mayor.

El consumo de cianuro fue de 1.89 Kg/Tm y de cal fue nulo, posiblemente debido a la presencia de calcita en la mena (Tabla V).

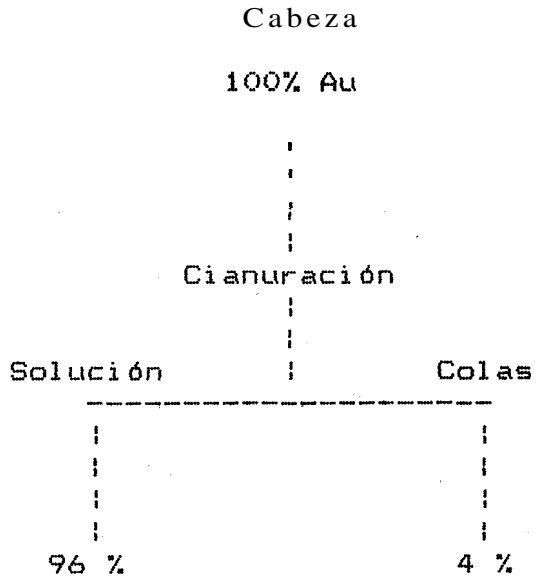
El tenor de cabeza fue de 64 gr/Tm de oro, después de 32 H de agitación se disolvieron 61.4 gr/Tm de oro que representa el 96 % y en las colas cianuradas quedo un remanente de 2.65 gr/Tm de oro que representa el 4 %

GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL(3) Fig.# 3



(Tabla IX).



4.4. DETERMINACION DEL TENOR RE ORO DE SOLUCIONES. METODO DE CHIDDEY (PRECIPITACION CON Pb Y Zn)

La precipitación con el método de Chiddey, el oro y la plata pueden ser precipitados en una esponja de plomo que puede ser fundida y copelada y posteriormente incuartada.

1. Poner la solución cianurada en beakers de 500 ml, (previamente a la solución se le agrega 2 pastillas de NaOH para subir el pH. También se le añade cianuro de sodio hasta llevar la solución a 1 gr/l que es la ideal)

2. Se agrega 20 ml de solución de acetato de plomo al 10 % a cada beaker.
3. Añadir 1 gr de polvo de zinc a los beakers.
4. Mezclése y agítese bien llevando a ebullición durante 20 a 30 min.
5. Despacio, añada 30 ml de HCl diluido a cada beaker y se deja reposar sobre la estufa caliente hasta que el zinc se disuelva cuando cese el burbugeo.
6. Decantar la solución con cuidado con el objeto de no perder ninguna partícula de plomo.
7. Poner a secar la esponja de plomo.
8. Quemar la esponja de plomo en crisol de arcilla.
9. Agregar la carga fundente para fundir el precipitado de plomo.
10. Copelar el botón de plomo.
11. Incuartar.

12. Atacar con ácido nítrico proporción 1:7, tostar el dorè de ara en la mufla durante 5 min. a 600°C.

13. Pesar el dorè de ora y hacer los cálculos correspondientes para determinar los tenores de recuperación (9).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Terminado el presente estudio se presentan las siguientes conclusiones:

1. El control químico de soluciones cianuradas debe tomarse muy en serio, ya que de éste resultado nosotros vamos a saber que cantidad de cianuro de sodio, de cal ó de nitrato de amonio se ha consumida; con ésta respuesta sabremos que cantidad de estos reactivos tenemos que añadir al agitador ó a una planta percaladora.
2. Mediante el control de soluciones se ha controlado la cantidad de cianuro, cal y amonio que se consumió durante las 32 horas de cianuración en botellas en el laboratorio.
3. El tenor de ora promedio en la mena de Ponce Enriquez es de 64 gr/Tm de oro libre y 60 gr/Tm de plata.
4. La mayor cantidad de oro se encuentra dentro de la fracción retenida en el tamiz 120 y su tenor es de 76 gr/Tm. En las otros tamices la cantidad de oro es menor fluctuando por los 62 gr/Tm.
5. Aplicando el método de Chiddey se ha podido recuperar

oro de las soluciones cianuradas con un alto porcentaje de recuperación entre las concentraciones de NaCN de 0.05 a 0.1 %.

6. La mayor recuperación de oro se produjo a una concentración de cianuro libre de 1 gramo por litro y ésta fue de 96% en la prueba # 3, entonces podemos decir que las concentraciones ideales para cianurar éstas menas están variando entre 0.05 y 0.1 % de cianuro.
7. A mayor concentración de cianuro aumenta la disolución del oro, pero hasta un cierto límite, en donde un aumento de cianuro produce una disminución en la disolución.
8. A granulometría menor existe una mayor disolución del oro, aumenta la velocidad de disolución y el consumo de cianuro.
9. La disolución del oro depende mucho de la cantidad de aire que está circulando en el tanque de agitación
10. De las gráficas mostradas figuras # 1,2,3, podemos observar que en las primeras horas el consumo de cianuro fue aumentando rápidamente y en las fig.# 1,2 el consumo de cal también fue aumentando y en la fig.#

3 el consumo de cal fue nulo, puede ser debido a la presencia de calcita en la mena.

Recomendaciones:

1. Realizar pruebas en el laboratorio de cianuración en botellas utilizando otras concentraciones de cianuro y de cal
2. Realizar pruebas de cianuración por agitación usando diferentes concentraciones de nitrato de amonio para evitar el consumo excesivo de cianuro.
3. Hacer pruebas de percolación, para determinar la concentración óptima de los reactivos utilizados, para tener una mejor recuperación de oro y plata.
4. Se recomienda para producción en planta utilizar una concentración de cianuro igual a 0.5 gramos por litro, ya que con la misma se obtiene una alta recuperación ligeramente inferior a la obtenida cuando se utilizó 1 gramo por litro pero con la ventaja de disminuir el consumo de cianuro libre a la mitad.



BIBLIO

ANEXOS



BIBLIOTECA

ANEXO A

CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN USOS Y POLUCION AMBIENTAL
DE LOS REACTIVOS USADOS EN LA CONCENTRACION DE MINERALES
DE ORO Y PLATA

Los dos aspectos que más preocupan a quienes inician operaciones de concentración de minerales auríferos 6 argentíferos son:

1. Peligros para las personas que manipulan estos reactivos.
2. Alto costo de los reactivos dentro del costo de la operación.

Desde éste punto de vista, los reactivos que basicamente deben ser considerados son: "CIANURO" y "MERCURIO". Hablaremos del cianuro.

CIANURO

El comúnmente llamado cianuro, en realidad ríe refiere al cianuro de sodio 6 con menas frecuencia cianuro de calcio 6 de potasio. Este reactivo debidamente aplicado no presenta ni alto riesgo ni alto costo.

No es de alto costo, porque dentro del proceso su consumo

no **es** mayor, ya que la solución **es** continuamente recirculada; ya que la solución gastada ó más comúnmente llamada "Barren" **es** nuevamente enriquecida e introducida al proceso. La porción que inevitablemente debe ser excluida del proceso, **es** la que junto con los relaves ó colas del mineral, **se** suministra al efectuarse un lavado correcto de dichas relaves.

En cuanto a los riesgos para los operadores, **es** un hecho, con una adecuada enseñanza y entrenamiento, dichos riesgos pasan a segundo termino.

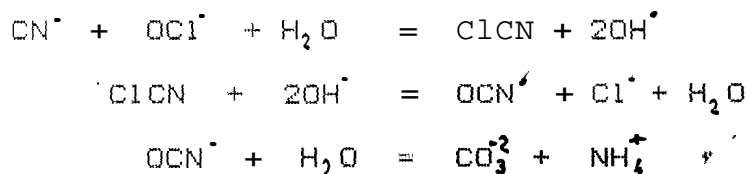
Algunos conceptos básicos a éste respecto son:

- Debe evitarse fumar, comer o por falta de higiene (lavado de utensilios, manos, etc) en zona5 cercanas a la operación donde **se** usa cianuro.
- Adecuada aplicación del cianuro en Heap-leaching, control del pH en las diversas secciones de la operación, así como **el** uso de guantes adecuados reducen al mínimo el riesgo.
- También **es** importante conocer algunas características de las personas con intoxicación o envenenamiento por cianuro: irritación en la garganta, dificultad en respirar, palpitación, **salivación excesiva**, náuseas,

dolar de cabeza, desorientación, colapso, convulsiones.

En lo que se refiere a la contaminación ambiental, es aún menos problemática si, como se sabe se usan los reactivos neutralizantes en las soluciones que se van a eliminar con los relaves de sólidas.

Es comúnmente conocido que el Hipoclorito de calcio reacciona con el ión cianuro neutralizándolo hasta hacerlo inocuo. Una ecuación simplificada de esta reacción es:



Debe ser claramente entendido que reacciones secundarias ocurren, pero que definitivamente pueden asegurarse, con una adecuada agitación, control químico (pH mayores que 12), etc, arriban a la eliminación total de riesgos de polución.

Este método es totalmente aceptado y reconocido a nivel mundial como el adecuado para evitar la contaminación ambiental.

ANEXO E

TABLAS

TABLE III

VARIABLE: CIANURO 0.03 %

tiempo (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.75	-----	-----	-----	-----	-----	0.900	3.000
8H30	10.45	6.35	0.191	0.658	5.00	0.249	0.148	2.955
10H	10.40	4.25	0.128	1.026	3.60	0.179	0.351	2.925
12H	10.65	7.55	0.226	0.433	4.70	0.235	0.183	2.900
15H	10.50	6.00	0.180	0.34E	4.45	0.222	0.223	2.875
19H	10.55	5.40	0.162	0.393	4.30	0.215	0.242	2.850
0H00	10.35	4.90	0.147	0.872	4.60	0.229	0.196	2.805
7H00	10.55	5.40	0.162	0.386	4.20	0.209	0.250	2.780
12H	10.45	5.80	0.174	0.705	4.50	0.225	0.207	2.755
16H	10.50	6.20	0.186	0.633	5.00	0.249	0.137	2.730

TABLE IV

VARIABLE: CIANURO 0.05 %

tiempo (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.95	-----	-----	-----	-----	-----	1.500	3.000
8H30	10.9	10.50	0.315	-----	4.05	0.405	0.270	2.980
9H30	10.75	11.20	0.336	-----	4.50	0.450	0.148	2.965
11H	10.65	9.30	0.279	0.124	4.20	0.420	0.235	2.940
14H	10.55	8.70	0.261	0.231	4.40	0.440	0.176	2.925
19H	10.40	6.00	0.180	0.712	4.20	0.420	0.234	2.905
0H00	10.55	7.20	0.216	0.496	4.15	0.415	0.247	2.890
8H00	10.45	6.30	0.189	0.652	4.20	0.420	0.231	2.865
16H	10.60	6.45	0.193	0.620	4.10	0.410	0.258	2.850

TABLA V

VARIABLE: CINCORO 0 1 %

tiempo (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.55	-----	-----	-----	-----	-----	1.000	3.000
8H15	9.85	17.80	0.823	-----	-----	-----	-----	2.995
8H30	-----	-----	-----	-----	21.50	0.859	0.416	2.970
10H	10.30	15.20	0.456	-----	8.50	0.849	0.425	2.940
12H	10.00	15.00	0.450	-----	8.50	0.849	0.436	2.905
15H	9.90	15.50	0.465	-----	8.70	0.869	0.376	2.890
19H	9.80	14.50	0.437	-----	8.90	0.889	0.316	2.875
0H00	9.80	13.60	0.408	-----	8.45	0.845	0.443	2.860
8H00	9.55	13.00	0.390	-----	7.80	0.780	0.626	2.845
12H	9.50	14.30	0.429	-----	8.90	0.890	0.311	2.830
16H	9.55	14.20	0.426	-----	8.50	0.850	0.423	2.815

TABLA VI
CONSUMO DE CIANURO Y CAL (1)

TIEMPO (H)	CAL (Kg/Tm)	NaCN (Kg/Tm)
0	0.33	0.07
2	0.84	0.25
4	1.06	0.34
7	1.23	0.46
11	1.43	0.58
16	1.86	0.67
23	2.05	0.80
28	2.40	0.90
32	2.72	0.97

TABLA VII
 CONSUMO DE CIANURO Y CAL (2)

TIEMPO (H)	CAL (Kg/Tm)	NaCN (Kg/Tm)
0	0	0.1375
1	0	0.2117
3	0.0619	0.3293
6	0.1778	0.4173
11	0.5338	0.5344
16	0.7818	0.6578
24	1.1078	0.7739
32	1.4180	0.9029

TABLA VIII

CONSUMO DE FENÓLICO Y CAL (3)

TIEMPO (H)	CAL (Kg/Tm)	NaCN (Kg/Tm)
0	0.00	0.208
1.5	0.00	0.421
3.5	0.00	0.639
6.5	0.00	0.827
10.5	0.00	0.985
15.5	0.00	1.266
23.5	0.00	1.519
27.5	0.00	1.675
31.5	0.00	1.886

TABLA IX

RECUPERACION DE ORO Y PLATA DE SOLUCIONES Y SOLDS

ENSAYOS	MUESTRA	DORE (mg)	TENOR ORO (gr/Tm)	TENOR * PLATA (gr/Tm)	ORO (%)	PLATA (%)
COLA MOLINO	50 gr	6.3	64	60	100	100
COLA CIAN1	50 gr	2.7	16	36	25	60
COLA CIAN2	40 gr	3.3	22.5	60	35.2	100
COLA CIAN3	50 gr	3.0	2.65	55.4	4.14	92.3
SOLUCION 1	3 lt	51.6	55.5	21.9	86.7	36.5
SOLUCION 2	3 lt	43.5	44.9	18.4	70.0	30.7
SOLUCION 3	3 lt	50.4	61.4	14.3	95.9	39.6

* 2 gr/Tm hay que restar al tenor de plata por contaminación por PbO.



BIBLIOGRAFIA

1. CUTLER SHEPARD ORSON Y DIETRICH F. WALDEMAR, Fire Assaying, 1era. Ed, Mc Graw-Hill book company, Inc, N.Y., 1940, 1 p.
2. DE LA CADENA V. CORALIA, Recuperación de oro de las arenas de la mina San José: Método de cianuración por agitación, 1988, 25 p.
3. HADLEY NORMAN Y TABACHNICK HOWARD, Química de la Cianuración, 1968, 14 p.
4. LONGO R. FREDERICK, Química General, 2da Ed, Mc. Graw-Hill Book Company, México, 1974, 1 p.
5. MORTIMER CHARLES, Química, 5ta Ed, Grupo editorial Iberoamericano,S.A., 1983, 2 p.
6. MESA SALCEDO LUIS, Aspectos fundamentales de los procesos hidrometalúrgicos y hidrometalurgia de los metales preciosos, Medellín, 1981, p 1-80.
7. MILLER Y AUGUSTINE, Química Básica, Editorial Harla S.A.,1978.
8. MERCK E, Sistemas Modernos de Análisis, Darmstadt,

1:574 p.

9. ROSE K. Y NEWMAN C., The Metallurgy of gold, 7ma Ed.
10. SKOOG D. Y WEST D., Quimica Analitica, 4ta Ed, Mc. Graw-Hill, Madrid España, 1988, 3 p.