

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Tema:

"CIANURACION POR AGITACION DE LAS MINAS DE
PONCE ENRIQUEZ"

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN GEOLOGIA

Presentada por:

Fernando Enrique Morante Carballo



Guayaquil - Ecuador
1991



AGRADECIMIENTO

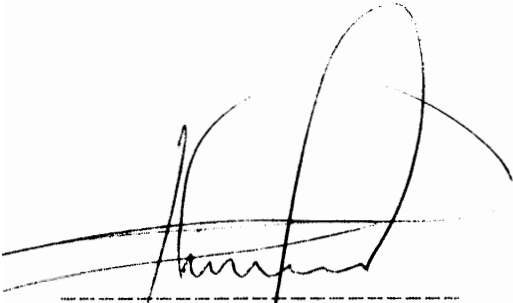
Mi especial agradecimiento al personal docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, y sobre todo al Ing. Hugo Eguez A., director de este Proyecto de grado, quien me brindó todas las facilidades y sus conocimientos para el buen desarrollo del mismo.

A mis compañeros de estudio y al personal que labora en la FICT.

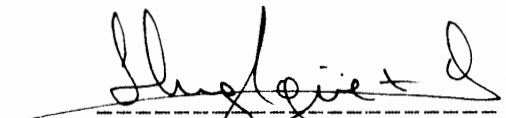
Al CICYT por otorgarme el apoyo económico necesario para el desarrollo de mi proyecto de grado.

DEDICATORIA


A mi Dios, por haber estado a mi lado en los mejores y en los más difíciles momentos de mi carrera Universitaria, al igual que mi madre, mis hermanos Pepe y Eduardo y mi amada novia Gabriela.



Ing. Miguel A. Chávez
Presidente del tribunal



Ing. Hugo Eguez Alava
Director de Tesis



Ing. Francisco Torres
Miembro del Tribunal



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este 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).

Fernando E. Morante Carballo

RESUMEN

En este trabajo se trata de encontrar las condiciones óptimas de cianuración por agitación para la disolución de oro de las menas de Ponce Enriquez (Prov. del Azuay), las cuales son muy complicadas tratarlas debido a su gran cantidad de sulfuros que poseen y sobre todo de minerales de arsénico, siendo estos considerados como cianicidas potenciales que no permiten el contacto pleno de la solución de cianuro con el oro.

En el laboratorio, se hicieron cinco diferentes pruebas de cianuración por agitación, cuatro pruebas en botellas y una en el tanque de agitación Pachuca. Las tres primeras pruebas (en botellas) se las hizo con el control químico de cianuro y cal; y las dos últimas con el control de cianuro, cal y nitrato de amonio.

Se variaron las concentraciones de cianuro de sodio (0.03, 0.05 y 0.1 %) para poder determinar cual es la concentración con la cual se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro, siendo esta la de 0.1 %, en la cual se obtuvo una recuperación del 95.9 %; aunque en la recuperación con 0.05 % de concentración de cianuro se obtuvo un 86.7 % de recuperación, que es muy buena. Con la concentración de 0.03 % se obtuvo una recuperación del 70.0 %.

La concentraci3n de cal se la mantuvo constante en 0.03 % en todas las pruebas, al igual que el nitrato de amonio que en las dos 3ltimas pruebas se lo mantuvo en 0.1 % de concentraci3n.



INDICE GENERAL

BIBLIOTECA

	PAGS.
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XI
INDICE DE TABLAS -----	XII
ABREVIATURAS -----	XIII
INTRODUCCION -----	16
Objetivo del estudio -----	16
Historia de la cianuraci3n -----	16
Introducci3n a la cianuraci3n por agitaci3n --	18
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CIANURACION -----	20
1.1. Fundamentos de la cianuraci3n -----	21
1.1.1. Efecto de la concentraci3n de cianuro sobre la velocidad de disoluci3n del oro -----	23
1.1.2. Efecto del tama1o de partcula sobre la velocidad de disoluci3n del oro -----	25
1.1.3. Efecto del Oxigeno sobre la velocidad de disoluci3n del oro -----	26
1.1.4. Efecto de la alcalinidad sobre la disoluci3n del oro -----	27
1.1.5. Efecto de la Temperatura sobre la	



disoluci3n de oro -----	29
1.1.6. Efecto de la velocidad de agitaci3n en la disoluci3n del oro -----	30
1.1.7. Efecto de la densidad de pulpa en la disoluci3n de oro -----	30
1.1.8. Efecto de impurezas -----	31
CAPITULO II	
TIPOS DE AGITADORES INDUSTRIALES -----	33
2.1. Agitador Brown o tanque Pachuca -----	33
2.2. Tanque Parral -----	38
2.3. Agitador Dorr -----	40
2.4. Agitador Denver -----	43
2.5. Agitador Turbo - Mixer -----	45
CAPITULO III	
EXPERIMENTACION -----	46
3.1. Cianuraci3n por agitaci3n -----	46
3.1.1. Procedimiento realizado en el laboratorio -----	46
3.1.2. Condiciones, resultados y an3lisis obtenidos en las pruebas de laboratorio -----	64
3.1.2.1. Pruebas en botellas -----	64
3.1.2.2. Prueba en el tanque Pachuca -----	87

CAPITULO IV

ELIMINACION DEL CIANURO CONTENIDO EN AGUAS RESIDUALES -----	92
4.1. Procesos de tratamiento de soluciones residuales de cianuro -----	93
4.1.1. Regeneración del cianuro -----	93
4.1.2. Destrucción del cianuro -----	96
4.1.2.1. Clorinación -----	96
4.1.2.2. Proceso de oxidación con SO ₂ y aire -----	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	101
ANEXOS -----	107
ANEXO A : Elaboración de la curva de calibración para Nitrato de Amonio (NO ₃ NH ₄) usando el espectrofotómetro HACH DREL / 5 --	108
ANEXO B : Determinación de la concentración de cianuro en aguas usando el espectrofotómetro SPECTROQUANT 115 (MERCK) -----	113
BIBLIOGRAFIA -----	116



BIBLIOTECA

INDICE DE FIGURAS

N.º	PAGS.
 CAPITULO II	
2.1 Agitador Brown o Tanque Pachuca -----	37
2.2 Tanque Parral -----	39
2.3 Agitador Dorr -----	42
2.4 Agitador Denver (tipo Wallace) -----	44
 CAPITULO III	
3.1 Curva granulométrica de las menas de Ponce Enriquez -----	50
3.2 Tenores de oro y plata de diferentes tamices	54
3.3 Gráfica de consumo de cianuro y cal -----	67
3.4 Gráfica de consumo de cianuro y cal -----	72
3.5 Gráfica de consumo de cianuro y cal -----	77
3.6 Gráfica de consumos de CN^- , cal y NO_3NH_4 ---	33
3.7 Gráfica de recuperación de oro (botellas) --	35
3.8 Gráfica de recuperación de oro (Pachuca) ---	30
3.9 Curva de calibración . Absorbancia vs. Concentración -----	112

INDICE DE TABLAS

No.		PAGS.
I	Datos obtenidos en laboratorio para elaborar la curva granulométrica -----	49
II	Resultados de ensayos al fuego para el cálculo del tenor de oro y plata en los tamices -----	53
III	Variable : cianuro 0.05% . Prueba en botellas	65
IV	Consumo de cianuro y cal # 1 -----	66
V	Variable : cianuro 0.03% . Prueba en botella	70
VI	Consumo de cianuro y cal # 2 -----	71
VII	Variable : cianuro 0.1% . Prueba en botella	75
VIII	Consumo de cianuro y cal # 3 -----	76
IX	Recuperación de oro y plata de soluciones y colas -----	78
X	Control de soluciones en agitación en botellas -----	81
XI	Consumos de cianuro, cal y amonio -----	82
XII	Recuperación y disolución de oro en botellas	84
XIII	Control de soluciones en el tanque pachuca	88
XIV	Recuperación y disolución de oro en pachuca	89
XV	Datos para elaborar la curva de calibración de NH ₄ -----	111

ABREVIATURAS

Ag	plata
Au	oro
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	ión cianuro aurico
CaO	cal
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hidróxido de calcio
CaSO_4	sulfato de calcio
ClO^-	ión hipoclorito
cm^3	centímetro cúbico
CN^-	ión cianuro
CNCl	cloruro cianógeno
CNO^-	ión cianato
CO_3Na_2	carbonato de sodio
conc.	concentración
Cu	cobre
$\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$	cianuro de cobre
ch	método de Chiddey
Da	densidad aparente
Dl	densidad del líquido
Fe	hierro
g/l	gramo por litro
HCl	ácido clorhídrico
HCN	ácido cianhídrico
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ácido oxálico
H_2O	agua

H_2O_2	peróxido de hidrógeno
H_2SO_4	ácido sulfúrico
H	horas
KCN	cianuro de potasio
Kg	kilogramos
L	litros
Lect.	lectura
log	logaritmo
M	molaridad
m ³	metros cúbicos
min.	minutos
ml	mililitros
Na	sodio
$NaAu(CN)_2$	cianuro de sodio aurico
NaCN	cianuro de sodio
NaOH	hidróxido de sodio
Na_2SO_4	sulfato de sodio
NH_4	ión amonio
Ni	níquel
nm	nanómetros
NO_3Ag	nitrato de plata
NO_3NH_4	nitrato de amonio
O_2	oxígeno
Pb	plomo
PbO	litargirio
pH	potencial de hidrógeno
ppm	partes por millón



rpm	revoluciones por minuto
SCN	sulfocianuro
SiO ₂	silice
Sol.	solucibn
STD	estándar
t	tiempo
Tm	toneladas métricas
Vl	volumen de líquido
Vol	volumen
Vp	volumen de pulpa
Vs	volumen de sblido
W/S	relación agua/sblido
Ws	peso de sblidos
W _l	peso de líquido
Zn	zinc
[]	concentración
%	porcentaje
°C	grados centígrados
*	multiplicación

INTRODUCCION



BIBLIOTECA

Objetivo del estudio

El objetivo de este t3pico, es determinar en el laboratorio, las condiciones 3ptimas de concentraci3n de cianuro, concentraci3n de cal, y concentraci3n de nitrato de amonio, para obtener la m3xima recuperaci3n de oro en las colas de amalgamaci3n de las menas de Ponce Enr3quez (Provincia del Azuay), mediante t3cnicas de cianuraci3n por agitaci3n.

Historia de la cianuraci3n

Este proceso es el esfuerzo de investigadores como J.S. Mc. Arthur y R.W. Forrest, que patentaron el m3todo en 1887 y 1889. La primera instalaci3n industrial de extracci3n de oro por cianuraci3n fue la de la mina Crown (Nueva Zelanda) (6).

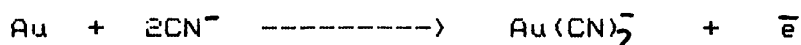
Las primeras plantas de cianuraci3n que aparecieron en Am3rica fueron en 1891 en Estados Unidos, y en 1894 en M3xico.

Inicialmente se empleaba 3nicamente agitaci3n mec3nica, pero posteriormente se tuvo la tendencia a emplear agitadores neum3ticos de los tipos Pachuca y Dorr.

Con el advenimiento de la cianuración, el proceso de cloruración declinó, y prácticamente desapareció industrialmente (6).

Se han propuesto varias teorías para explicar el mecanismo de disolución de oro y plata en una solución de cianuro, hasta que los metalurgistas de la American Cyanamid Company lograron establecer de modo definitivo el carácter y el orden de estas reacciones.

En la forma más sencilla, la reacción electroquímica del oro metálico, en una solución diluída de cianuro está dada por la siguiente semi-reacción :



El uso de las virutas de Zinc como precipitante se modificó, llegando a utilizar polvo de Zinc, tal como lo habían propuesto los inventores. Este era alimentado continuamente a la solución previamente filtrada y desoxigenada, proceso patentado por C.W. Merrill y T.B. Crowe en 1907 (2).

Los últimos adelantos datan de la actual década, en que se empieza a utilizar carbón activado como adsorbente, y la aplicación del proceso en menas de baja ley, lixiviadas en pilas (heap leaching).



La toxicidad del reactivo y las reacciones indeseables han impulsado a la investigación de otros lixiviantes para metales preciosos, entre los cuales la tiourea es el más importante. Sin embargo, en la actualidad la cianuración es uno de los procesos económicamente probados para la extracción de metales preciosos de minerales, y las dificultades que existían al principio han sido superadas en la mayoría de los casos.

Introducción a la cianuración por agitación

La agitación puede ser considerada como el método mecánico de mezcla de pulpa con un exceso de aire, en tanques circulares de capacidad suficiente para permitir el equilibrio del oro a disolverse en la solución cianurada. Estos agitadores son de varios tipos de construcción, siendo divididos básicamente en dos tipos principales, es decir, aquellos que dependen completamente de elevadores por aire, y en segundo lugar, aquellos que dependen de una combinación de aire y agitación mecánica. El primero de ellos es más conocido como agitador Brown o tanque Pachuca, en el cual la altura es por lo menos tres veces el diámetro. Este depende completamente, para su acción de agitación, de una columna de ascensión de aire desde la parte central del fondo del cono.



Los agitadores mecánicos insuflan aire a un lado o en el centro del elevador de aire, para elevar y airear la pulpa mientras dependen de un mecanismo de agitación mecánica en el fondo para mantener la pulpa en suspensión.

Para evitar el corto-circuitado del material, es aconsejable que por lo menos dos agitadores sean usados en serie, y preferiblemente tres, en vez de un gran agitador.

Para el tratamiento de menas refractarias, es aconsejable insertar un espesador extra en el circuito de agitación, de tal forma que la solución de cianuro cargada pueda ser tratada fuera del circuito y una nueva y fresca solución pueda ser añadida con la finalidad de ayudar al lento proceso de disolución. La eficiencia de un agitador también depende del método de inyección de aire, como burbujas finamente dispersas, éstas son necesarias para una rápida acción de disolución. La dilución de la pulpa es mantenida a un mínimo para reducir el tamaño de los agitadores y prevenir el asentamiento de las arenas.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CIANURACION

La cianuración es un proceso hidrometalúrgico que consiste en la disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro alcalinas y su posterior precipitación por cementación o por electrólisis (2).

El cianuro presenta una acción selectiva, atacando preferentemente a los metales preciosos, cuando éste se encuentra muy diluído en soluciones alcalinas, combinandose en una mínima proporción con los elementos indeseables.

El principio activo es el radical cianógeno CN^- , el cual es monovalente, su fórmula es la siguiente :

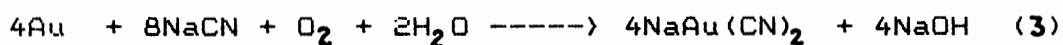


En esta fórmula se observa que el Carbono tiene una valencia libre, cuando esta se une con el metal monovalente Na, forma el NaCN (cianuro de sodio), con el K, forma el KCN (cianuro de potasio), con el cobre forma el $\text{Cu}(\text{CN})_2$, en este caso por ser el Cobre bivalente se necesitan dos radicales cianógenos.



Cuando el grupo cianógeno une su valencia libre con el Hidrógeno (H) monovalente, forma el compuesto HCN, llamado ácido cianhídrico, el cual es un ácido muy débil, tóxico y de fácil formación.

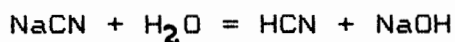
La mayor parte de las autoridades en la materia están de acuerdo en que la ecuación total de la disolución de oro en una solución diluída de NaCN es :



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, y sobre todo que se produzca ésta en un medio alcalino (pH > 9.5) para que no existan pérdidas de cianuro al formarse el gas HCN.

1.1. FUNDAMENTOS DE LA CIANURACION

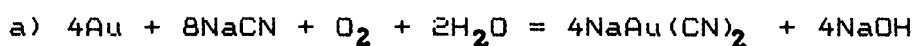
Una solución acuosa de un cianuro alcalino hidroliza de la siguiente manera :



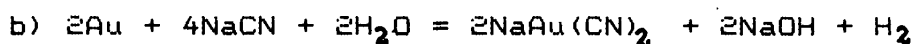
Si el álcali es apreciable, la descomposición del

cianuro podría ser insignificante. En ausencia de apreciable cantidad de álcali libre, la hidrólisis puede retardarse por la adición de cal; ésta también neutraliza los constituyentes ácidos de la mena (3).

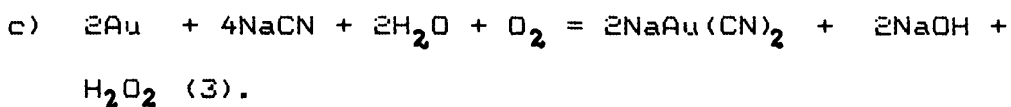
Se han dado las siguientes reacciones para la disolución del oro en soluciones de cianuro diluido:



Esta se conoce como la ecuación de Elsner (3).



Esta fue sugerida por Janin (3).



Habiéndose empleado el peróxido de hidrógeno

(H_2O_2) formado en la reacción :



Estas dos últimas reacciones fueron sugeridas por Bodlaender (3). La ecuación total, sin embargo, es igual que la de Elsner.

Barsky, Swainson y Hedley, calcularon los cambios de energía en las diferentes reacciones sugeridas y puntualizaron cuáles de estas son teóricamente

posibles bajo condiciones ordinarias de cianuración.

Para la ecuación de Elsner, la reacción proseguirá prácticamente hasta ser completa, es decir, hasta que todo el cianuro se haya consumido.

Según las ecuaciones de Bodlaender, las constantes de equilibrio son favorables y, en consecuencia, las reacciones propuestas son posibles. Así, Bodlaender descubrió que realmente se había formado Peróxido de Hidrógeno y que podría responder al 70% de la cantidad teórica del mismo, en vista de lo cual, parece que las ecuaciones de Bodlaender expresan las verdaderas reacciones que tienen lugar cuando el oro y la plata metálicos se disuelven en soluciones de cianuro diluido (3).

1.1.1. Efecto de la concentración de cianuro sobre la velocidad de disolución del oro

De acuerdo a J.S. Mac.Laurin, la velocidad de disolución del oro en soluciones de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a diluidas. Su trabajo muestra que este máximo es alcanzado a una concentración de solución de NaCN de 0.25% (2.5 g/l) (3).

De acuerdo a Christy, para todo fin práctico, soluciones con menos de 0.001% (0.01 g/l) de KCN no disuelven el oro.

Julian y Smart, descubrieron que la velocidad de disolución del oro aumenta rápidamente en proporción al aumento de concentración de la solución hasta 0.1% (1 g/l) de KCN inclusive.

White, descubrió que la razón máxima es aproximadamente de 0.027% (0.27 g/l) de KCN ó 0.020% (0.20 g/l) de NaCN, cuando la solución está saturada de Oxígeno.

La concentración de la solución, según Barskey, Swainson y Hedley, para una disolución más rápida, es de 0.05% (0.5 g/l) de NaCN.

Todas estas variaciones se deben probablemente, a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación de estas cifras. Estas variaciones incluyen factores como la razón de volumen de solución a superficie de oro, violencia de agitación, velocidad de aireación; aunque también hay que considerar



mineralógica de la mena (3).

En la práctica, la mayoría de las plantas de cianuración que benefician menas de oro, utilizan soluciones que contienen menos de 0.05% (0.5 g/l) de NaCN; el promedio general probablemente est cerca del 0.02% (0.2 g/l) al 0.03% (0.3 g/l) de NaCN (2).

1.1.2. Efecto del tamaño de partícula sobre la velocidad de disolución del oro

Cuando se presenta oro en grano grueso en las menas, la práctica usual es eliminarlo mediante trampas de oro : Jigs, paños, etc. antes de la cianuración. De otro modo, estas partículas gruesas podrían no disolverse completamente en el tiempo disponible para la cianuración. Otra práctica para reducir el tamaño de las partículas de oro que van a la cianuración es la molienda y clasificación de las menas en circuito cerrado.

La granulometría óptima para trabajar en cianuración, es aquella en la cual, las partículas de oro y plata se encuentran

metales en los minerales (3). En la práctica se han cianurado materiales a menos de 140 mesh con buenos resultados. Mientras menor sea la granulometría, el grado de liberación de las partículas de oro es mayor, y la disolución aumenta; una sobremolienda sin embargo, además de consumir demasiada energía, genera abundantes finos, que enturbiarían las soluciones, pudiendo producir pérdidas en la recuperación de metales preciosos (2).

1.1.3. Efecto del Oxígeno sobre la velocidad de disolución del oro

El empleo de Oxígeno o de un agente oxidante es esencial para la disolución del oro. Agentes oxidantes tales como el Peróxido de Sodio, Permanganato de Potasio, Bromo, Cloro, han sido utilizados con mayor o menor éxito en el pasado; pero, debido al costo de estos reactivos y a las complicaciones que involucra su manipuleo, han caído en desuso. Se ha demostrado que, una adecuada aireación bajo condiciones normales, da buenos resultados como los oxidantes químicos. La velocidad de disolución del oro es directamente



la solución. También un exceso de Oxígeno produce precipitación de Plata como sulfuro y la formación de Tiocianatos y Sulfocianatos, que a la postre significan consumo de cianuro (3).

1.1.4. Efecto de la alcalinidad sobre la disolución del oro

Es necesario que la solución se mantenga a un cierto nivel de alcalinidad para que se produzca una buena disolución del oro. En la práctica se ha tomado un pH que varía entre 10 y 12 como un rango óptimo de trabajo para disolución de minerales auríferos.

La alcalinidad se la puede mantener con distintos álcalis, entre los cuales el más usado es la cal, por su bajo costo y fácil manipulación (3).

Las razones de realizar la reacción en medio básico son muchas, entre ellas se puede mencionar :

a.- Evitar la pérdida de cianuro por la acción



- b.- Evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis.
- c.- Descomponer los Bicarbonatos en el agua de ingenio antes de emplearla en la cianuración.
- d.- Neutralizar los compuestos ácidos tales como Sales Ferrosas, Ferricas y Sulfatos de Magnesio en el agua de ingenio antes de añadirla al circuito de cianuro.
- e.- Neutralizar los constituyentes ácidos de la mena.
- f.- Ayudar a la sedimentación de las partículas de mineral fino, de modo que la solución preñada clara pueda ser separada de la mena cianurada.
- g.- Mejorar la extracción cuando se traten menas que contengan Teleruros, Plata roja (ruby), que se descomponen más rápidamente a grados mayores de alcalinidad (3).

Aunque la hidrólisis de cianuro se produce a pH



los límites permisibles, pues provoca que la rata de disolución de oro disminuya, y por eso se la mantiene en un nivel denominado "alcalinidad protectora", la cual se mantiene mediante el empleo de otros álcalis, tales como Hidróxido de Sodio y Carbonato de Sodio (2).

1.1.5. Efecto de la Temperatura sobre la disolución de oro

Cuando se aplica calor a una solución de cianuro que contiene oro metálico, dos factores opuestos afectan a la velocidad de disolución. Sería de esperar que el aumento de la Temperatura aumente la actividad de la solución, aumentando así la velocidad de disolución del oro. Al mismo tiempo, la cantidad de Oxígeno de la solución disminuiría porque la solubilidad de los gases disminuye con el aumento de la Temperatura.

Se ha determinado experimentalmente que sobre los 38°C, la descomposición del cianuro es marcada; en climas fríos se ha encontrado ventajoso mantener la Temperatura de las soluciones entre 15.5°C y 21 °C. Según

con 0.25% de KCN, la solubilidad del oro aumenta al máximo en 85°C, aunque el contenido de Oxígeno a esta Temperatura era menor a la mitad que el que tenía a 25 °C. Además descubrieron que a 100°C, la velocidad de disolución del oro era solo ligeramente inferior a la máxima, aunque la solución no contuviera Oxígeno (3).

1.1.6. Efecto de la velocidad de agitación en la disolución del oro

Al aumentar la velocidad de agitación, disminuye la capa límite de fluido que rodea a las partículas, reduciéndose el espacio que deben recorrer los iones cianuro y el Oxígeno para alcanzar la superficie del metal, aumentando la disolución.

1.1.7. Efecto de la densidad de pulpa en la disolución de oro

La densidad de pulpa, o porcentaje de sólidos en la pulpa, debe ser óptima, de tal forma que permita al mismo tiempo un mayor contacto del mineral con la solución y una facilidad



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 varían entre 30 y 40% de sólidos son apropiadas para trabajar (2).

1.1.8. Efecto de impurezas

Las impurezas y elementos extraños al proceso, tienen efectos variables en la velocidad de disolución, además ocasionan un consumo elevado de cianuro. en algunos casos la presencia de impurezas puede llegar al extremo de inhibir la reacción (2).

Estas impurezas son las llamadas "cianicidas", y entre éstas tenemos principalmente al Cobre, y algunos sulfuros de Arsenico y Antimonio. También existen otras impurezas tales como materiales carbonáceos y sustancias orgánicas, que provocan una precipitación prematura de los valores de oro y plata, ocasionando extracciones bastante bajas.

El tratamiento apropiado en estos casos, es la

oxidación de la pulpa con aire, vapor y cloro gaseoso, siendo todas estas técnicas previas a la cianuración.

CAPITULO II

TIPOS DE AGITADORES INDUSTRIALES

Todos los agitadores en general utilizan el mecanismo de elevación por aire, tal como el Tanque Pachuca (o agitador Brown), el agitador Dorr, o el turbo mezclador Wallace, combinando agitación con aireación. En los tanques con elevación por aire, la agitación es efectuada para la reducción de la gravedad específica de una columna central de pulpa, por la introducción de aire a presión, el cual superará la presión de la columna en el punto de introducción (7).

2.1. AGITADOR BROWN O TANQUE PACHUCA

Este agitador fuè introducido en Nueva Zelanda en 1902, y después adoptado en la Provincia de Pachuca (México). En la figura 2.1, este agitador está mostrado en sección vertical. Este consiste de un cilindro alto de acero, cónico en el fondo. Dentro del cilindro hay un tubo central B, extendiéndose hasta un punto cerca del fondo. El aire es introducido al tubo central a través de un tubo interno D, el cual descarga en G, a través de válvulas de caucho. C es un segundo tubo de suministro de aire en la parte externa

movimiento durante el llenado y descarga del tanque. El tubo E, es usado para suministrar solución, agua o aire al distribuidor F, el cual descarga a través de los tubos I, para prevenir el asentamiento antes de empezar y cuando es paralizada la agitación. El aire es suministrado a los tubos C, D y E, desde el tubo O, y el agua o solución desde el tubo N. Una placa antisalpicaduras movable Q, está ajustada cerca del tope del tubo central. La pulpa es alimentada a través del tubo P. La descarga después de la agitación es llevada a cabo a través de un tubo con sello o tapón cerrado en el ápice del cono.

Los tanques son de varios tamaños, entre 45 a 55 pies de altura y 13 a 33 pies de diámetro.

El método de trabajo es como sigue: Tan pronto como el tanque es llenado por los finos y la solución, el aire es burbujeado en el tubo D y emerge en G, superando la presión de la columna en ese punto. Como estas burbujas suben a través del tubo central, aligerando dentro de esta la columna de pulpa, esta es rápidamente elevada causando un rebose. La pulpa fresca es decantada en el fondo y una circulación perfecta es dada. La relación W/S (agua/sólido) es usualmente 1.2 : 1 (gravedad específica = 1.337). El

concentración de Cianuro de Potasio (CNK) es de 0.01% (0.1 g/l) y el contenido de cal es de 0.005% (0.05 g/l) (3); aunque estos datos varían de acuerdo a la calidad de la mena.

Al tratar de cianurar colas viejas y endurecidas, o cuando se trata de poner en movimiento un material que se ha permitido decantar, el material al fondo del cono es ablandado con la introducción de agua o solución a través del anillo de lavado F, para que de esta manera el material se eleve por el interior del tubo B; adicionalmente, de ser necesario, se introduce un tubo con aire comprimido a través del tubo central que se encuentra generalmente obstruido.

En el comienzo de la agitación, la presión de aire requerida es considerable, pero cuando la circulación está completamente estabilizada, la cantidad de aire es mantenida en un menor valor a fin de evitar un exceso de circulación.

Como originalmente se usó, el agitador Brown fue intermitente en esta acción, pero ahora es común colocar 4 ó 6 tanques lado a lado para que trabajen continuamente en serie. En este caso la pulpa es continuamente alimentada dentro del primer tanque, cerca de la entrada del elevador por aire, y es sacada

aire y la periferia del tanque, llevándola al segundo tanque, y así sucesivamente a los otros. Como una medida de protección, el tope de los tanques son conectados por un tubo de 8 pulgadas, para prevenir derrames. Después, pasando a través de la serie de tanques, la pulpa es descargada a la planta de filtrado.

Los tanques son un poco costosos debido a su capacidad y gran altura, por lo que es necesario utilizar adecuadamente un compresor de aire relativamente costoso. Cuando no se requiere tratamiento prolongado de 6 a 8 horas, no es requerido el elevador de aire en los tanques, ellos son usados en procesos intermitentes. La pulpa es entonces enviada a los tanques de almacenamiento, donde es mantenida en movimiento hasta que sea enviada a los filtros.

Las ventajas del sistema continuo son :

a.- El tiempo de vaciado y llenado es ahorrado y es más eficientemente usado en agitación.

b.- Menor atención es requerida

c.- El costo de la descarga individual es ahorrado.

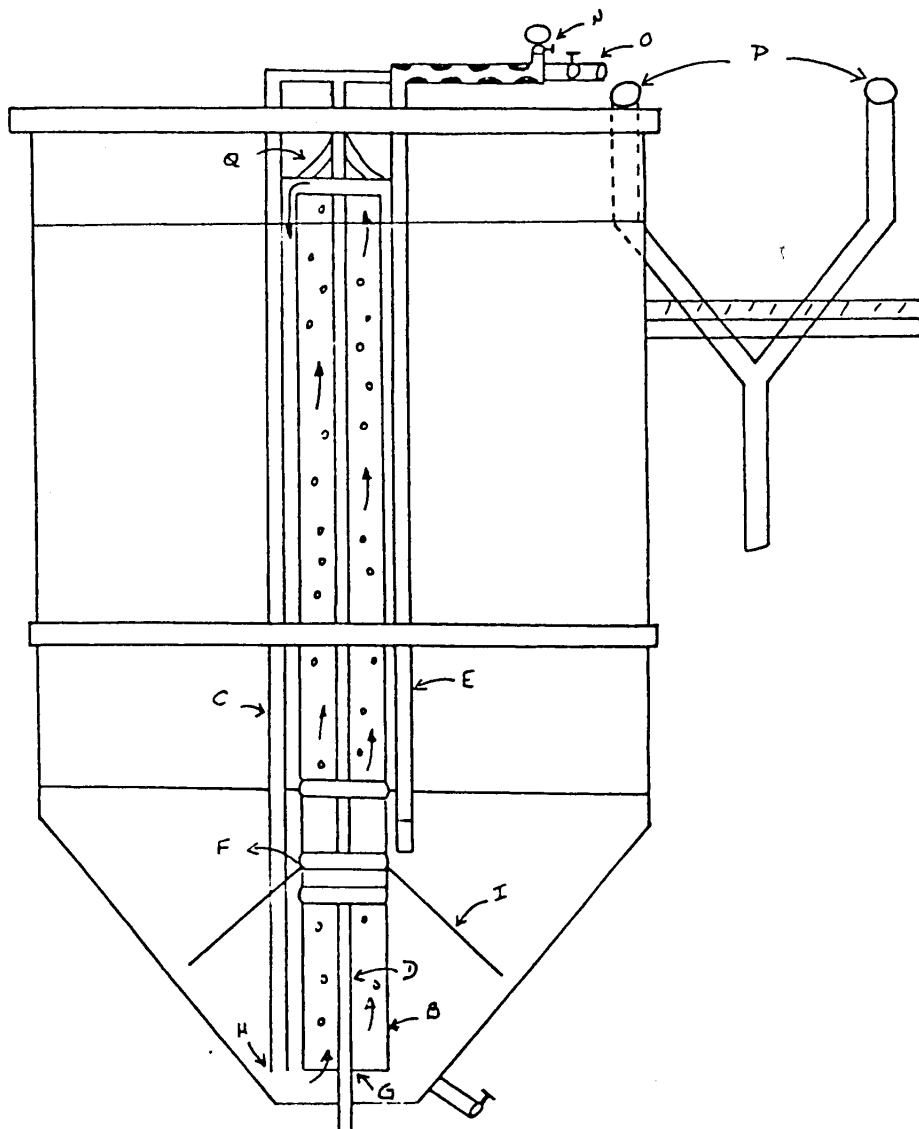


FIG. 2.1

B = TUBO CENTRAL

C = TUBO EXTERNO DE SUMINISTRO DE AIRE

D = TUBO INTERNO DE SUMINISTRO DE AIRE

E = TUBO EXTERNO QUE SUMINISTRA AIRE AGUA
O SOLUCIÓN

F = DISTRIBUIDOR

Q = PLACA ROCIADORA AJUSTABLE

O = SUMINISTRADOR DE AIRE A LOS TUBOS
C, D Y E

G = DESCARGADOR DE AIRE

H = DESCARGADOR DE AIRE

I = DESCARGADOR DE PRODUCTO DE E

N = TUBO SUMINISTRADOR DE AGUA O
SOLUCIÓN

P = TUBO DE ALIMENTACION DE PULPA

d.- La pérdida de presión es mínima, estando el nivel de la descarga solamente a 3 pies por debajo del tope del último tanque. La pulpa tratada en este caso gravita a la planta de filtración.

Usualmente se dá un tratamiento más largo a los sistemas continuos que a los intermitentes. El agitador debería ser vaciado a intervalos frecuentes, limpiándolo de partículas gruesas, las cuales están expuestas a asentamiento.

Hills describe un sistema intermitente de agitación y decantación para pequeñas plantas de cianuración usando un "agitador Tuolumme", el cual es del tipo Pachuca. Este toma la pulpa espesada o decantada y la vuelve a suspensión. El tanque de agitación funciona como espesador (7).

2.2. TANQUE PARRAL (FIGURA 2.2)

Tiene un fondo plano y 2 a 4 elevadores de aire cerca de la periferia del tanque, en vez de uno en el centro como en el tanque Pachuca. Este diseño permite construir tanques de gran diámetro y capacidad. Un codo está sujeto al tope del tubo elevador de aire, y la pulpa es liberada circunferencialmente, de tal modo que el contenido del tanque adquiere un



BIBLIOTECA

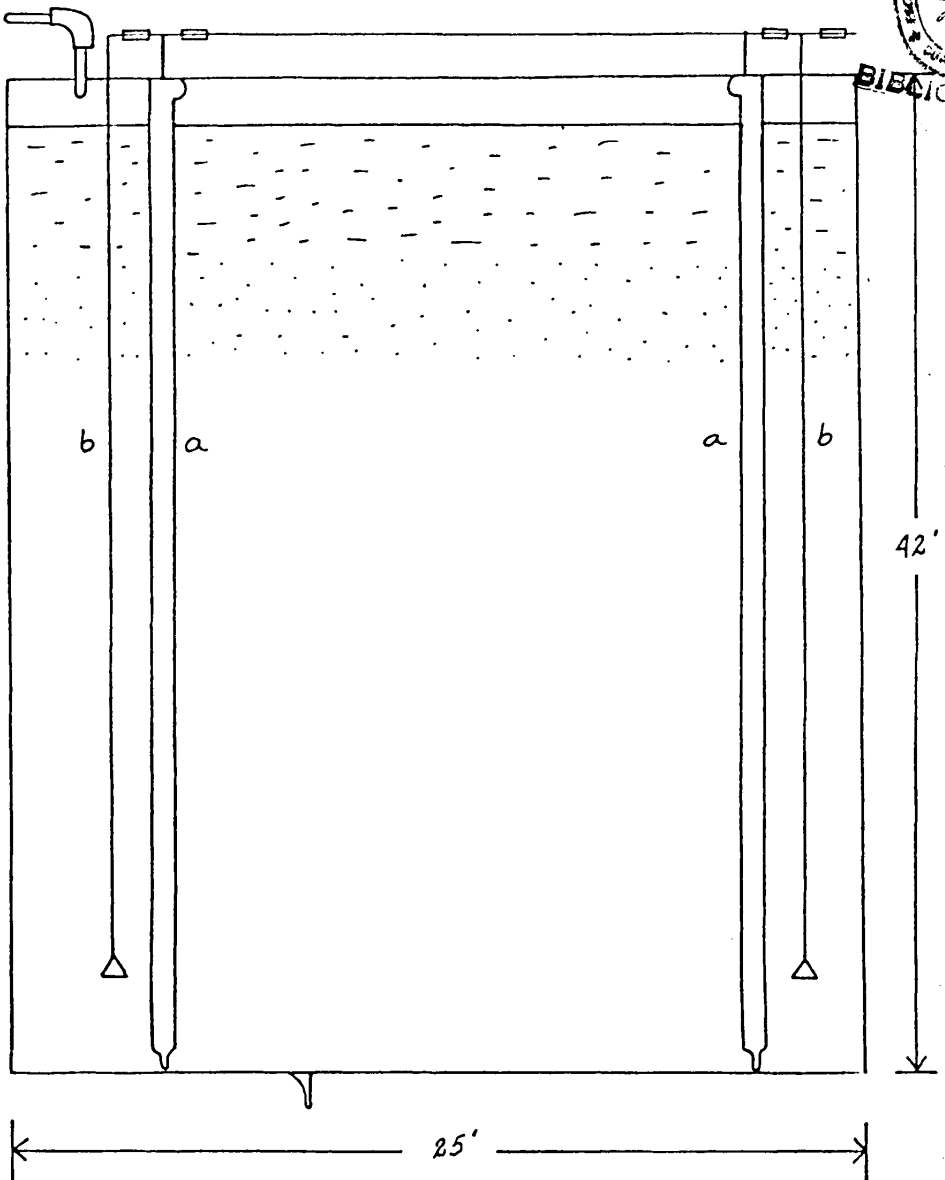


FIG. 2.2

movimiento de rotación, el cual es diseñado de esta forma para evitar el asentamiento de sólidos, y ayuda a la agitación. El tanque Parral es generalmente construido de menor altura que el tanque Pachuca (7).

2.3. AGITADOR DORR (FIGURA 2.3)

Rara vez se lo utiliza en sistemas intermitentes de tratamiento, pero es apropiado para sistemas continuos. Son tanques de fondo aplanado y son una modificación del espesador Dorr. Consiste de un cilindro vertical central, o de un tubo sostenido por un eje que está sujeto en la parte superior del tanque, y equipado con dos brazos que contienen rastrillos, los cuales viajan circularmente cerca del fondo del tanque y acarreado la pulpa hacia el centro. La pulpa (de W/S 1.2:1) fluye continuamente a un punto de la periferia y gradualmente desciende al fondo. Esta pulpa es entonces elevada de extremo a extremo del cilindro por un elevador de aire y distribuida de modo uniforme sobre la superficie de la pulpa por una canaleta giratoria. El tubo para la elevación por aire puede estar insertado en el fondo del tanque.

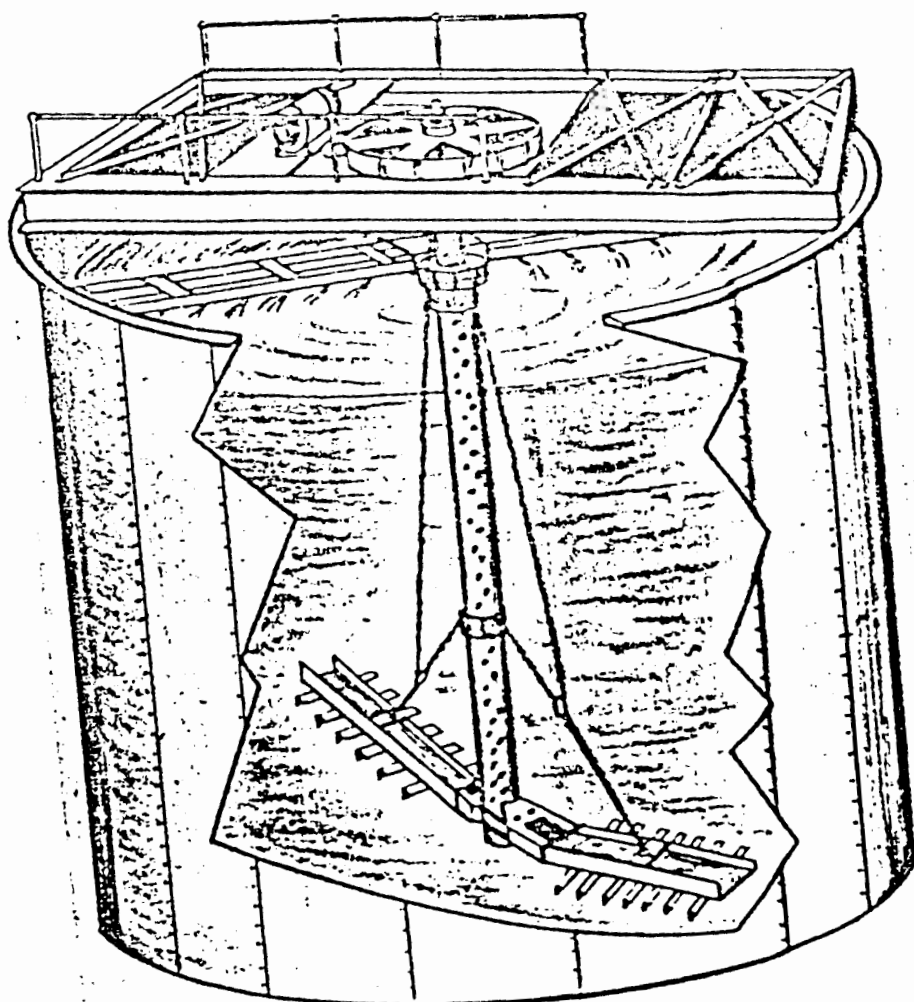
No existe una agitación homogénea de la pulpa, y los sólidos tienden a asentarse. Estos son rastrillos

del fondo del tanque hacia el centro y de allí elevados por aire, existiendo de esta forma una circulación vertical de las partículas a través de una solución relativamente estable. Existe pues, un mayor movimiento relativo de la solución, que en el tanque Pachuca, y por lo tanto tiende a darse un mejor contacto con el solvente.

Los brazos poseen cadenas, de tal forma que pueden ser levantados y ser replegados contra el cilindro central durante una paralización. Al empezar nuevamente, ellos son bajados gradualmente, hasta que la pulpa que está asentada tenga que ser puesta en suspensión, así que no hay peligro que los brazos se rompan.

Cuando se desea dar a partículas más gruesas un contacto más prolongado con la solución, la dilución de la pulpa y la descarga tienen que ser reguladas. Los tanques usados (por ejemplo 30 pies de diámetro por 12 pies de profundidad) son de poca profundidad, tal que la presión de aire requerida es pequeña. Los brazos giran de 1 a 4 r.p.m.

Ham ha desarrollado una fórmula para calcular el porcentaje de extracción en agitación continua.



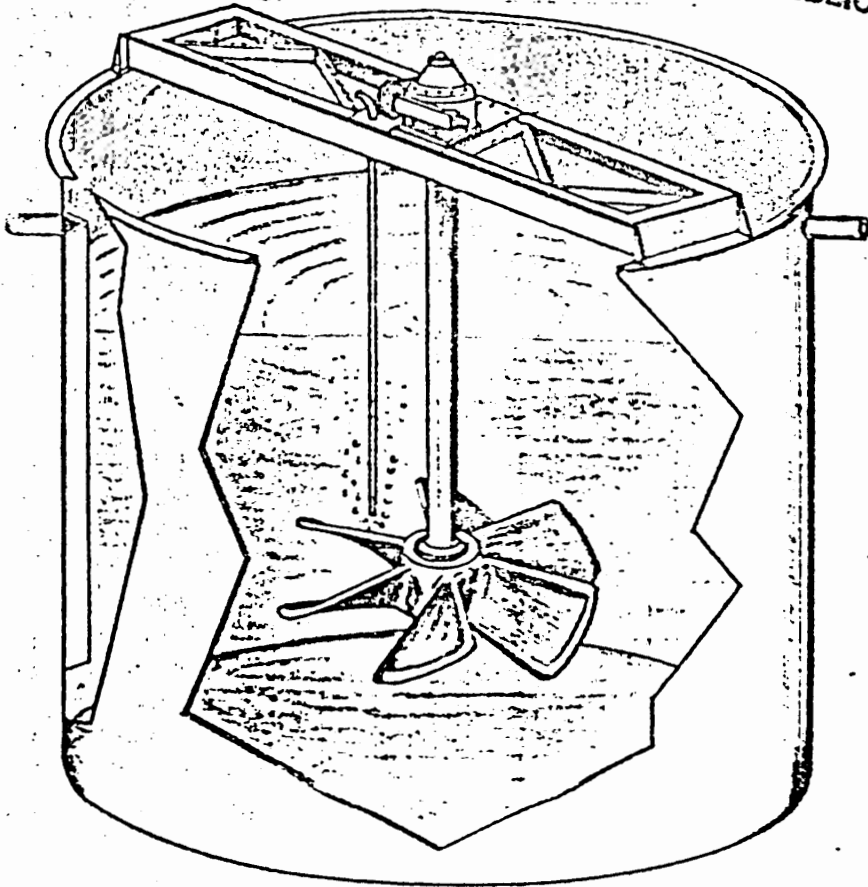
DORR

FIGURA 2.3

El tanque Pachuca y los agitadores Dorr son confinados al tratamiento de - 150 mesh, o material más fino si el levantamiento desde el fondo está siendo impedido. Cuando se ha tenido que tratar materiales arenosos o concentrados de flotación, un agitador Wallace puede ser usado. Este puede tratar con arenas de 40 mesh.

2.4. AGITADOR DENVER (TIPO WALLACE)

Consiste de un tanque circular de 12x12 pies, con un tubo vertical hueco de 22 pulgadas en el centro. En el interior de este agitador existe un eje, en el cual una hélice de 27 pulgadas es sujetado en un punto por debajo del tubo, rotando a 200 r.p.m. El tubo vertical es telescópico para permitir el ajuste de la altura de la carga. Usualmente está colocado aproximadamente a 2 pies desde el fondo del tanque. Cuatro pequeños elevadores de aire son situados en la periferia. En funcionamiento la pulpa es succionada por el tubo vertical a través de un vórtex el cual succiona aire. La pulpa luego es elevada fuera del tubo vertical ayudada por los elevadores de de aire. El agitador también ha sido aplicado en el tratamiento de concentrados de flotación con solución de cianuro. Aquí debido a la presencia de colectores,



DENVER (PROPELLER)

FIGURA 2.4

por agitación ordinaria no es completamente extraída de la solución. En el agitador Wallace, la succión descendente del tubo vertical, causada por la hélice es apropiada para superar este inconveniente. La figura 2.4 muestra un diseño general de este agitador (7).

2.5. AGITADOR TURBO-MIXER

Tiene una unidad mezcladora, consistiendo de una hélice, con aspas deflectando curvas estacionarias rotando en un plano horizontal. La pulpa ingresa cerca del centro de la hélice y es expelida tangencialmente. Esta es entonces deflectada por las aspas estacionarias que rodean a la hélice. Así, una agitación intensa es producida. Un Turbo-Mixer generalmente posee dos series de aspas. La serie de abajo mantiene la porción inferior de pulpa agitada, y la serie de arriba así mismo agita la porción superior, manteniendo así una violenta agitación en todo el tanque (7).

CAPITULO III

EXPERIMENTACION

3.1. CIANURACION POR AGITACION

3.1.1. Procedimiento realizado en el Laboratorio

- 1.- Preparación de la curva granulométrica
 - a.- secar el material : Esto se hizo dejando el material expuesto al sol por varios días.
 - b.- Separación : Se separaron las arenas de los aglomerados de arcilla utilizando la malla 10 mesh.
 - c.- Homogenizar las arenas y cuartear para obtener una muestra representativa del total.
 - d.- Se pesaron 1492 gramos de muestra y se colocó en una sarta de tamices (mesh) : 40, 50, 70, 120, 140, 200, 230, y fondo. Se tamizó por 15 minutos en el agitador

"RO-TAP".

- e.- Se pesaron los retenidos en los tamices y el fondo, y con los pesos acumulativos vs. las aberturas de las mallas (en micrómetros), se procedió a elaborar la curva granulométrica en escala log-log.
- f.- El resto de muestra se tamizó en los tamices 150 y 200 mesh, después de molerla en los molinos de bolas de porcelana y acero respectivamente. Esto se hizo con el objeto de hacer en lo futuro pruebas de cianuración por agitación en el tanque Pachuca.
- g.- Las lamas o grumos de arcilla que se separaron (deslamado) según b, se les aplicó el siguiente tratamiento :
Trituración en trituradora de quijadas,
trituración en trituradora de rodillos,
pulverización en molino de discos,
homogenización, cuarteo, separar una muestra representativa para hacerle ensayos al fuego. Esto último se lo hace porque hay veces en que el oro es atrapado



BIBLIOTECA

oro contienen las mismas para ver la posibilidad de tratarlas o no.

h.- Con los datos obtenidos, se prepara la tabla de datos (tabla I), y luego se procede a elaborar la curva granulométrica (figura 3.1).

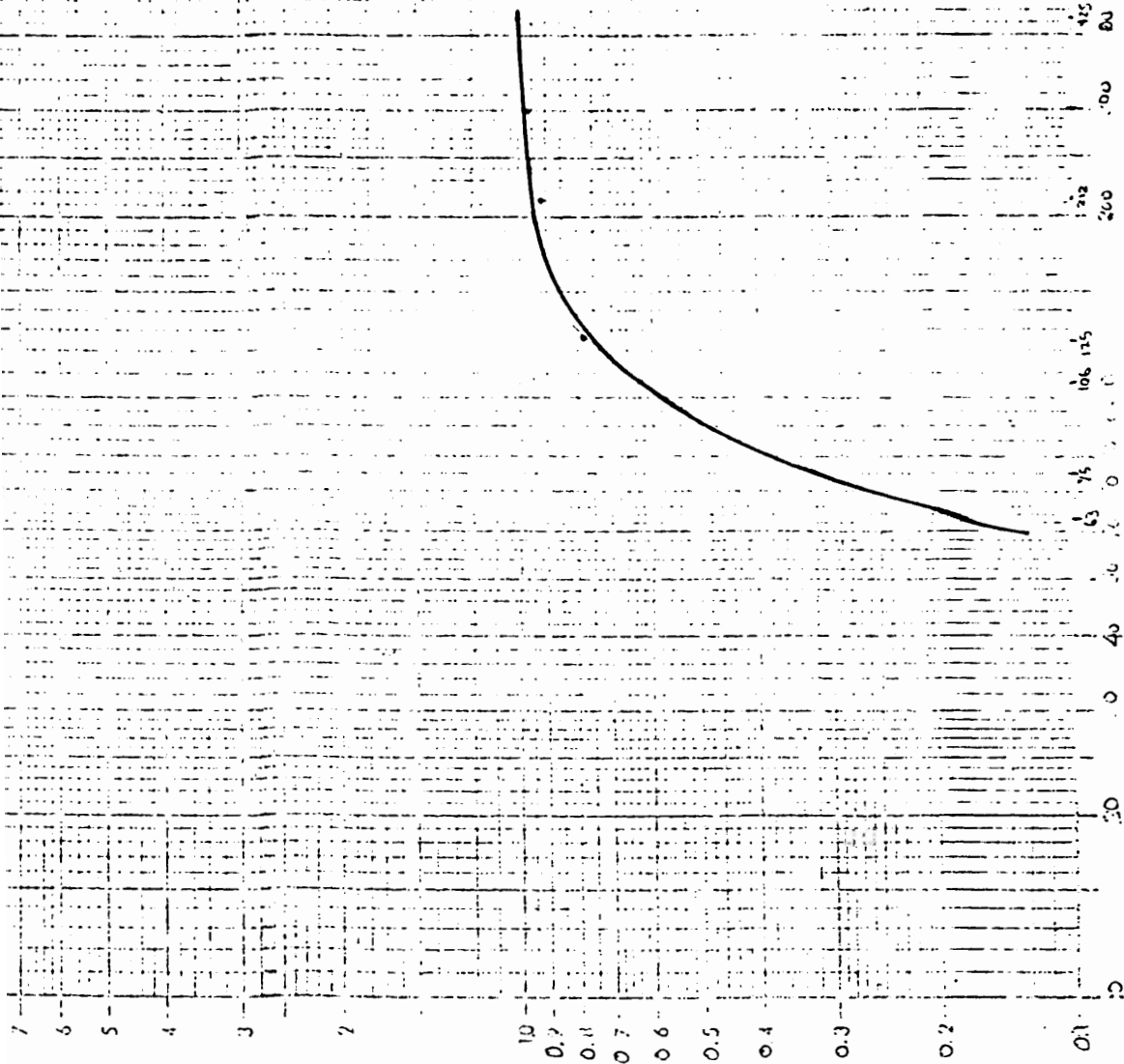
TABLA I
 DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA ELABORAR LA CURVA
 GRANULOMETRICA

TAMIZ (Mesh)	TAMIZ (μm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	$\Delta W_i/W$	F3(d)
40	425	48	48	0.032	0.999
50	300	66	114	0.044	0.968
70	212	210	324	0.141	0.923
120	125	232	556	0.155	0.782
140	106	455	1011	0.305	0.628
200	75	233	1244	0.156	0.322
230	63	92	1336	0.062	0.166
-230		156	1492	0.104	0.104



BIBLIOTECA

CURVA GRANULOMETRICA DE LAS MEVAS DE PONCE ENRIQUEZ



2.- Cálculo de los tenores de oro y plata en las diferentes granulometrías

a.- Se les hacen ensayos al fuego a los retenidos parciales y al retenido en el fondo, de la siguiente manera :

- Tostar (500°C) por 30 minutos, 40 ó 50 gramos de muestra. Esto se lo hizo porque la muestra contenía muchos sulfuros y era necesario oxidarlos.

- Preparar la siguiente carga fundente:

- 60 gr. de litargirio (PbO).

- 15 gr. de bórax

- 5 gr. de sílice

- 3.5 gr. de harina

- gr. de muestra que quedan de la tostación

- el mismo peso anterior de CO_3Na_2

- Se funde la carga a 1100°C , hasta obtener un botón de plomo, se copela a 800°C hasta obtener un doré, se pesa, se lo ataca con ácido nítrico proporción 1:7 para disolver la plata, se incuarta si todavía no se ha disuelto toda la plata, se pesa, se hacen los cálculos.

b.- se tabulan datos (tabla II), y se elabora

un histograma de frecuencias (figura 3.2)
de tenores de oro y plata.

TABLA II

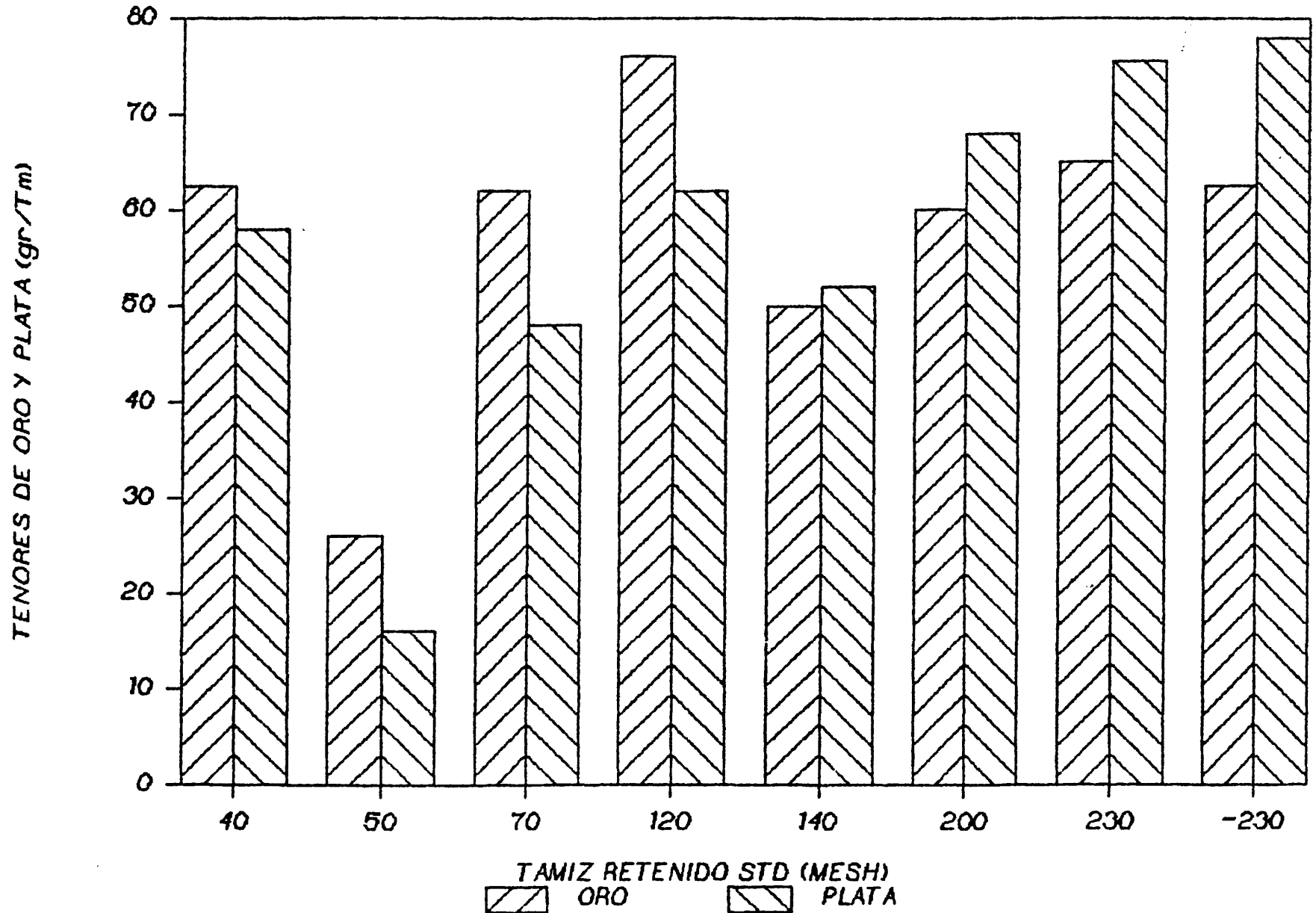
RESULTADOS DE ENSAYOS AL FUEGO PARA EL CALCULO
DEL TENOR DE ORO Y PLATA EN LOS TAMICES

TAMIZ (MESH)	DORE (gr)	PESO ORO (mg)	PESO PLATA (mg)	TENOR ORO (gr/Tm)	TENOR PLATA (gr/Tm)
40	4.9	2.5	2.4	62.5	58.0
50	2.2	1.3	0.9	26.0	16.0
70	5.6	3.1	2.5	62.0	48.0
120	7.0	3.8	3.2	76.0	62.0
140	5.2	2.5	2.7	50.0	52.0
200	5.2	2.4	2.8	60.0	68.0
230	5.7	2.6	3.1	65.0	75.5
-230	5.7	2.5	3.2	62.5	78.0



TENORES DE ORO Y PLATA

DE DIFERENTES TAMICES FIG. 3.2



- 3.- Cálculo de la densidad aparente del material que se va a someter a cianuración
- a.- Se pesaron en una balanza de precisión, 150, 10, y 5 gramos de muestra pasante 10 mesh; 150 gramos de -150 mesh; y 150 gramos de -200 mesh, de las colas de amalgamación de Ponce Enriquez.
- b.- Se agregó una cierta cantidad de agua destilada dentro de un cilindro volumétrico y se anotó la lectura del volúmen inicial.
- c.- Se agregó la cantidad de material pesado al cilindro, se anotó la lectura del volúmen final.
- d.- Se restó el volúmen final menos el inicial, y se obtuvo el volúmen desplazado por el material.
- e.- Se realizó el cálculo de la siguiente manera :

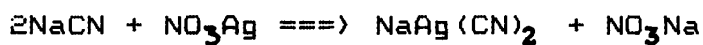
$$\text{Dens. apar. (Da)} = \frac{\text{Peso del material (W)}}{\text{Volúmen desplazado (V)}}$$

f.- La densidad aparente promedio que se obtuvo fue : 4.55 Tm/m³.

4.- Titulación de soluciones cianuradas

a.- Titulación de Cianuro

Se hace la titulación de Cianuro de Sodio (NaCN) con Nitrato de Plata (NO₃Ag), y la reacción que se da es la siguiente :



Esta ecuación nos indica que una mol de NO₃Ag reacciona con dos moles de NaCN, para dar un complejo de cianuro de plata y sodio más nitrato de sodio.

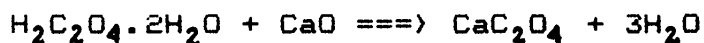
El proceso de titulación es el siguiente :
Se coloca en una bureta la solución de NO₃Ag (titulador) de molaridad conocida. En una fiola o vaso de precipitación se coloca un volumen conocido de la solución de cianuro, y a la cual se le añaden 2 ó 3 gotas de rodanina al 0.03% como indicador (también se puede utilizar yoduro de potasio al 5%). Se agita la solución de

NO_3Ag , se detiene la titulación hasta el primer cambio de color, de rojo salmón a lila. Se mide en la bureta el consumo de NO_3Ag y se calcula la concentración de cianuro con la siguiente ecuación :

$$2 * [\text{NO}_3\text{Ag}] * \text{Vol. NO}_3\text{Ag} = [\text{NaCN}] * \text{Vol. NaCN}$$

b.- Titulación de cal

Se hace la titulación de cal (CaO) con Acido Oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), y la ecuación es la siguiente :

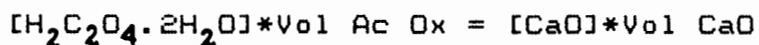


Esto es, una mol de ácido oxálico reacciona con una mol de cal y dá como resultado, una mol de CaC_2O_4 más 3 moles de agua.

El proceso de titulación es como sigue :

Se coloca en una bureta la solución de ácido oxálico de concentración conocida (titulador), en una fiola se coloca un volúmen conocido de solución de cal, y a la cual se le agrega una gota del indicador fenolftaleína. Esta se agita

mientras se gotea el ácido oxálico desde la bureta; se detiene la titulación cuando se dá el primer cambio de color, de morado a transparente. Se mide el volúmen consumido en la bureta y se calcula la concentración de cal con la siguiente ecuación :



5.- Preparación de la mena para la cianuración por agitación

Aquí se hacen los cálculos para determinar el peso de sólidos y el volúmen de líquido que se debe ingresar al tanque de agitación, en base a una densidad de pulpa dada. El cálculo es el siguiente :

$$0.4 = \frac{W_s}{W_s + W_l} \implies 0.6 * W_s = 0.4 * W_l \implies$$

$$W_l = 1.5 * W_s$$

$$V_p = V_s + V_l \implies V_p = \frac{W_s}{D_a} + \frac{W_l}{D_l}$$

Donde :



$\emptyset.4$ = Densidad de pulpa D_p

W_s = peso de sólidos

W_l = peso de líquido

V_p = volúmen de pulpa

V_s = volúmen de sólidos

V_l = Volúmen de líquido

D_a = densidad aparente = 4.55 Tm/m^3

D_l = densidad de líquido = 1.0 Tm/m^3

Los resultados que se obtuvieron fueron :

En las botellas de agitación :

$$V_p = 3500 \text{ cm}^3 = 0.0035 \text{ m}^3$$

$$W_s = 2 \text{ Kg}$$

$$V_l = 3 \text{ L}$$

En el tanque Pachuca :

$$V_p = 30 \text{ L} = 0.030 \text{ m}^3$$

$$W_s = 0.01742 \text{ Tm} = 17.42 \text{ Kg}$$

$$W_l = 26.13 \text{ Kg} = 26.13 \text{ L}$$

Además se colocaron 3 bolas de porcelana dentro de las botellas para hacer turbulencia en la agitación, este se lo deja destapado para permitir el ingreso de

Oxígeno. Después de 15 minutos de agitación, se toma una muestra de la pulpa para medirle el pH. Con este dato vamos a saber que cantidad aproximada de cal debemos de añadir para subir el pH a un valor requerido.



BIBLIOTECA

6.- Procedimiento empleado para recuperación de oro con cianuración por agitación

a.- Se colocan dentro del tanque o botella de agitación, el agua y los sólidos en la proporción adecuada para conseguir una densidad de pulpa del 40%. Se colocan dentro 3 bolas de porcelana para hacer turbulencia. Se deja destapado el mismo para que ingrese Oxígeno.

b.- A la botella de agitación se la coloca horizontalmente sobre rodillos que giran accionados por un motor; se midió la velocidad angular a la botella y fue de 56 r.p.m. Mientras tanto que al tanque Pachuca se le inyectó aire con un compresor, para agitar la pulpa.

c.- Después de 15 minutos de agitación, se

tomó una muestra y se le midió el pH, para saber cuanto de cal se debía agregar para elevar el pH.

d.- Se agrega una cierta cantidad de cal a la solución, y mantener la misma concentración de cal durante todo el proceso. Lo mismo se hace para mantener la concentración de cianuro, agregando lo que falta. Los datos para estos cálculos nos lo dan las titulaciones para cianuro y cal. Este control se hizo a ciertas horas determinadas durante 32 horas.

e.- Con los datos de consumo de cianuro y cal, se procede a elaborar las gráficas de consumos vs. tiempo. En las últimas pruebas también se incluyó el consumo de Nitrato de Amonio (NO_3NH_4), el cual se lo utilizó para reducir el consumo de cianuro.

f.- Terminada la cianuración, se procedió a hacer la recuperación por precipitación con plomo y zinc (método de Chiddey). En la prueba del Pachuca y en la última en botellas, se hicieron curvas de



BIBLIOTECA

recuperación de oro, aplicándoles el método de Chiddey cada ciertas horas.

g.- Método de precipitación con plomo y zinc (método de Chiddey).

La precipitación con el método de Pb-Zn, el Au y la Ag pueden ser precipitadas en una esponja de plomo que puede ser copelada.

Repartir un litro de solución preñada en dos beakers de 600 ml cada uno y aplicarles lo siguiente:

Calentar en un reverbero eléctrico y añadir lentamente 20 ml de acetato de Pb, 1 gramo de polvo de Zinc, mezcle y agite hasta llevarlo casi a ebullición. Añada despacio 30 ml de HCl en proporción 2:1 y continúe calentando por media hora hasta que cese el burbujeo, lo que indica que el zinc se ha disuelto. Entonces decante la solución con cuidado con el objeto de no perder ninguna partícula de Pb. Poner a secar el papel filtro donde se filtró la muestra (1).

Preparar la siguiente carga fundente para fundir el precipitado recogido en el papel filtro:

- 10 g SiO_2
- 20 g CO_3Na_2
- 37 g PbO
- 3 g harina
- 15 g bórax

Quemar el papel filtro y agregar este producto a la carga fundente.

Se somete a fundición por media hora y se saca el botón de plomo, este botón se copela y se obtiene el doré; Se ataca este con ácido nítrico proporción 1:7 para eliminar la plata. Si todavía el doré contiene plata se somete a incuación, proceso en el cual se le agrega a este 3 a 4 veces su peso en plata con la finalidad de realizar una buena refinación del mismo, es decir, obtener un oro de 24 kilates; este proceso se lo hace cuando la relación $\text{Ag}/\text{Au} < 4$.

3.1.2. Condiciones, resultados y análisis obtenidos
en las pruebas de laboratorio

3.1.2.1. Pruebas en botellas

Prueba # 1 :

a) Condiciones

[Ac. Oxálico] = 0.0026774 M

[AgNO₃] = 0.010204 M

[CaO] = 0.03% = 0.3 g/l

[NaCN] = 0.05% = 0.5 g/l

pH_o = 6.25

CaO (añadida) = 4 g

HORA_o = 7H55

Indicadores : rodanina (CN) y
fenolftaleína
(CaO).

Velocidad del tanque = 56 rpm.

b) Resultados

Tablas y gráficos.

TABLA III
 VARIABLE: CIANURO 0.05 % PRUEBA EN BOTELLAS

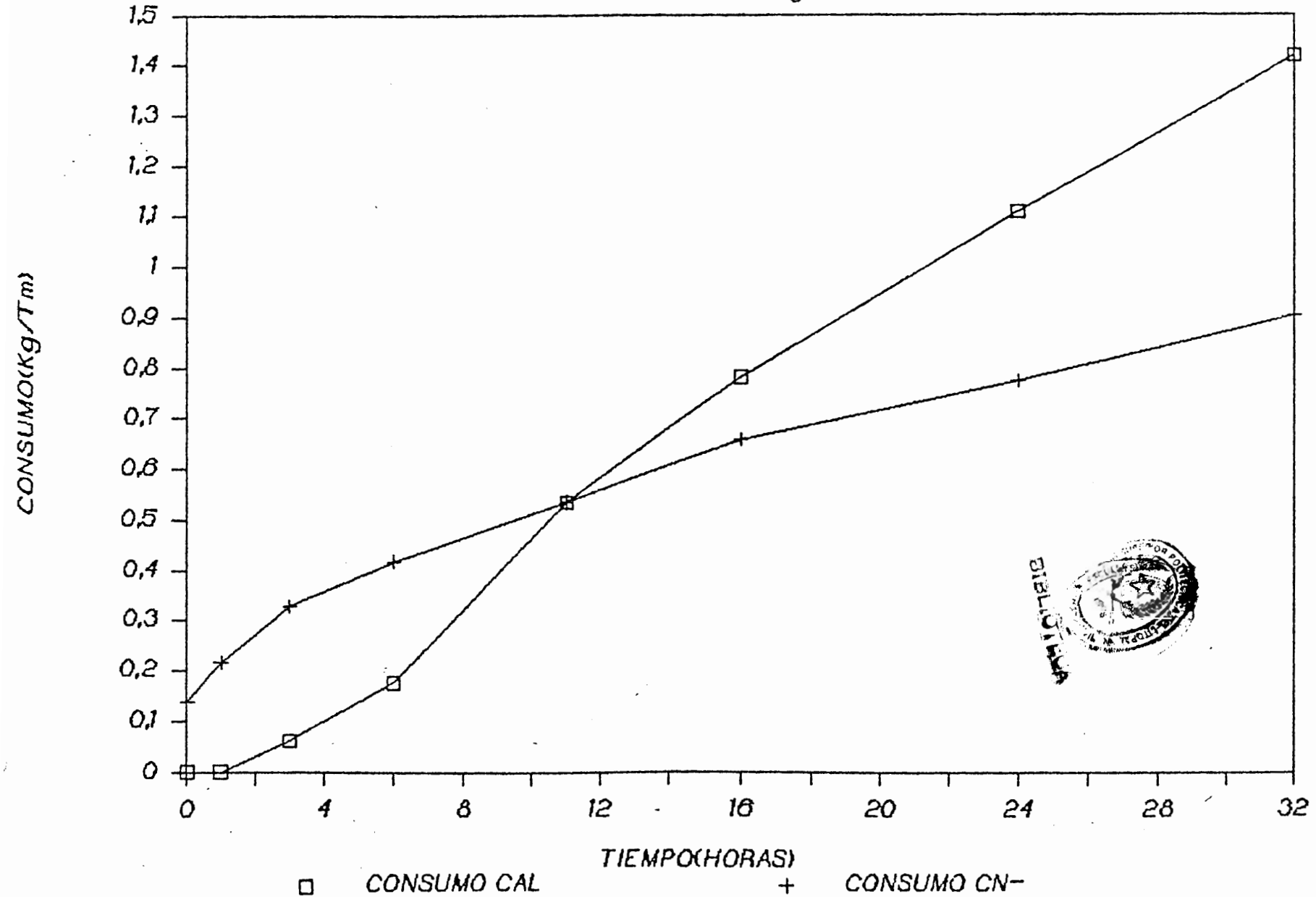
tiempo: (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.95	-----	-----	-----	-----	-----	1.500	3.000
8H30	10.9	10.50	0.315	-----	4.05	0.405	0.270	2.980
9H30	10.75	11.20	0.336	-----	4.50	0.450	0.148	2.965
11H	10.65	9.30	0.279	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 IV
 CONSUMO DE CIANURO Y CAL # 1

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

GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL Fig.# 3.3



c) Análisis de resultados

Del gráfico 3.3 se observa que en las primeras horas de cianuración, hay poco consumo de cianuro y cal (se podría decir que hasta las 12 horas), pero luego se da un alto consumo de ambos; esto es debido a que el cianuro, luego de lixiviar al oro, comienza a lixiviar impurezas que en su mayoría son sulfuros cianicidas, formando éstos un medio ácido, con lo cual se requiere también más consumo de cal. En la tabla IX se observa (en la solución 1) que el porcentaje de recuperación de oro, y trabajando a estas condiciones, es de 86.7% que es un buen resultado, lo cual se puede asegurar que estas condiciones de trabajo, son muy buenas para cianurar estas menas.

Prueba # 2 :



BIBLIOTECA NACIONAL DE MEXICO

a) condiciones

[Ac. Oxálico] = 0.0026774 M

[AgNO₃] = 0.010204 M

[CaO] = 0.03% = 0.3 g/l

[NaCN] = 0.03% = 0.3 g/l

pH_o = 6.20

CaO (añadida) = 3 g

HORA_o = 7H30

Indicadores : Yoduro de potasio
(CN) y
fenolftaleína
(Cal)

Velocidad del tanque : 56 rpm

b) Resultados

Tablas y gráficos

TABLA V
 VARIABLE: CIANURO 0.03 % PRUEBA EN BOTELLA

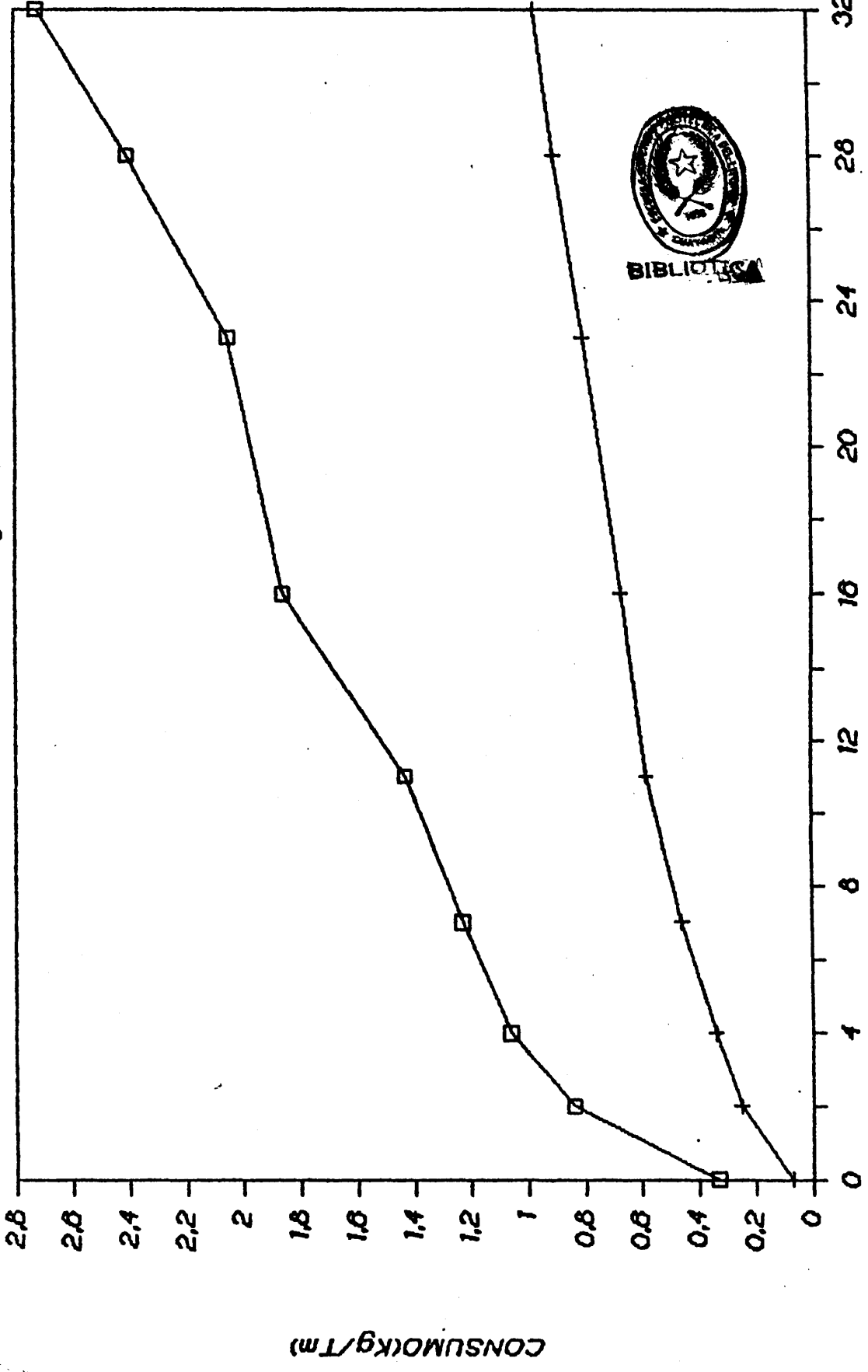
tiempo (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.75	---	---	---	---	---	0.900	3.000
8H30	10.45	6.35	0.191	0.658	5.00	0.249	0.148	2.955
10H	10.40	4.25	0.128	1.026	3.60	0.179	0.351	2.925
12H	10.65	7.55	0.226	0.433	4.70	0.235	0.188	2.900
15H	10.50	6.00	0.180	0.345	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
20H00	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

TABLA VI
 CONSUMO DE CIANURO Y CAL # 2

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

GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL Fig.# 3.4



□ CONSUMO CN-
 + CONSUMO CAL

c) Análisis de resultados

en esta prueba, aunque el pH se mantuvo de promedio en 10.5 (tabla V) como en la prueba anterior, el porcentaje de recuperación de oro disminuyó al 70.0% (tabla IX); esto es, se bajó la concentración de cianuro del 0.05% al 0.03%, lo que indica que en estas menas, al mantener el pH en 10.5, se necesita de una concentración de NaCN de 0.05% o un poco más para aumentar la recuperación de oro; es decir en esta prueba se mantuvo una baja concentración de cianuro. Al igual que en la prueba anterior, se observa en la gráfica 3.4, que el tiempo de cianuración debe ser de aproximadamente 12 horas, porque luego de este tiempo se comienza a consumir más cianuro y cal, lo que indica que se comienzan a disolver impurezas.

prueba # 3 :

a) condiciones

[Ac. Oxálico] = 0.0026774 M

[AgNO₃] = 0.010204 M

[CaO] = 0.03% = 0.3 g/l

[NaCN] = 0.10% = 1.0 g/l

pH₀ = 6.20

CaO (medida) = 3 g

HORA₀ = 7H30

Indicador : yoduro de potasio y
fenolftaleína

Velocidad del tanque : 56 rpm

b) Resultados

Tablas y gráficos



CHILE

TABLA VII

VARIABLE: CIANURO 0.1 % PRUEBA EN BOTELLA

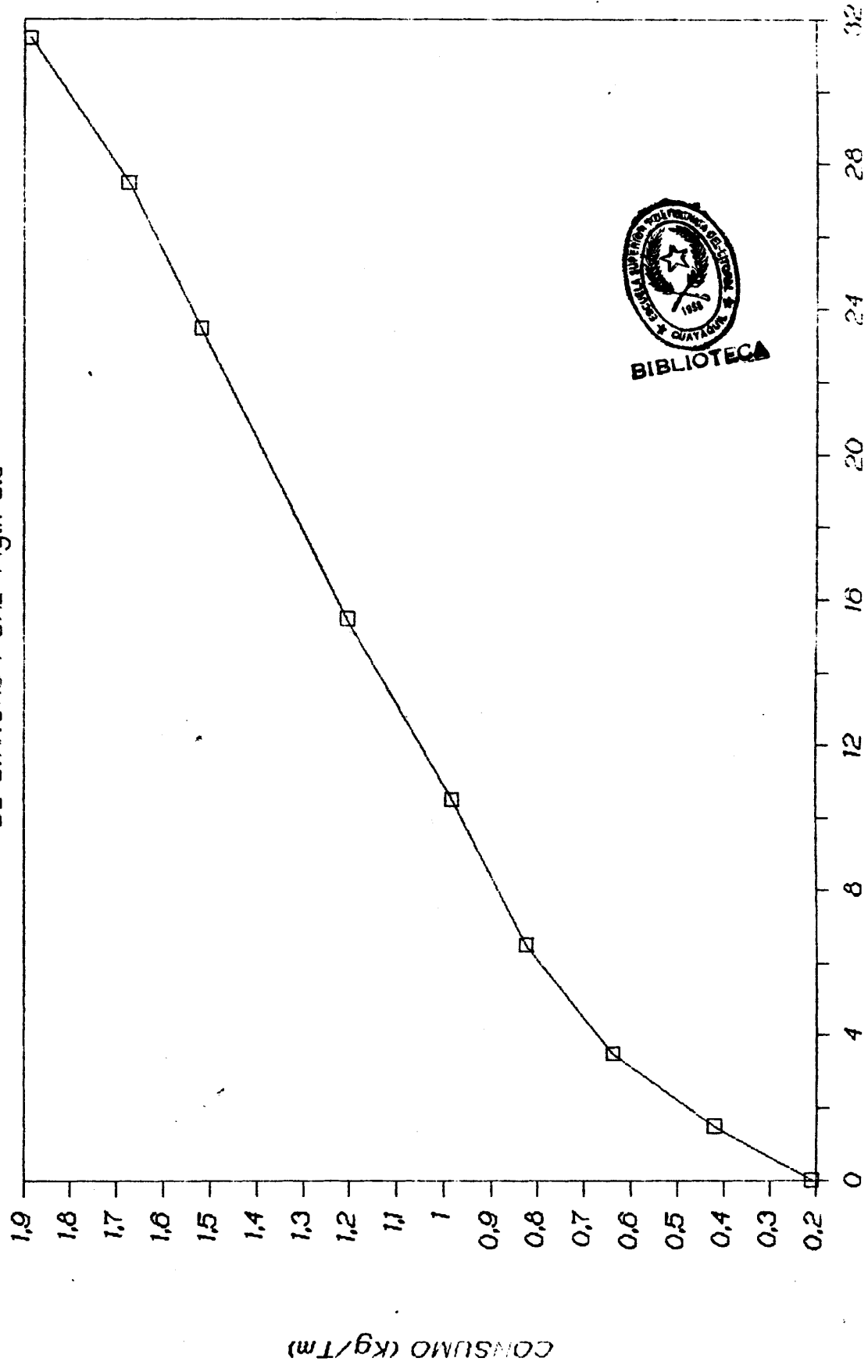
tiempo (H)	pH	Lect. Ac.Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Adc. CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Adc. NaCN (g)	Vol. Sol. (l)
8H00	10.55	---	---	---	---	---	1.000	3.000
8H15	9.85	17.50	0.523	---	---	---	---	2.995
8H30	---	---	---	---	21.50	0.859	0.416	2.970
10H	10.30	15.20	0.456	---	8.50	0.849	0.425	2.940
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
10H00	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 VIII
 CONSUMO DE CIANURO 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

GRAFICA DE CONSUMO

DE CIANURO Y CAL Fig.# 3.5



TIEMPO (HORAS)
CONSUMO

TABLA IX

RECUPERACION DE ORO Y PLATA DE SOLUCIONES Y COLAS

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.

c) Análisis de resultados

Se podría decir que éstas son las condiciones óptimas de trabajo, porque de acuerdo a la tabla IX, el porcentaje de recuperación de oro es de 95.9%, pero a diferencia de las pruebas anteriores, se mantuvo el pH próximo a 10 (tabla VII) y se aumentó la concentración de cianuro a 0.10%. Además manteniendo este pH bajo, se consiguió eliminar el consumo de cal (fig. 3.5).

Así mismo, luego de 12 horas de cianuración, aumenta el consumo de cianuro por disolución de impurezas (fig. 3.5).

Prueba # 4 :**a) condiciones**

[Ac. Oxálico] = 0.0026774 M

[NO₃Ag] = 0.010204 M

[CaO] = 0.2% = 2.0 g/l

[NaCN] = 0.05% = 0.5 g/l

[NO₃NH₄] = 0.1% = 1.0 g/l

CaO (añadida) = 3.0 g/l

pH₀ = 6.20

velocidad del tanque = 40 rpm

Densidad de pulpa = 40%

Volumen de pulpa = 3500 cm³

HORA₀ = 8H00

b) Resultados

Tablas y gráficos.

TABLA X

CONTROL DE SOLUCIONES EN AGITACION EN BOTELLAS

Tiempo: (H)	PH	Ac Ox. (ml)	CaO (g/l)	CaO (g)	AgNO ₃ (ml)	NaCN (g/l)	NaCN (g)	NH ₄ ⁺ (ppm)	NO ₃ NH ₄ (g/l)	NO ₃ NH ₄ (g)	NO ₃ NH ₄ (g)	Sal. (l)
8:30	9.45	9.9	0.297	5.10	2.7	0.18	0.96	3.35	0.84	0.50	3.000	
10:30	11.05	24.0	0.720	3.17	3.4	0.23	0.68	0.80	0.70	0.90	2.473	*
12:30	11.25	14.4	1.080	2.27	2.9	0.19	0.75	0.80	0.20	1.96	2.451	
15:00	11.15	11.6	0.870	2.18	2.8	0.19	0.61	0.55	0.14	1.70	1.929	*
19:00	11.15	12.5	0.937	2.05	2.8	0.19	0.60	0.00	0.00	1.929	1.929	*
24:00	11.05	14.4	1.080	1.78	3.0	0.20	0.58	0.00	0.00	1.929	1.929	*
7:00	10.55	6.2	0.930	1.994	2.6	0.17	0.61	0.00	0.00	3.726	1.863	
12:00	10.20	8.6	1.289	1.320	3.2	0.21	0.53	0.00	0.00	3.716	1.858	*
16:00	9.85	12.2	1.829	0.228	3.8	0.25	0.33	0.58	0.14	2.48	1.336	*

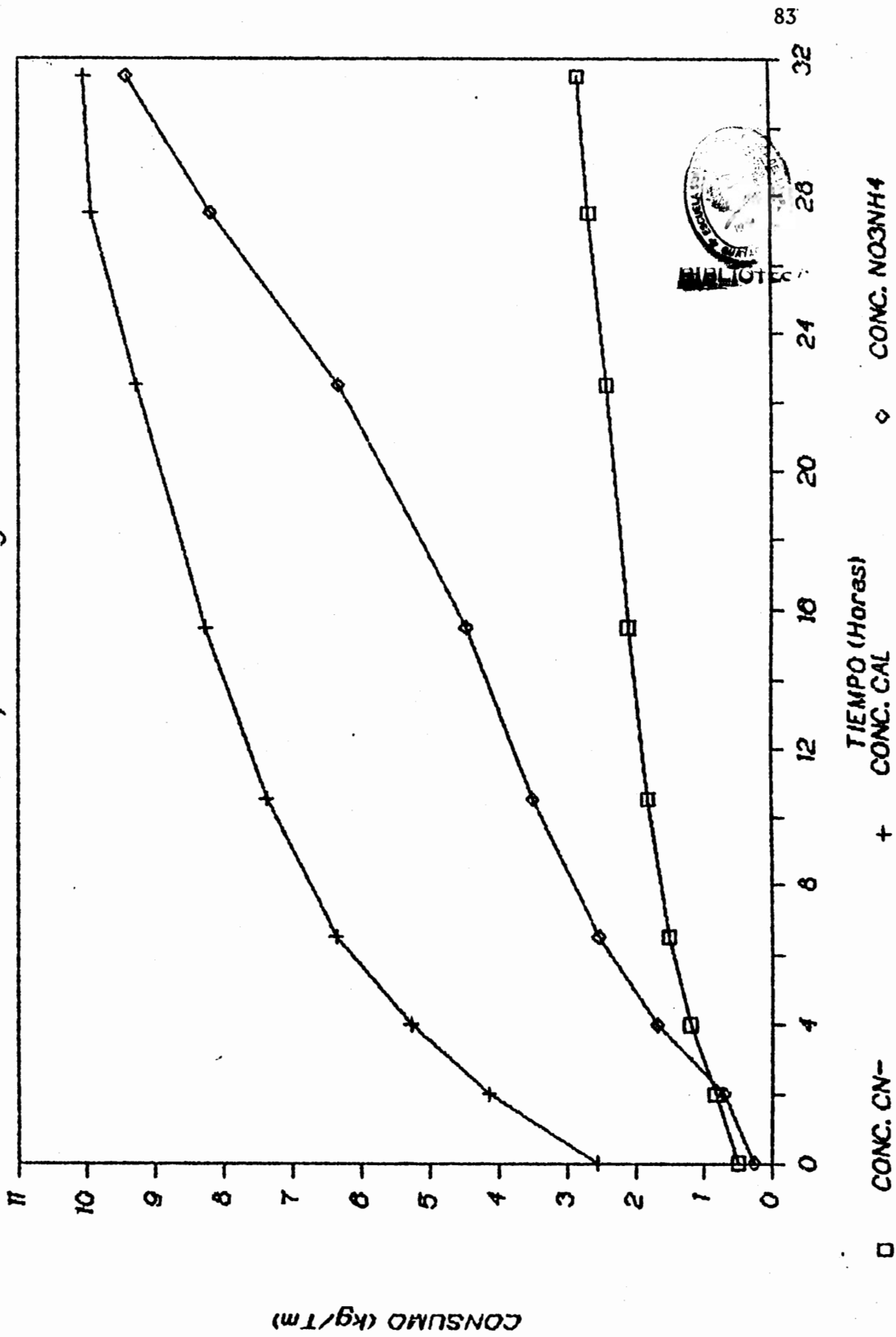
* Método de Chiddey
 @ [NO₃NH₄] = 2 g/l

TABLA XI
 CONSUMOS DE CIANURO, CAL Y AMONIO

Tiempo (H)	NaCN (kg/Tm)	CaI (kg/Tm)	NO ₃ NH ₄ (kg/Tm)
0:00	0.48	2.55	0.25
2:00	0.82	4.14	0.70
4:00	1.19	5.27	1.68
6:30	1.50	6.36	2.53
10:30	1.80	7.38	3.49
15:30	2.09	8.27	4.46
22:30	2.40	9.27	6.32
27:30	2.66	9.93	8.18
31:30	2.82	10.04	9.42

GRAFICA DE CONSUMOS

CN- CAL y NO3NH4. Fig. # 3.6

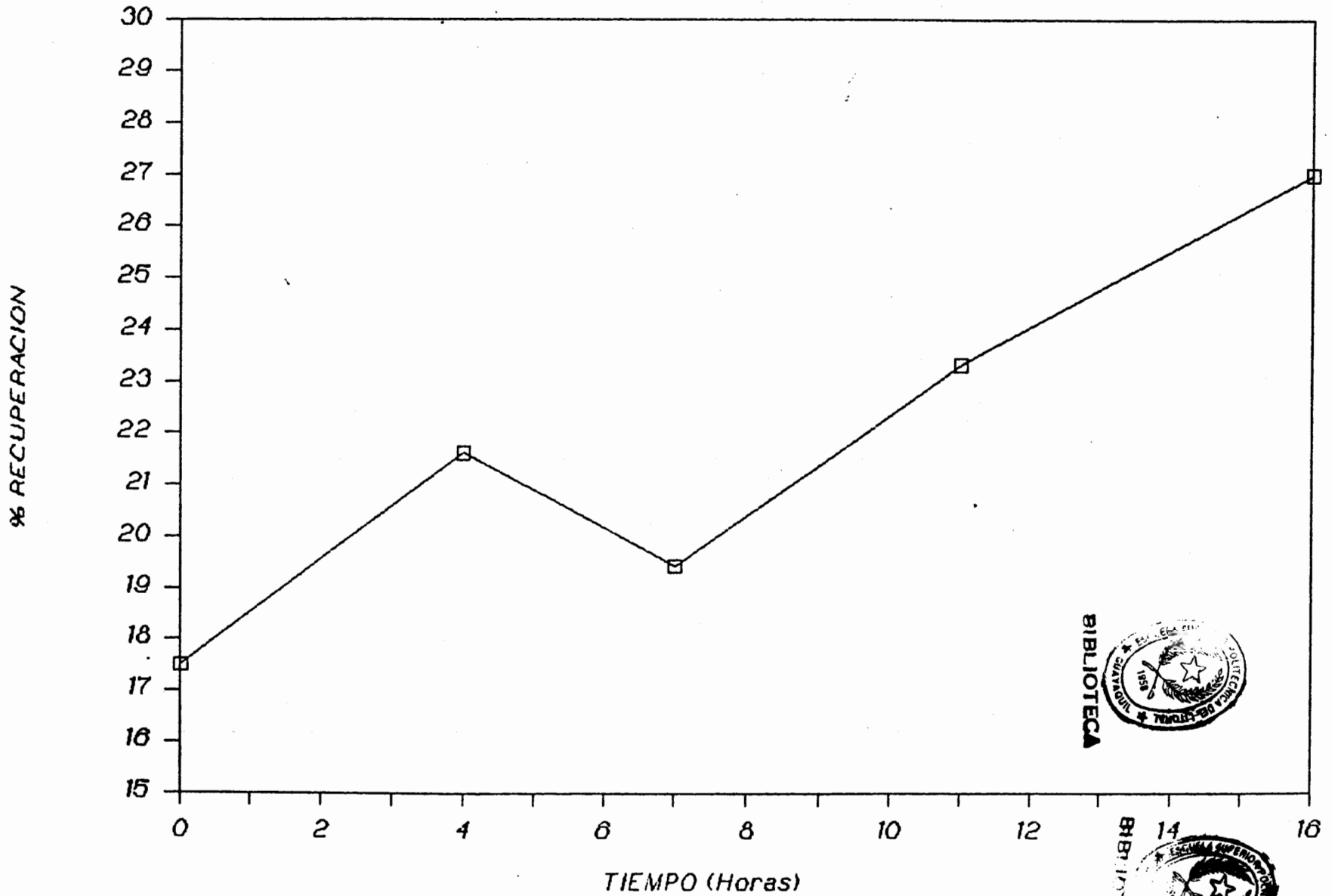


TABLAS XII
 RECUPERACION Y DISOLUCION DE ORO EN BOTELLAS

Tiempo (H)	Dore (mg)	% Oro Disuelto	% Oro Recuperado
0	3.8	12.38	17.50
4	4.8	15.31	21.60
7	4.4	13.74	19.40
11	5.4	16.49	23.30
16	6.4	19.11	26.98

GRAFICA DE RECUPERACION DE ORO

(BOTELLAS) FIG. 3.7



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA



c) Análisis de resultados

En esta prueba se incluyó un nuevo parámetro, nitrato de amonio (NO_3NH_4) el cual forma complejos con algunos cianocidos como el cobre y algunos sulfuros, y con esta sustancia se consigue una disminución en el consumo de cianuro, pero, la concentración que se utilizó en esta prueba fue muy alta, de tal forma que se disolvieron impurezas que perjudicaron la perfecta lixiviación del oro, de allí sus bajos porcentajes de recuperación (fig. 3.7), aunque se utilizaron las condiciones de la prueba 2 que tuvo una buena recuperación (excepto en el pH que se trató de mantenerlo en 11) y por consiguiente hubieron altos consumos de cianuro y cal.

3.1.2.2. Prueba en el tanque Pachuca

a) Condiciones

 $[\text{Ac. Oxálico}] = 0.0026774 \text{ M}$ $[\text{NO}_3\text{Ag}] = 0.010204 \text{ M}$ $[\text{CaO}] = 0.03\% = 0.3 \text{ g/l}$ $[\text{NaCN}] = 0.05\% = 0.5 \text{ g/l}$ $[\text{NO}_3\text{NH}_4] = 0.1\% = 1.0 \text{ g/l}$ $\text{pH}_0 = 9.55$ $\text{CaO (añadida)} = 20 \text{ g}$ $\text{NaCN (añadido)} = 13.1 \text{ g}$ $\text{NO}_3\text{NH}_4 \text{ (añadido)} = 26.13 \text{ g}$

Velocidad del tanque = 40 rpm

Densidad de pulpa = 40%

Volumen de pulpa = 0.030 m³

b) Resultados

Tablas y gráficos.

TABLA XIII

CONTROL DE SOLUCIONES EN EL TANQUE PACHUCA

Tiempo (H)	Lect. Ac Ox. (ml)	Conc. CaO (g/l)	Añadir CaO (g)	Lect. AgNO3 (ml)	Conc. NaCN (g/l)	Añadir NaCN (g)	Lect. NH4+ (ppm)	Conc. NO3NH4 (g/l)	Añadir NO3NH4 (g)	Vol. Sol. (l)
8:00	9.55									
8:30	9.00	0.198	2.7	2.6	0.26	6.27				26.11
9:15	9.25	0.318		5.2	0.35	4.00	4.1	0.82	4.70	26.09
10:15	9.15	0.282	0.463	5.1	0.34	4.09				25.52 *
12:15	9.20	0.249	1.263	4.7	0.31	4.67	3.1	0.62	9.50	24.995 *
15:15	9.00	0.186	2.792	3.8	0.25	6.04	0.98	0.196	19.67	24.470 *
19:15	8.75	0.189	2.658	3.8	0.25	5.90	0.86	0.173	19.80	23.930 *
21:30	8.50	0.219	6.73 (CaO=0.5 g/l)							23.925
24:15	8.80	0.279	16.87	4.0	0.27	5.46	0.53	0.105	20.94	23.400 *
[CaO] = 1 g/l										
7:15	8.75	0.240	29.46	3.7	0.25	5.92	1.85	0.370	14.73	23.375
12:15	9.65	0.417	24.70	5.7	0.38	2.74	0.96	0.193	18.45	22.850 *
16:00										

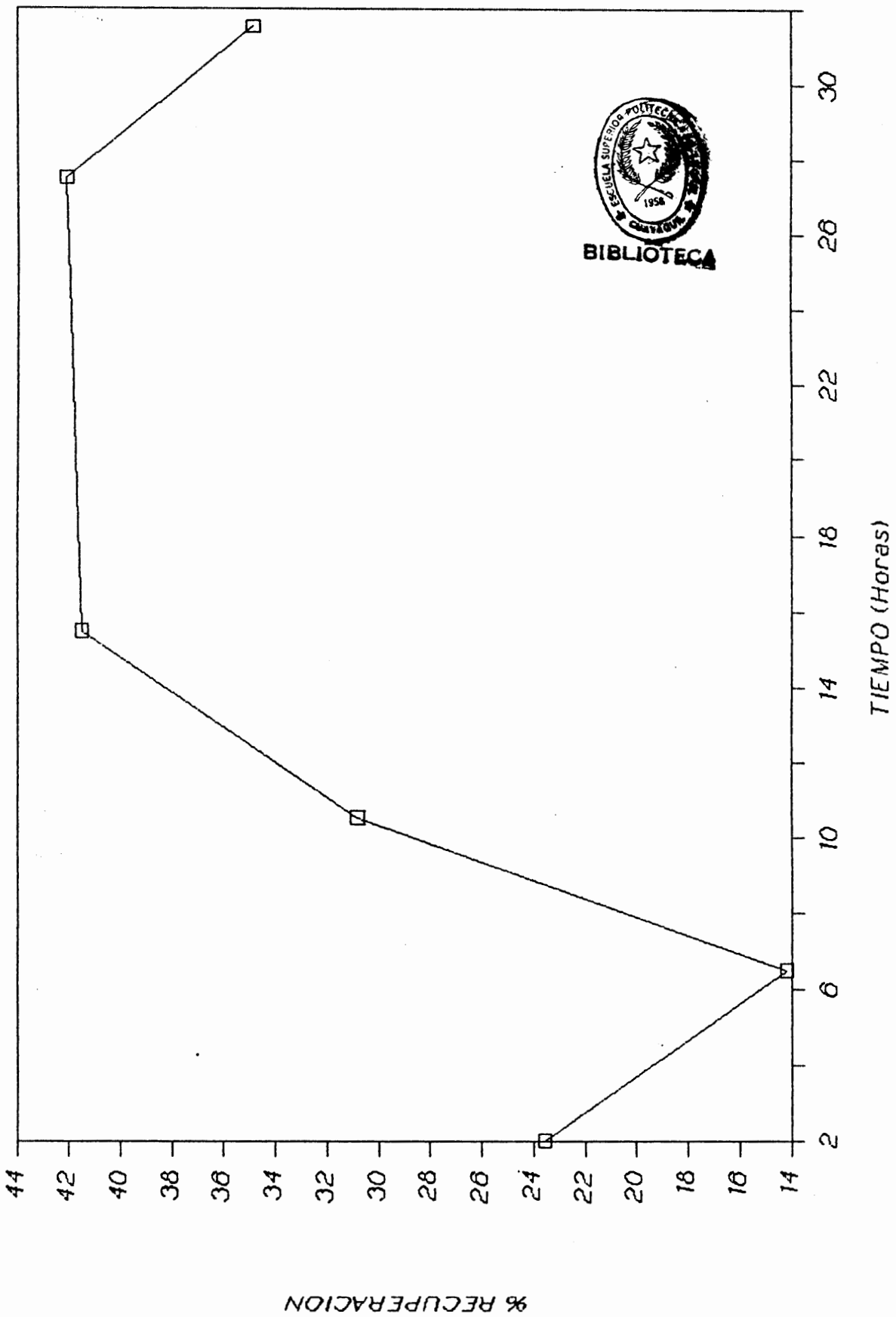
* Método de Chiddey

TABLA XIV
 RECUPERACION Y DISOLUCION DE ORO EN PACHUCA

Tiempo (H)	Dore (mg)	% Disuelto	% Oro	% Recuperado
2:00	6.1	17.88		23.57
6:30	4.7	10.62		14.17
10:30	8.1	23.13		30.84
15:30	11.0	31.13		41.51
27:30	14.5	31.56		42.10
31:30	16.7	26.15		34.86

GRAFICA DE RECUPERACION DE ORO

(PACHUCA) FIG. 3.8



c) Análisis de resultados

De la gráfica de recuperación de oro (fig. 3.8), se observan bajas recuperaciones de oro en solución, esto se debió porque hubo una gran parte de pulpa que se asentó en el fondo del tanque y no se pudo lixiviar. Entonces se puede decir que la presión de aire de este tanque pachuca no es apropiada para levantar y agitar toda la pulpa, que está compuesta por una mena de alta densidad (4.55 Tm/m^3) que es mucho mayor que la del agua (1.0 Tm/m^3), debido a lo cual también se produjo el asentamiento.

CAPITULO IV

ELIMINACION DEL CIANURO CONTENIDO EN AGUAS RESIDUALES

Es conocido que los desechos industriales que contienen cianuro originan serias alteraciones ecológicas. En el caso de la hidrometalurgia del oro y plata, donde se utiliza el cianuro para la lixiviación, este problema al igual que el que origina el mercurio en los procesos de amalgamación, debe ser considerado dentro del estudio global del proyecto, con las implicaciones que esto significa en los costos operativos y de capital.

No todas las plantas de cianuración presentan el mismo grado de severidad del problema. Las plantas heap leach presentarán mínimas dificultades con los residuos de cianuro al tener sus circuitos cerrados.

Las plantas que operan con los procesos de carbón en pulpa, carbón en lixiviación o lixiviación y lavado en contra corriente (CCD), eliminarán pulpas que en todos los casos tendrán apreciables contenidos de cianuro y sus complejos presentes en la fase acuosa. A esto deberá añadirse las soluciones que provienen de la precipitación de oro y plata con polvo de zinc que según los casos, deberán eliminarse parcial o totalmente.



Los compuestos en que se presenta el cianuro en las aguas residuales, son complejos de metales, tales como el $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ y $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ que aparecen debido a la lixiviación de minerales de cobre y zinc, o en el caso de éste último, durante la etapa de precipitación de oro y plata por el proceso Merrill Crowe.

Adicionalmente, las aguas residuales contendrán iones libres (CN^-) y el anión SCN^- que aparece por un mecanismo aún no precisado, pero que se supone depende de la reacción de productos de oxidación del sulfuro con cianuro libre.

4.1. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE SOLUCIONES RESIDUALES DE CIANURO

Estos procesos se pueden clasificar en dos grupos :

- a) Procesos de regeneración del cianuro.
- b) Procesos de destrucción del cianuro.

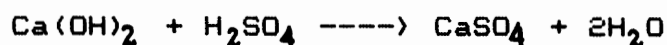
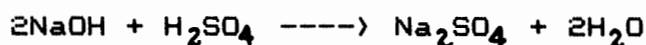
4.1.1. Regeneración del cianuro

consiste en acidificar las soluciones alcalinas residuales de cianuración para formar el ácido cianhídrico, que en una segunda etapa reaccionará con el hidróxido de

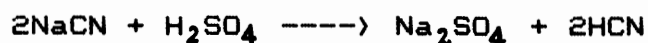
sodio formando el cianuro de sodio. Las principales reacciones son las siguientes :

a) Primera etapa : Acidificación

- Neutralización de álcalis.



- Cianuro libre :



Se da también acidificación de complejos de cobre y zinc.

Otras reacciones secundarias o intermedias pueden ocurrir como las que originen precipitación de hidróxidos de zinc, hierro, productos de oxidación del azufre, etc.

Las reacciones de precipitación de iones metálicos son importantes, ya que las aguas residuales deben ser evacuadas libres de estos iones. El cobre precipita entre pH 6.0 y 2.5,



mientras que el zinc lo hace entre 5.0 y 7.0.
(5).

b) Segunda etapa : Regeneración del cianuro de sodio.

El ácido cianhídrico formado se adsorbe sobre una solución de hidróxido de sodio, reaccionando según el siguiente mecanismo :



Los procesos prácticos de regeneración de cianuro, pueden utilizar SO_2 en lugar de ácido sulfúrico y soluciones de cal por hidróxido de sodio. El ácido cianhídrico producido será extraído de los tanques reactores mediante insuflación de burbujas de aire finamente diseminadas por la solución. Luego el aire conteniendo el ácido cianhídrico pasará a otro reactor (torre de adsorción), donde reaccionará con la solución alcalina de hidróxido de sodio. La recuperación del cianuro por este proceso es alta, pudiendo llegar por encima del 95% del ácido cianhídrico producido.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL LITORAL



BIBLIOTECA

A pesar de ello, la principal dificultad de la aplicación de este método industrial, es el manejo de una sustancia tan tóxica como el ácido cianhídrico, el cual deberá ser eficientemente colectado de los tanques de acidificación e igualmente inyectados a las columnas de adsorción. Cualquier fuga resulta gravísima y los equipos utilizados son por este motivo altamente sofisticados.

4.1.2. Destrucción del cianuro

Estos procesos son más frecuentemente utilizados para la eliminación del ión cianuro contenido en aguas residuales. A continuación se citan los más importantes :

4.1.2.1. Clorinación

Este método es el de uso más difundido. Se efectúa por adición de un hipoclorito o bien cloro gaseoso e hidróxido de sodio. La oxidación del cianuro tiene lugar por acción del hipoclorito según la reacción :



El pH de la solución debe ser mantenido sobre 10 para evitar la liberación de un compuesto altamente tóxico, el CNCl que es un producto intermedio de la oxidación.



El ión cianato (CNO^-) producido no se considera muy tóxico, pero también puede ser destruido con mayor cantidad de hipoclorito. El hipoclorito también reacciona con el sulfocianuro (SCN^-).

En los procesos industriales se prefiere usar hipoclorito al cloro gaseoso, por ser este último más peligroso y de difícil manipuleo, aunque más barato. Estos procesos generalmente se realizan en dos tanques. En el primero se lleva a cabo la reacción de oxidación del cianuro, mientras que en el segundo se realiza un ajuste de pH, de manera de favorecer la reacción de destrucción del cianato. Los consumos de hipoclorito para las dos etapas están en el orden de 4.3 libras por

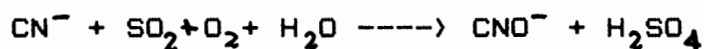


libra de cianuro tratada, mientras que para la primera etapa únicamente se requiere 1.8 libras aproximadamente.

El tratamiento de clorinación en general es eficiente, aunque su costo muchas veces resulta elevado.

4.1.2.2. Proceso de oxidación con SO_2 y Aire.

Es un proceso recientemente inventado por G.J. Borbely, y consiste en la oxidación del ión cianuro y sus complejos metálicos por una mezcla de aire y SO_2 por la reacción :



La cual debe ser catalizada por iones cobre.

Los autores del proceso sostienen que presenta las siguientes ventajas :

- Destrucción del cianuro libre y de sus complejos, inclusive los de



hierro.

- Bajo contenido de cianuro en la solución tratada (> 1 mg/lt).
- Bajo consumo de reactivo, esto es 3g de SO_2 /g de CN .
- Elevada cinética a temperatura ambiente.
- El sulfo cianuro será muy poco oxidado a condiciones recomendadas: pH entre 9 y 10, temperatura aproximada de 20°C , concentración de SO_2 de 1 a 3% y potencial de 110 mV aproximadamente.

El proceso ha probado ser también eficiente para eliminar iones metálicos de Zn, Fe, Ni, Cu.

Otros procesos de oxidación de los iones cianuro son : la ozonización que sería más efectivo y mucho más costoso que la clorinación. En fin los tratamientos mediante aldehído,

almidón, intercambio iónico por resinas y radiaciones gamma, que por requerir cierta sofisticación tienen aplicaciones restringidas (5).

Un método fácil y rápido de determinar las concentraciones de cianuro en aguas residuales se da en el anexo B.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Culminado el presente trabajo, se han llegado a las siguientes conclusiones:

1. Según la tabla I de resultados se observa que el mayor contenido de oro y plata se lo obtiene en el tamiz 120 M donde en los ensayos pirometalurgicos obtenemos un alto tenor.
2. Esta prueba es muy útil porque al hacer un ensayo al fuego a cada retenido parcial podremos saber en el tenor de oro y plata de cada fracción y podremos saber en que granulometría se encuentra la mayor concentración de estos metales, para llevar las colas a ese tamaño y cianurar para obtener valores altos de los metales económicos.
3. En el cálculo sencillo de la densidad aparente de un material nos proporciona un dato importante para saber que cantidad de material sólido y líquido debe agregarse al tanque de agitación dada una cierta densidad de pulpa.
4. Es preciso anotar que debe dársele más credibilidad a los cálculos de densidades aparentes cuando



BIBLIOTECA

**BIBLIOTECA**

utilizamos más cantidad de material (más peso) que cuando utilizamos menos cantidad, debido a que con poca cantidad de material existe más posibilidad de error.

5. El tenor promedio de oro y plata en los diferentes tamices esta entre 60 y 65 gr/Tm, siendo su máximo en el tamiz 120 M, y su mínimo en el tamiz 50 M, esto nos da una pauta para saber a que granulometría podemos obtener la mayor recuperación del mineral y hacer su liberación a esa granulometría.
6. De acuerdo a la tabla IX vemos que en la cianuración # 3 se produce el mayor % de recuperación de oro (más del 90%), que es excelente para un proceso de cianuración, y además hay un porcentaje bajo de recuperación en sus colas, lo que nos indica que éstas podrían ser las condiciones óptimas de trabajo en las menas de Ponce Enriquez; esto es: concentración del cianuro mantenerla al 0.1 %, la de la cal 0.03 %, por un tiempo de 32 horas y una velocidad del tanque de 56 rpm. Además con estas condiciones de cianuración no habido necesidad del uso de la cal porque el pH se ha mantenido en rango aceptable y la concentración de cal siempre se mantuvo constante, debido a la presencia de calcita en la mena, como luego se lo pudo comprobar.

7. De todas maneras se debe de tener mucho cuidado en la prueba de cianuraci3n # 3, porque de acuerdo a su gr3fica se ve que el consumo de cianuro aumenta r3pidamente, pudiendo en cierto momento convertirse en una operaci3n antiecon3mica.

8. Para pruebas de cianuraci3n con NO_3NH_4 , se observa un aumento en el consumo de cianuro en las primeras horas, para despu3s tener una tendencia m3s o menos estable; esta estabilidad se conserva debido al aumento en el consumo de NO_3NH_4 , el cual aumenta en gran cantidad, debido a que en las 3ltimas horas se disuelven los cianicidas, y por tanto se necesita m3s cantidad de nitrato de amonio para formar complejos con cianicidas. Asi tambi3n el consumo de cal en las primeras horas es alto debido a que tenemos una pulpa muy 3cida, pero luego se aument3 la concentraci3n de cal en la mena y se pudo elevar el pH de la soluci3n.

9. Los valores bajos de recuperaci3n de oro que se ven en la tabla XIV para el tanque Pachuca, se debe a que en la prueba de laboratorio se observ3 un asentamiento de los limos; esto no permiti3 una lixiviaci3n completa de la mena ingresada a la pachuca; esto indica que el dise3o de inyecci3n de aire de este prototipo de Pachuca, no es suficientemente potente para levantar la mena que tiene una densidad

alta (4.55 Tm / m³) respecto a la del agua (1 Tm / m³).

10. En la gráfica de recuperación de oro en botellas, vemos que en las dos primeras horas tenemos una tendencia a aumentar la recuperación, para luego estabilizarse y finalmente disminuir porque ya no hay oro disuelto. Pero, todas las recuperaciones son bajas (la máxima es de 42.1 %), lo que nos indica que las condiciones iniciales de trabajo no son las adecuadas.

Recomendaciones:

1. De las conclusiones 1 y 2 se recomienda obtener una molienda 90 % pasante la malla 120 (125 μ m).
2. Se debe tener especial cuidado en las pruebas de cianuración, en no mantener el pH menor a 10, porque se puede desprender ácido cianhídrico el cual es muy tóxico.
3. Para el tipo de mena que se ha tratado en este proyecto, no es aconsejable mantener la concentración de nitrato de amonio mayor o igual a 0.1 % (1 g/l), porque con esta concentración se comenzaron a disolver impurezas y no se pudo lixiviar bien el oro, de allí las bajas recuperaciones.



4. En los tanques con inyección de ~~aire~~ ^{NOTECA} se debe controlar que la presión de aire sea lo suficientemente fuerte para que ésta levante la pulpa dando una buena agitación, y a la vez que no sea muy alta, de tal forma que no se produzca el rebose.
5. Si se tienen menas de alta densidad, se aconseja utilizar densidades de pulpa menores al 40% si es que se va a cianurar en el tanque pachuca, esto es para que no se produzca el asentamiento en el fondo del tanque, o bien moler el material a menos 200 M para que éste se pueda agitar más violentamente.
6. El tanque recomendado para menas muy densas (las cuales provocan asentamiento) debería ser del tipo Dorr, el cual posee inyección de aire y además un mecanismo de rastrillo para remover la pulpa.
7. Se recomienda hacer pruebas de percolación y determinar que porcentaje de recuperación se obtiene para ver la posibilidad de emprender un proyecto que sea más económico que los tanques de agitación.
8. En el proceso de cianuración debe ser considerado el impacto ambiental que se crearía en caso de no ser tratadas las aguas residuales. Es así que lo primero que hay que hacer es reciclar la solución de cianuro

para bajar su concentración y luego tratar esta última solución con hipoclorito de sodio, el cual es más fácil de manipular y no se necesita utilizar equipos sofisticados.

ANEXOS

ANEXO A



ELABORACION DE LA CURVA DE CALIBRACION PARA NITRATO DE AMONIO (NO_3NH_4) USANDO EL ESPECTROFOTOMETRO HACH DREL/5.

- a) Se procede a preparar los estandares de NO_3NH_4 (34.5% de pureza) para preparar la curva de calibración (Absorvancia vs. Concentración), con la cual se puede calcular la concentración de amonio en una solución.
- b) Se pesa 1 gramo de NO_3NH_4 y se lo enrasa con agua destilada, en un matrâz de 1000 ml. De esta forma se obtiene una solución patrón de 1000 ppm. *
- c) Se prepara una solución patrón de 10 ppm, de la siguiente manera : Se toman 10 ml de la solución patrón de 1000 ppm y se enrasa a 1000ml.
- d) Con la solución patrón de 10 ppm se preparan soluciones estandares de 1, 3, 5, 7 ppm de la siguiente manera : Se toman

10 ml.....se enrasa a 100 ml -----> 1 ppm
 30 ml.....se enrasa a 100 ml -----> 3 ppm
 50 ml.....se enrasa a 100 ml -----> 5 ppm
 70 ml.....se enrasa a 100 ml -----> 7 ppm

* En estas concentraciones no se está tomando en

cuenta la pureza del NO_3NH_4 (no son concentraciones reales). Por ejemplo, la solución estandar de 5 ppm, tiene una concentración real de : $5 * 0.345 = 1.725$ ppm.

e) Se proceden a hacer las mediciones en el espectrofotómetro HACH DREL/5, utilizando los kits (juego de reactivos) de la casa MERCK , de NH_4^+ , de la siguiente forma :

- | | |
|--|------------------------------|
| - Toma de muestra
($T^\circ = 20^\circ - 30^\circ\text{C}$) | 5 ml |
| - Añadir NH_4 -1B
(mezclar) | 0.65 ml |
| - Añadir NH_4 -2B
(mezclar) | 1 microcucharada
(0.1 ml) |
| - t | dejar en reposo 5 min. |
| - Añadir NH_4 -3B
(mezclar) | 4 gotas |
| - t | dejar en reposo 5 min. |
| - medida | colorimetría a 690 nm |

f) Reacción de color : Tras alcalinizar a pH 13 (con el reactivo NH_4 -1B) el amoníaco reacciona con el hipoclorito (reactivo NH_4 -2B) para dar monocloramina, que en una reacción catalizada de dos etapas forma un timol (reactivo NH_4 -3B) dando un indofenol azul (4).

NOTAS :

- Los kits de la casa MERCK son selectivos para concentraciones de NH_4 que van desde 0.03 ppm a 3.0 ppm, por esto es que las concentraciones de los estandares y de las muestras deben de estar dentro de este rango.

 - La estabilidad del color con el tiempo es de 5 a 50 minutos después de añadir el último reactivo.

 - La toma de muestra debe ser entre 20°- 35°C, pero deben evitarse las temperaturas inferiores a 20°C.
- g) Las lecturas de los estandares se dan en la TABLA XV, y con cuyos datos se procede a elaborar la curva de calibración que se muestra en la figura 3.9. A más de las lecturas de los estandares, se mide un blanco para encerrar el equipo.

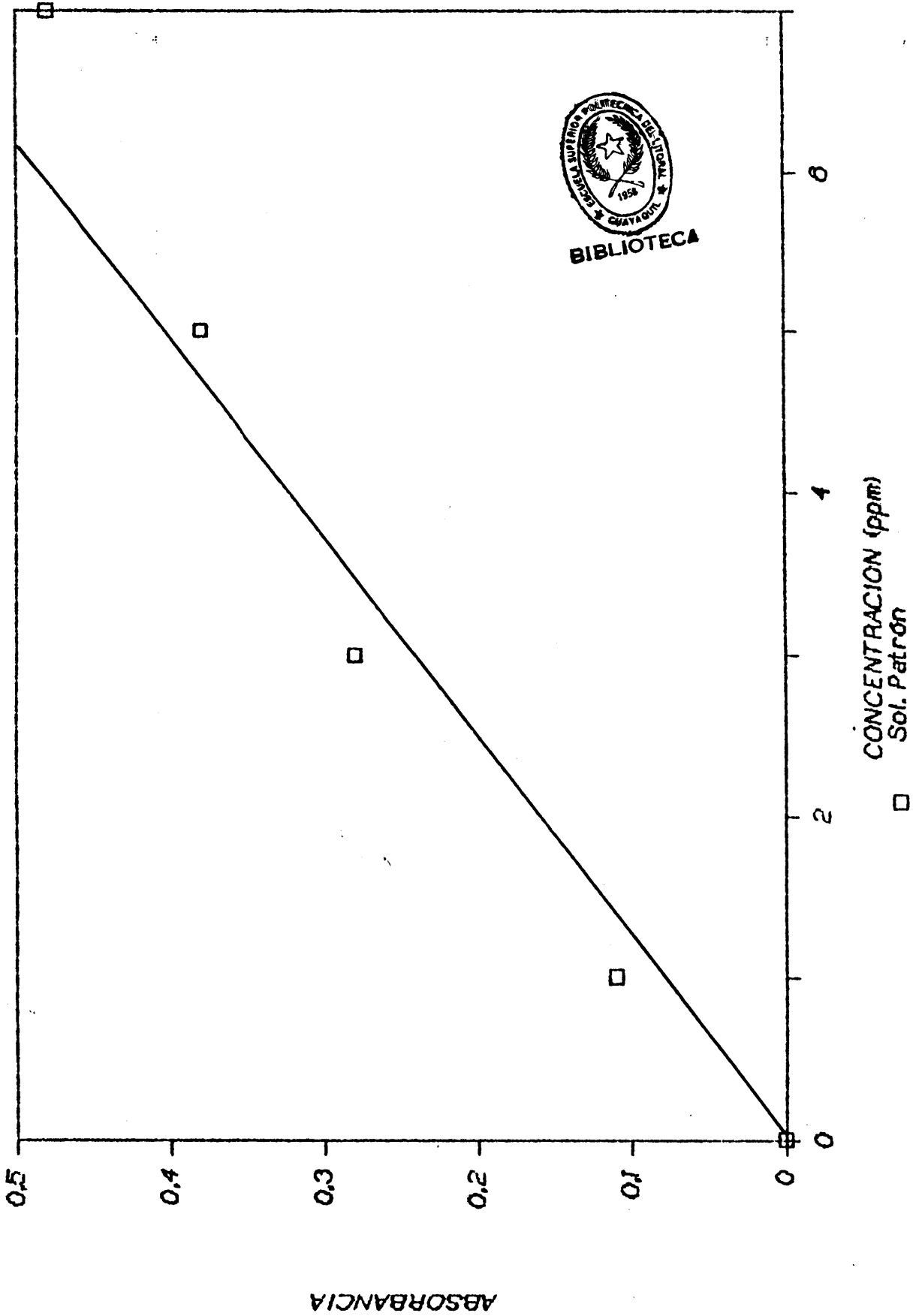
TABLA XV

DATOS PARA ELABORAR LA CURVA DE CALIBRACION DE NH_4

SOLUCION STD (ppm)	TRANSMITANCIA (%)	ABSORBANCIA (log 1/T)
1	78	0.11
3	52	0.28
5	42	0.38
7	33	0.48

CURVA DE CALIBRACION

ABSORBANCIA VS CONCENTRACION FIG. 3.9



CONCENTRACION (ppm)
Sol. Patrón

ANEXO B

DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE CIANURO EN AGUAS
USANDO EL ESPECTROFOTOMETRO SPECTROQUANT 115 (MERCK)

Este método colorimétrico es muy efectivo y rápido, pues se dispone de una cubeta de calibración (CN^- 0.074 ppm), y utilizando un blanco, el equipo internamente elabora la curva de calibración, dando las medidas directamente en ppm.

Se dispone de un juego de reactivos (Kits) para análisis fotométrico, con 130 a 400 determinaciones con rangos de medidas de 0.005 a 0.5 ppm.

El sistema de medida para 400 determinaciones es el siguiente :

- | | |
|---|-------------------------------|
| a) Toma de muestra
($T^\circ = 15^\circ - 40^\circ\text{C}$) | 5 ml |
| b) Añadir CN-1A
(disolver) | 1 microcucharada
(0.03 ml) |
| c) Añadir CN-2A
(disolver) | 1 microcucharada
(0.03 ml) |
| d) Añadir CN-3A
(mezclar) | 3 gotas |
| e) t | dejar en reposo 5 min. |
| f) Medir | colorimetría a 585 nm |

La reacción de color es la siguiente :

El cianuro forma con el cloro (reactivo CN-1A) cloruro de cianógeno. Con piridina (reactivo CN-3A) reacciona éste formando dialdehído glutacónico, que condensa con ácido 1.3 dimetilbarbitúrico (reactivo CN-2A) dando un colorante violeta de polimetino. Tras añadir piridina (CN -3A), se observa primeramente la formación de un color amarillo, el cual dentro de breve tiempo pasa a colorante de polimetino tras pasar por tonalidades anaranjadas y rojas.

La acidez o la alcalinidad elevada deben neutralizarse con anterioridad. Tras adición del reactivo CN-2A, el valor correcto del pH debe ser aproximadamente 3.5; tras adición de CN-3A, debe estar entre 5.7 y 6.0. Esto debe comprobarse con varillas indicadoras de pH (4).

El Tiocianato (rodanuro), al contrario del cianuro, no se transforma en ácido. Puede eliminarse de soluciones de la forma siguiente y determinarse mediante la diferencia :



Se lo hace de la siguiente manera :

Se hierve 50 ml de solución problema con 1 ml de H_2SO_4 al 25% durante 1 minuto hasta la evaporación del HCN (tómese medidas protectoras en caso de contenido elevado de CN^-).

El hallazgo se resta del de una muestra no tratada :

ppm CN^- = ppm de muestra no tratada - ppm de muestra tratada

Las muestras para el tratamiento posterior deben de conservarse alcalinizadas a $\text{pH} = 12$ por adición de 1 lenteja de hidróxido sódico por litro. Esto se lo hace porque el cianuro es inestable a valores de pH bajos, evaporándose al formar HCN . Con el tratamiento antes descrito las muestras se conservan por 1 día (4).



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. MERCK E, Sistemas Modernos de Análisis, Darmstadt, 1985, 6 p.

5. PEREZ AMERICO Y FIGUEROA GERMAN, Eliminación del cianuro contenido en aguas residuales, Departamento de Investigaciones "CENTROMIN", Perú, 10 p.

6. PINAYA FUENTES ANGEL, Tratamiento Hidrometalúrgico de minerales complejos conteniendo metales preciosos (oro y plata), Corporación minera, Oruro - Bolivia, 3p.

7. ROSE K. Y NEWMAN C., The Metallurgy of gold, 7ma Ed. pp. 348 - 355.