

Universidad Nacional Autónoma de México  
FACULTAD DE QUIMICA



---

APLICACIONES DE LA EXTRACCION CON  
SOLVENTES EN UN MINERAL DE COBRE  
DE LA MINA "LA CARIDAD" SONORA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

CARLOS ZEPEDA ALBARRAN

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

u. z. 374

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Prof. Fernando Maldonado Mendoza  
VOCAL: Prof. Alberto Obregón Pérez  
SECRETARIO: Profa. Ma. Eugenia Noguez Amaya  
1er. SUPLENTE: Prof. Alejandro Espriu Manrique de Lara  
2o. SUPLENTE: Prof. Humberto Larios Velarde

SITIO DONDE SE DESARROLLO LA INVESTIGACION:

Mina "La Caridad" Sonora.

SUSTENTANTE: Carlos Zepeda Albarrán

ASESOR DEL TEMA: Ing. Fernando Maldonado Mendoza



Dedico este trabajo

Con gratitud a mis padres.

A mis hermanos

Con afecto

Al Lic. Rubén Escamilla y Sra.

## I N D I C E

- 1.- INTRODUCCION
  - 2.- CONCEPTOS BASICOS DE LA EXTRACCION CON SOLVENTES.
    - 2.1. QUIMICA DE LA EXTRACCION CON SOLVENTES
    - 2.2. TERMODINAMICA
      - 2.2.1. DERIVACION TERMODINAMICA DE LA LEY DE DISTRIBUCION
      - 2.2.2. RELACION DE DISTRIBUCION
      - 2.2.3. PORCENTAJE DE EXTRACCION
      - 2.2.4. CURVAS DE EQUILIBRIO
    - 2.3. CIRCUITO DE EXTRACCION CON SOLVENTES
  - 3.- EXPERIMENTAL
    - 3.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO
    - 3.2. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS
    - 3.3. PLANEACION DE LA EXPERIMENTACION
    - 3.4. TECNICA EXPERIMENTAL
  - 4.- RESULTADOS
  - 5.- DISCUSION Y CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS
  - APENDICE
  - BIBLIOGRAFIA

## C A P I T U L O I

### 1.0. INTRODUCCION

La necesidad de beneficiar minerales cada vez de menor ley, han causado que se inicie una búsqueda de nuevas técnicas, algunas de ellas demasiado sofisticadas para aplicarse económicamente a los minerales de interés comercial, pero el continuo avance de la tecnología promete que puede aplicarse más exhaustivamente, por ejemplo al problema de recuperar metales en los desperdicios, tales como las presas de jales ó en las escorias.

Este conjunto de técnicas nuevas, se han clasificado generalmente como hidrometalúrgicas, entre ellas podemos enumerar: extracción, intercambio iónico, flotación iónica, flotación, precipitación y beneficio con microorganismos. Las características de todas estas técnicas, hacen uso del concepto de operación unitaria, desarrollado en ingeniería química, desde 1915, y en todas ellas se involucra un proceso de separación de los metales solubilizados en medio acuoso en otros solventes tales como aminas, etc.

En este trabajo se pretende:

a) Estudiar experimentalmente, las posibilidades de -- aplicar el método de extracción con solventes a nivel miniplanta, a un mineral de cobre procedente de la mina "La Caridad" -- en el Edo. de Sonora.

b) Determinar los parámetros óptimos y determinantes -- del proceso.

Dada la importancia que este estudio tiene para México, se pretende finalmente presentar los principios fisicoquímicos que permitan a los profesionales interesados, introducirse en el tema.

## C A P I T U L O 2

### 2.- CONCEPTOS BASICOS DE LA EXTRACCION CON SOLVENTES.

#### 2.1. QUIMICA DE LA EXTRACCION CON SOLVENTES.

[La extracción con solvente puede ser de naturaleza física o química. Los procesos físicos son muy pocos y en éstos, la ley de distribución de Nernst usualmente se cumple.]

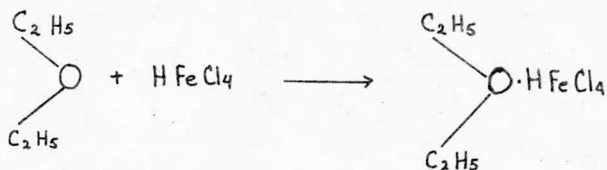
Ejemplo de tales procesos son la extracción de arsénico, antimonio, germanio y mercurio de soluciones con ácido clorhídrico por hidrocarburos ó hidrocarburos clorados, tales como benceno ó cloroformo. Tales solventes son usualmente usados como diluyentes en otros sistemas de extracción por ser inertes.

[En la mayoría de los casos, como quiera que lo haga, la extracción con solvente es un proceso químico y no obedece la ley de distribución de Nernst's. En estos procesos, los iones metálicos en la fase acuosa entran en contacto con el extractante y el producto es soluble en la fase orgánica.]

[La interacción del ion metálico y la sustancia orgánica, puede ser por uno de los siguientes caminos:

- a) La transferencia ion-par. En este caso, las moléculas eléctricamente neutras, interaccionan con el extractante dando un compuesto de adición. Los extractantes más convenientes para tal interacción, son aquéllos que tienen un átomo de oxígeno con un par de electrones libres.

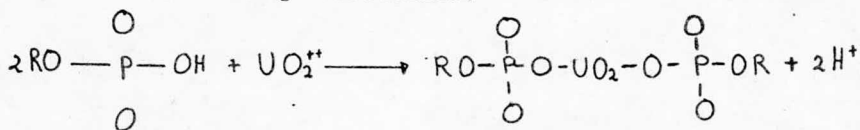
Ejemplo, éteres, alcoholes y el éter del ácido fosfórico-neutro. Por ejemplo el éter dietílico extrae hierro de una solución con ácido clorhídrico.



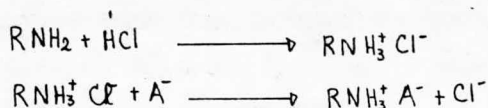
b) Intercambio iónico.

En este tipo, el metal es transferido de la fase acuosa - como un simple ión, y al mismo tiempo, un ión del extractante es transferido estequiométricamente a la fase acuosa. Dentro de estos mecanismos se puede distinguir dos tipos de intercambios:

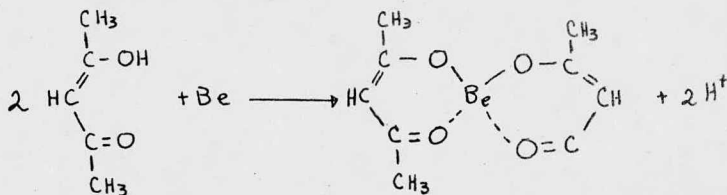
a) Intercambio catiónico. La especie extraíble es un ión con carga positiva y el extractante es un ácido. Ejemplo, ácido monoalquilfosfórico; ácidos carboxílicos, - etc. Por ejemplo, la extracción del uranio por un ácido monoalquilfosfórico.



b) Intercambio aniónico. La especie extraíble es un ión - carga negativa y el extractante es una base. Ejemplo, - una amina.



c) Extracción por formación de quelatos. En este tipo se forma un quelato con carga eléctrica neutra, el cual es insoluble en la fase acuosa, pero fácilmente soluble en el diluyente, por ejemplo, la acetilacetona en su forma enólica, reacciona con el berilio para dar un quelato en el cual el berilio reemplaza el átomo de hidrógeno enólico.



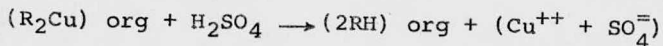
Pertencen a este grupo las dicetonas, oximas, nitrosanftoles ditizonas.]

El extractante utilizado en este trabajo y denominado Lix 64N (ver composición y propiedades en la tabla No. 1.0 opera en el ciclo del ión hidrógeno, como se nota a continuación:

Extracción:



Agotamiento:



Ambas ecuaciones demuestran que tanto la extracción como el agotamiento dependen en forma absoluta del pH.

2.1 TERMODINAMICA2.2.1 DERIVACION TERMODINAMICA DE LA LEY DE DISTRIBUCION.

[Una explicación termodinámica de las condiciones existentes en cada una de las fases en equilibrio es útil para entender la naturaleza de las aproximaciones involucradas en la ley de -- distribución.] El equilibrio es alcanzado a temperatura y presión constante cuando los potenciales químicos,  $\bar{\Phi}$  (energía libre parcial molal), de este soluto de cada fase son iguales así.

$$\bar{\Phi}_1 = \bar{\Phi}_2 \quad (2.1)$$

Donde los subíndices 1 y 2 se refieren a las fases respectivas. Sustituyendo apropiadamente expresiones para  $\bar{\Phi}$ , tendremos:

$$\bar{\Phi}_1^\circ + RT \ln m_1 + RT \ln \gamma_1 = \bar{\Phi}_2^\circ + RT \ln m_2 + RT \ln \gamma_2 \quad (2.2)$$

Donde  $\bar{\Phi}^\circ$  representa el potencial químico del soluto en una solución 1 molal hipotéticamente ideal,  $m$ , la concentración en molalidad, y  $\gamma$ , el coeficiente de actividad molal, de esto podemos obtener una expresión para el coeficiente de distribución molal,  $K_D$

$$K_D = \frac{m_1}{m_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} e^{-(\bar{\Phi}_1^\circ - \bar{\Phi}_2^\circ)/RT} \quad (2.3)$$

En esta ecuación, el  $\bar{\Phi}^\circ$  representa una constante a condición de que la presencia de el soluto no afecta la solubilidad de los dos solventes. Si bien esta condición es satisfecha en -- extracciones inorgánicas, no es una verdad universal, por ejemplo la adición suficiente de ácido acético a el sistema agua y -- cloroformo aumenta la solubilidad mutua de las fases líquidas -- hasta el punto de ser completamente miscibles. Esto mismo ocurre



con eter y agua al añadir concentraciones altas de ácido clorhídrico.

[Sin embargo para la mayoría de los sistemas de nuestro interés el soluto no se presenta en cantidades suficientemente grandes como para alterar la solubilidad mutua, así que podemos describir la ecuación (2.3) como:

$$K_D = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} K'$$

Donde  $K'$  es una constante para el sistema a temperatura -- constante. Las variaciones en el coeficiente de distribución  $K_D$  puede verse como el resultado de las variaciones en el coeficiente de actividad en cada una de las fases. Cuando la concentración de el soluto es muy baja, como el coeficiente de actividad se -- aproxima a la unidad el valor de  $K_D$  se convierte en constante.]

## 2.22 RELACION DE DISTRIBUCION.

De una importancia mucho más grande, dado su efecto en la distribución, las interacciones químicas de las especies que se distribuyen con los otros componentes en cada fase, ya que estas interacciones pueden afectar la concentración de las especies-- que se distribuyen. Por lo tanto se ve la necesidad de introducir una cantidad más práctica para describir la extracción llamada  $D$ , la relación de distribución.

Esto es una relación estequiométrica que incluye a todas las especies del mismo componente en las fases respectivas.

$$D = \frac{\text{concentración total en fase orgánica}}{\text{concentración total en fase acuosa}}$$

Si conocemos todas las interacciones importantes entre -- las especies, lo cual es generalmente posible, entonces se puede obtener una expresión para D como una función de los parametros-- experimentales.

### 2.23 PORCENTAJE DE EXTRACCION

[De interes práctico en la descripción de la extracción es el porciento de extracción, E% esta cantidad esta relacionada -- con la relación de distribución, D por la siguiente ecuación.

$$E\% = \frac{100 D}{D + (V_w/V_o)}$$

Donde  $V_o$  y  $V_w$  representan los volúmenes de las fases or-- gánica y acuosa respectivamente.]

### 2.24 CURVAS DE EQUILIBRIO

[El diagrama de equilibrio en la extracción líquido-líquido corresponde a la representación de la ley de reparto de Nernst.]

Estas curvas se obtuvieron a temperatura de 23°C de la si-- guiente manera:

#### EXTRACCION.-

[Por contacto de una alicuota de orgánico consecutivamente con una alicuota de acuoso fresco.]

#### AGOTAMIENTO.-

Volúmenes constantes de orgánico cargado puesto en contac

to con volumenes diferentes de soluciones ácidas.

En éstas curvas se traza una recta conocida con el nombre de Recta de Operación, para así obtener el número de etapas requeridas tanto en la extracción como en el agotamiento.

### 2.3 CIRCUITO DE EXTRACCION POR SOLVENTES.

[ El proceso de extracción proporciona una manera selectiva para la obtención del metal a extraer.]

[ Este proceso de intercambio iónico en fase acuosa, también llamado extracción por solvente ó extracción líquido-líquido, utiliza un ingrediente activo disuelto en un vehículo orgánico, usualmente querosena, que es íntimamente mezclado con la solución de lixiviación, donde reacciona con el metal disuelto en las soluciones, para convertirse así en lo que se llama Fase Orgánica Cargada. Esta fase orgánica cargada, pasa a la sección de agotamiento donde se pone en contacto íntimo con una solución ácida (Electrolito agotado), obteniéndose el orgánico regenerado y una solución concentrada, conocida como Electrolito Cargado.]

En realidad el proceso de extracción por solvente, consiste en concentrar los valores de un metal ó de varios que vienen en las soluciones de lixiviación, usualmente de 1 gramo por litro hasta 30 ó 50 gramos por litro. Con esta concentración, el electrolito cargado pasa a la electrolisis, donde una parte es reducida a estado metálico, y los valores que quedan en la solución, son recirculados a la sección de agotamiento. Esta solu-

ción se conoce como Electrolito Agotado.

Tanto la sección de extracción como la de agotamiento, requieren de agitación constante, por lo cual existen tanques de agitación con su respectivo tanque de asentamiento conectados en serie.)

El flujo de éstos circuitos, es generalmente a contracorriente, la solución de lixiviación es introducida a la primera celda de circuito, sección de extracción, mientras la fase orgánica es introducida a la última celda del circuito, sección de agotamiento, en esta celda, el acuoso se encuentra empobrecido del metal ó metales, por lo cual se le conoce como acuoso estéril, este acuoso se bombea a lixiviación.

En cuanto a la fase orgánica, sale de la primera celda de extracción, se envía a la sección de agotamiento, la cual fluye a contracorriente. Con respecto al electrolito agotado, que proviene de la electrólisis.

[El electrolito agotado despoja de valores al orgánico] para convertirse en un electrolito cargado, el cual se bombea a la sección de electrólisis y el orgánico regenerado se envía a la sección de extracción. Ver figuras 1 y 2.

## C A P I T U L O 3

### 3.- EXPERIMENTAL.

#### 3.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO

Se utilizó el modelo 282 de la industria denominada Bell-Engineering, para simular el proceso de extracción-agotamiento a nivel miniplanta. Este consta de celdas de agitación y asentamiento.

La agitación es controlada por motores de velocidad variable y bomba de alimentación variable.

El modelo 282 está dividido en dos secciones:

La de Extracción y la de Agotamiento, cada una con 5 celdas.

En cada celda el orgánico y el acuoso son alimentados al mezclador en donde son agitados, de ahí pasan al asentador en el cual se aprovecha la diferencia de gravedad específica para separar la fase acuosa de la fase orgánica.

Las celdas son de cloruro de polivinilo, el volumen del mezclador es de  $178.3 \text{ cm}^3$  y el área es de  $68.4 \text{ cm}^2$ . Los agitadores son de acero inoxidable con las siguientes dimensiones: -- Propela concéntrica de 3 cm. de diámetro, vástago de 13 cm de largo y 0.6 cm de diámetro.

#### 3.2. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS.

Para observar los efectos de las variables y determinar -

cual ó cuales son las que más influyen favorablemente en las etapas de extracción y agotamiento se hizo uso de un diseño factorial, de la siguiente manera:

Diseño factorial en la extracción: Las variables a estudiar son: Concentración de Cobre; concentración de ácido sulfúrico; concentración del Lix-64N; concentración del ion-ferrico cada uno a dos niveles.

<u>FACTOR</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>MIN.</u>	<u>MAX.</u>	<u>UNIDADES</u>
A	Conc. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0	6.0	g/l
B	Conc. de Cu <sup>+2</sup>	0.7	1.5	g/l
C	Conc. de Lix-64N	5.0	10.0	%
D	Conc. de Fe <sup>+3</sup>	0.80	3.0	g/l

El total de combinaciones es de  $2^4=16$  que es el número de experimentos para un diseño detallado, cada experimento se realizó por duplicado.

El tiempo de agitación fué de 3.0 min. y la agitación de 2,000 r.p.m. éstas condiciones se mantuvieron constantes en toda la experimentación.

## CONDICIONES EXPERIMENTALES

## ACUOSO ESTERIL

TRATAMIENTO	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu g/l	Lix %	Fe <sup>+3</sup> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	Fe <sup>+3</sup> g/l	EXTRACION DE Cu %
j	1.0	0.7	5	0.80	0.084	.76	88
a	6.0	0.7	5	0.80	0.35	.77	50
b	1.0	1.5	5	0.80	0.200	.74	86.6
ab	6.0	1.5	5	0.80	0.93	.78	38.0
c	1.0	0.7	10	0.80	0.021	.74	97.0
ac	6.0	0.7	10	0.80	0.32	.76	54.3
bc	1.0	1.5	10	0.80	0.075	.74	95.0
abc	6.0	1.5	10	0.80	0.78	.78	48.0
d	1.0	0.7	5	3.0	0.120	2.7	82.8
ad	6.0	0.7	5	3.0	0.46	2.8	34.3
bd	1.0	1.5	5	3.0	0.22	2.6	85.3
abd	6.0	1.5	5	3.0	0.94	2.8	37.3
cd	1.0	0.7	10	3.0	0.024	2.6	96.6
bcd	1.0	1.5	10	3.0	0.075	2.6	95.0
abcd	6.0	1.5	10	3.0	0.730	2.9	51.3

CONCLUSIONES: Se observa el efecto negativo sobre la extracción del ácido sulfúrico en -- este mismo aspecto, en menor grado sucede al aumentar la concentración de cobre, además -- el efecto positivo, sobre la extracción al aumentar la concentración de Lix 64N, en cuanto el hierro podemos decir que es ligeramente extraído.

DISEÑO FACTORIAL PARA EL AGOTAMIENTO. EN ESTAS PRUEBAS SE UTILIZO UN ORGANICO CARGADO CON --  
 2.86 g/lit DE COBRE Y UNA RELACION O/A=1. LAS VARIABLES A ESTUDIAR FUERON: CONCENTRACION DEL-  
 ACIDO SULFURICO; TIEMPO DE AGITACION; REVOLUCIONES POR MINUTO.

<u>FACTOR</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>MIN.</u>	<u>MAX.</u>	<u>UNIDADES</u>
E	Conc. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100	150	g/l
F	Tiempo de Agitacion l		3	min.
G	Agitación	1,000	2,000	r.p.m.

El número de combinaciones resultaron ser: 2<sup>3</sup>=8, también se realizó por duplicado.

CONDICIONES EXPERIMENTALES

<u>TRATAMIENTO</u>	<u>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></u> <u>g/l</u>	<u>TIEMPO</u> <u>MIN.</u>	<u>AGITACION</u> <u>r.p.m.</u>	<u>ELECTROLITO CARGADO</u> <u>Cu<sup>+2</sup> g/l</u>	<u>REEXTRACION DE Cu</u> <u>%</u>
j	70.0	1	1,000	0.89	31.1
e	150.0	1	1,000	2.49	87.0
f	70.0	3	1,000	0.90	31.5
ef	150.0	3	1,000	2.52	88.1
g	70.0	1	2,000	1.48	51.7
eg	150.0	1	2,000	2.73	95.5
fg	70.0	3	2,000	1.47	51.4
efg	150.0	3	2,000	2.73	95.5

CONCLUSIONES: Se observa que las variables que favorecen a el agotamiento son en primer lugar-  
 la concentración del ácido sulfúrico y la agitación en cuanto el tiempo es poco significativo-  
 en el rango en el cual se experimentó.



### 3.3. PLANEACION DE LA EXPERIMENTACION

Se planeo en dos fases: Pruebas a nivel embudo y pruebas a nivel miniplanta todas las pruebas se realizaron a temperatura de 23°C.

Tomando en cuentas los resultados obtenidos en el diseño de experimentos se procedió a las pruebas embudo, en las cuales se amplió el rango de experimentación, las variables a estudiar fueron.

a).- Tiempo de agitación; b).- pH de alimentación; c).- Efecto de la concentración de cobre sobre el porcentaje de extracción. d).- Efecto de la concentración del Lix-64N sobre las curvas de extracción; e).- Efecto de la relación O/A sobre la extracción.

Obtenidas las variables óptimas se determinó f) el número de etapas teóricas para la extracción y agotamiento.

### 3.4. TECNICA EXPERIMENTAL

Se montó una columna de arcilla vitrificada, con un diámetro de 45.76 cm y una altura de 4.57 metros, se cargo con una tonelada de mineral al menos de 5.08 cm. con el siguiente ensayo: Cobre 0.81%, Oxido de Cobre 0.11%, Hierro 2%, Molibdeno 0.01%, Insoluble 88.3%

El mineral fué lixiviado diariamente con 20 litros de agua, conteniendo 1.0 g/l, de ácido sulfúrico, alimentada por la parte superior con un flujo de 14ml/min., usando una bomba de diafragma de 1/3 de caballo.

El licor descargado de la columna, fué utilizado para éstas pruebas excepto en las descritas en el inciso 3 en el cual se utilizó sulfato de cobre q.p.

A continuación se describen los procedimientos que se efectuaron para encontrar las variables más adecuadas.

### 3.4.1. PRUEBAS A NIVEL EMBUDO.

#### (a) Tiempo de Agitación.-

En seis embudos de 250 ml., se añadió 50 ml. de acuoso en cada uno, con las siguientes características: 1.30 g/l de Cu; - - 2.32 g/l de ácido sulfúrico, pH de 3.4 ión férrico de 0.18 g/l. A cada embudo se agregó 50 ml de Lix 64N al 5% en querosena, cada embudo se agitó a diferentes tiempos, dejando reposar 1.5 min. para después separar las fases. El acuoso se envía a analizar. Esta misma técnica se usó para Lix 64N al 7% en querosena y por último con Lix 64N al 10% en el mismo diluyente.

Los resultados se encuentran en las tablas 2, 3 y 4 trazándose en la figura no. 3.

#### (b) pH de la Alimentación.-

A partir de una solución con un pH de 3.6 y 1.16 g/l de cobre se prepararon 8 soluciones a las cuales se les agregó ácido sulfúrico hasta ajustarlas al pH requerido.

A los embudos de 250 ml. con 50 ml. de acuoso cada uno se le añadió 50 ml. de Lix 64N al 10% respectivamente, se agitó durante tres minutos dejando reposar 1.5 minutos.

Los resultados se encuentran en la tabla No. 5 y se trazan en la figura No. 4

(c) Efecto de la concentración de cobre sobre el porcentaje de extracción.

Se prepararon seis soluciones en diferentes concentraciones de cobre a partir de sulfato de cobre q.p. Se agregaron en -- cantidad de 50 ml. a embudos de 150 ml. en los cuales se les añadió en la misma cantidad de Lix 64N al 10% en querosena. Agitando durante tres minutos y dando minuto y medio de reposo para des---pués enviar el acuoso a ensaye; previamente separado de la fase--orgánica.

Los resultados se encuentran en la tabla No. 6 y se trazan en la figura No. 5.

(d) Efecto de la concentración del LIX-64N sobre las cur--vas de extracción.

Con una concentración de 1.34 g/l de cobre y un pH de 3.3--se procedió de la siguiente manera: En un embudo de 250 ml. se --agregó 50 ml. de Lix-64N al 5% en querosena, el cual permaneció -sin cambiar, se añadió 50 ml. de acuoso, se agitó durante tres --minutos, dejando reposar un minuto y medio, a continuación se se--paró la fase acuosa la cual se envió a ensayar, en seguida se agre--gó 50 ml. de acuoso fresco, repitiendo la técnica nueve veces más.

Esto mismo se efectuó para el Lix-64N al 7 y 10% en quero--sena, los resultados se trazan en la figura No. 6.

(e) Efecto de la relación O/A sobre la extracción.

Con una solución con 1.50 g/l de cobre y un pH de 2.8 se--procedió de la siguiente manera: Se tomó 50 ml. de acuoso se lle--

vo a un embudo de 250 ml. se le añadió orgánico Lix-64N en querosena; agitando por espacio de tres minutos dejando reposar minuto y medio a continuación se separó la fase acuosa agregando 50 ml. de acuoso fresco repitiendo la técnica anterior.

Esto se efectuó primeramente para una relación O/A= 1 con Lix-64N al 5% y 10% en querosena respectivamente para después efectuarlo con una relación O/A= 2/1 con las mismas concentraciones de Lix-64N.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 7.

(f) Número de Etapas.

Extracción.- Se utilizó un embudo de 250 ml. al cual se le agregó 50 ml. de orgánico, permaneciendo sin cambiar durante el resto de la prueba, se añadió 50 ml. de acuoso, se agitó durante tres minutos, dejando reposar un minuto y medio para separar la fase acuosa, la cual se envió a ensayar, posteriormente se agregó 50 ml. de acuoso fresco, esta técnica se repitió nueve veces más.

Esto se efectuó para Lix-64N al 5.7 y 10% en querosena, los resultados se trazan en las figuras 7, 8 y 9.

Agotamiento.=

Con el orgánico de la prueba anterior el cual contiene 2.86 g/l de Cu, se procedió a trazar la curva de agotamiento de la siguiente manera: Se cambió la relación O/A manteniendo constante el volumen del orgánico, se agitaron 50 ml. de Lix-64N al 10% previamente cargado junto con 25 ml. de acuoso con 150 g/l de

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se agitó durante tres minutos dejando reposar durante 1.5- 2 minutos, separando el acuoso e introduciendo 50; 75; 100; 125; -- 150; hasta 200 ml. sucesivamente de acuoso con 150 g/l de ácido sulfúrico, los resultados se trazan en la figura 10.

### 3.4.2. PRUEBAS A NIVEL MINIPIANTA

En las pruebas embudo se determinó que se requieren aproximadamente tres celdas de extracción y dos celdas para el agotamiento. A partir de esta información preliminar se procedió a arrancar la miniplanta para mantenerla trabajando ocho horas diarias durante ciclos de seis días, en los cuales se cambió la concentración de Lix, después del sexto día. La relación orgánica-acuosa O/A, para las pruebas se mantuvo 1/1.

A continuación se procedió al cálculo de los flujos:

$$\text{MEZCLADOR: } 5.7 \text{ cm.} \times 5.7 \text{ cm.} \times 5.7 \text{ cm} = 185.19 \text{ cm}^3$$

Tiempo de residencia en los mezcladores: tres minutos.

$$\text{FLUJO TOTAL: } 185.193 \text{ cm}^3 \div 3 \text{ min} = 61.73 \text{ cm}^3/\text{min.}$$

$$\text{FLUJO ACUOSO: } 61.73 \text{ cm}^3/\text{min} \div 2 = 30.86 \text{ cm}^3/\text{min.}$$

$$\text{FLUJO ORGANICO: } 61.73 \text{ cm}^3/\text{min.} \div 2 = 30.86 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Tiempo que tarda en llenarse el asentador;

$$393.12 \text{ cm}^3 \div 61.73 \text{ cm}^3/\text{min} = 6.36 \text{ min.}$$

En la sección de agotamiento el reflujo del acuoso es de 20 cm<sup>3</sup>/min y el flujo del electrolito agotado de 10cm<sup>3</sup>/min.

Al fijar los flujos quedó fijo las r.p.m. a 1,750 puesto que son los agitadores los que llevan de una celda a otra el fluj

do..

Por lo cual se vió la necesidad de observar más detenida--  
mente los efectos de la velocidad de agitación y los tiempos de -  
retención en las celdas de extracción el procedimiento fué el si-  
guiente:

Un mezclador previamente sellado, se agregó 70 ml. de orgá-  
nico Lix-64N al 10% a continuación se añadió 70 ml de acuoso con-  
1.20 g/l de Cu y un pH de 3.3 en intervalos de 20 en 20 seg hasta  
180 seg., y desde 500 r.p.m. hasta 2,000 r.p.m., los resultados -  
se encuentran en la tabla 6 y se trazan en la figura 11.

Además se planeó que con la concentración de Lix-64N que -  
resultará con mejor por ciento de extracción, se sustituiría la -  
querosena por petroleo verde que es de producción nacional.

## C A P I T U L O 4

### RESULTADOS

#### 4.1 PRUEBAS A NIVEL EMBUDO

1.- Tiempo de agitación.- En la figura no. 3 se observa que el mejor porcentaje de extracción se logra en el intervalo de dos a cinco minutos. En cuanto al agotamiento en el diseño de experimentos se concluye que de uno a tres minutos se obtienen prácticamente los mismos resultados.

2.- pH de alimentación.- En la figura no. 4 se observa el efecto negativo a pH bajos sobre el porcentaje de extracción.

3.- Efecto de la concentración de cobre.- En la figura no 5 se observa como disminuye la capacidad del extractante a medida que aumenta la concentración de cobre.

4.- Efecto de la concentración de Lix-64N, sobre las curvas de extracción.- En la figura no. 6 se observa la carga máxima de cobre lograda a diferentes concentraciones de Lix.

5.- Como se observa en la tabla no. 7 utilizando la relación  $O/A = 1$  ó  $O/A = 2/1$  se obtienen practicamente los mismos resultados en la extracción.

6.- Número de etapas.- En las figuras 7, 8 y 9 se observa que el número de etapas para la extracción son tres, tres y tres para Lix - 64N al 5,7 y 10% respectivamente.

En la figura No. 10 se observa que se requiere dos etapas

de agotamiento para un organico cargado con 2.86 g/l de cobre.

#### 4.2 PRUEBAS A NIVEL MINIPLANTA.

1.- Velocidad de Agitación.- En la figura No. 11 se observa que a 100 rpm se obtienen una mezcla inadecuada, resultando una extracción pobre. Al aumentar a 1,500 r.p.m. mejora, y a 2,000 r.p.m. los rendimientos son considerablemente mejores.

Los resultados obtenidos en la extracción para Lix-64N al 5 y 7% en Querosena fueron 90.8,92.50% respectivamente. Ver tablas en Apendice. En cuanto a las pruebas con Lix-64N al 10% se tuvo el problema de que la concentración de cobre en la solu---ción de lixiviación bajo de 1.0 g/l por lo cual fue necesario-emplear otra solución de la misma columna que se tenía almacenada con 1.36 g/l de Cu. Además de esta corrida se substituyó la-querosena por petróleo verde obteniéndose resultados satisfactorios como se muestra en la tabla que se encuentra en el apéndi-ce.



## C A P I T U L O 5

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

El reactivo Lix-64N opera en el ciclo de ión hidrónico, para que un átomo de cobre sea extraído, se requiere de dos moléculas de dos hidroxil, 5 nonil benzofenoxima (Lix-64N) por lo tanto esto explica que si existe un exceso de iones hidrónico la carga máxima de cobre en el extractante disminuye teniendo por consecuencia una extracción pobre. Además la transferencia de masa se vio favorecida por la agitación y el tiempo de residencia, sin embargo en el agotamiento la regeneración del Lix-64N está en función de la concentración del ácido sulfúrico y de las r.p.m. y no por el tiempo de residencia en el cual se experimentó.

1.- El cobre puede ser recuperado de la solución de lixiviación por medio de la extracción por solvente, usando el extractante Lix-64N de la General Mills.

2.- La concentración del Lix-64N al 10% es la óptima para la extracción de cobre de la solución lixiviada del mineral de La Caridad.

3.- Se requieren tres etapas de extracción, usando Lix-64N al 10% y una relación  $O/A = 1$  obteniendo un acuoso empobrecido, -- aproximadamente de 0.017 g/l Cu, con 97.74% de extracción.

4.- Dos etapas de agotamiento fueron necesarias para remover el cobre del Lix-64N, con una solución de 150 g/l de ácido --

sulfúrico.

5.- En los mezcladores para extracción y agotamiento se requiere 1,750 r.p.m. y el tiempo de residencia de tres y de uno a tres minutos respectivamente, éste último de acuerdo al flujo O/A que se requiera manejar en el agotamiento.

#### RECOMENDACIONES PARA UN ESTUDIO POSTERIOR.=

Se recomienda hacer pruebas a concentraciones más altas de cobre, por ejemplo: de 2 a 15 g/l. de cobre para ver su efecto sobre la curva de extracción y así prever una situación diferente en la operación a nivel planta industrial. Así como emplear otros diluyentes de producción nacional.

Cambiar la relación O/A en el agotamiento para tener un flujo mayor de orgánico cargado.

Desde el punto de vista económico se recomienda medir la pérdida del solvente en el circuito de operación, ya sea por evaporación, ataque químico, solubilidad ó arrastre mecánico.

Por último el efecto de la temperatura sobre la separación de la fase orgánica -acuosa.

A P E N D I C E

A).- LOCALIZACION DE LA PLANTA.

- a).- La planta se encuentra en el Edo. de Sonora, aproximadamente a 18 Kms. al Sureste de la población de -- Nacozari de García por carretera, y a 783 Kms. hacia el Noroeste de Guaymas.
- b).- Elevación. La elevación aproximada es de 1,200 metros sobre el nivel del mar.
- c).- Presión Barométrica. 625 mm Hg.
- d).- Latitud y Longitud. La planta se encuentra aproximadamente a los 30° 21' latitud norte y 109° 33' longitud oeste.

B).- EXPLOTACION DEL YACIMIENTO.

La explotación de la mina será a tajo abierto, que es la forma que se explota el 75% de cobre en el mundo.

Este método se selecciona por el tipo de depósito diseminado de baja ley y su magnitud del cuerpo mineralizado. En estudios realizados se encontró que en la Caridad, para el desarrollo de la misma, se requerirá remover para el descapote, alrededor de 80 millones de toneladas de material del cual cerca de -- 12 millones con ley promedio 0.4 de Cu (cobre) se depositará para su lixiviación en un lugar especial llamado "terrero".

## METODO DE ANALISIS.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de la Unidad - "La Caridad". La cabeza alimentada al sistema y los acuosos se analizó por  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  y ácido libre. Encontrándose por diferencia el  $\text{Cu}^{+2}$  en el orgánico.

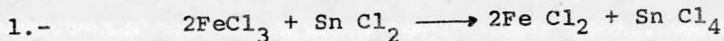
## A) Determinación de Hierro Total.

## a) Principio

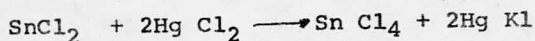
Se basa en la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico por la acción del dicromato de potasio, al cual a su vez se reduce

Todos los compuestos de hierro se convierten en cloruros ferrosos mediante cloruro estano, para finalmente ser oxidados y pasados a cloruros férricos, utilizando dicromato de potasio de concentración conocida.

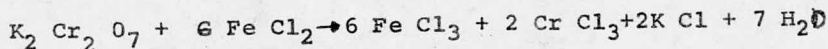
Se efectúan las siguientes reacciones durante el análisis:



2.- Eliminación del exceso de  $\text{SnCl}_2$



3.- Titulación con dicromato de potasio



La solución tomó una coloración verde debido a las sales de  $\text{Cr}^{+3}$ .

Se usó como indicador difenilamina sulfonato de bario, el cual hace que la solución tome una coloración violeta después de la adición de la primera gota en exceso de dicromato de potasio.

## b) Reactivos.

Acido Clorhídrico Concentrado.

Solución de Cloruro Estano.

Solución de cloruro mercúrico

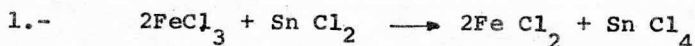
## A) Determinación de Hierro Total.

## a) Principio.

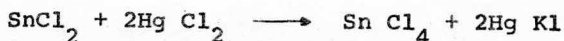
Se basa en la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico por la acción del dicromato de potasio, al cual a su vez se reduce.

Todos los compuestos de hierro se convierten en cloruros ferrosos mediante cloruro estanoso, para finalmente ser oxidados y pasados a cloruros férricos, utilizando dicromato de potasio de concentración conocida.

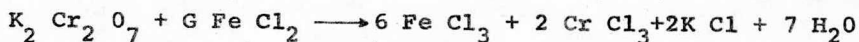
Se efectúan las siguientes reacciones durante el análisis:



2.- Eliminación del exceso de  $\text{SnCl}_2$



3.- Titulación con dicromato de potasio



La solución tomó una coloración verde debido a las sales de  $\text{Cr}^{+3}$ .

Se usó como indicador difenilamina sulfonato de bario, el cual hace que la solución tome una coloración violeta después de la adición de la primera gota en exceso de dicromato de potasio.

## b) Reactivos.

Acido Clorhídrico Concentrado.

Solución de Cloruro Estanoso.

Solución de Cloruro Mercúrico.

Mezcla Sulfúrico-Fosfórica.

Indicador difenilamina-Sulfonato de Bario (solución al 0.2%).

Solución 0.08953 N de dicromato de potasio.

c) Preparación de soluciones.

Solución cloruro estanoso: Se disolvió 25 grs. de cloruro estanoso en 50 ml. de H Cl concentrado, diluyó a 500 ml. con -- agua destilada, añadió 2 grs. de granalla de estaño Q.P. para -- preservar la solución.

Solución de cloruro mercuríco: Se disolvió 80 grs. de Hg-Cl<sub>2</sub> (cloruro mercuríco) en agua destilada caliente y se completó a un litro (con agua destilada).

Mezcla sulfúrica-fosfórica: Se agregó cuidadosamente y -- con agitación a 300 ml. de agua destilada, 150 ml. de ácido sulfúrico. Se dejó enfriar y una vez frío, se añadió 150 ml. de H<sub>3</sub>-PO<sub>4</sub> y 400 ml. de agua destilada.

Indicador difenilamina sulfonato de bario: Se disolvió -- 1 gr. de difenilamina-sulfonato de bario en 500 ml. de agua desti- lada caliente.

Solución 0.08953 N de dicromato de potasio: Se pesó 4,388- grs. de dicromato de potasio aforo a un litro con agua destilada- (78.994 grs. para 18 litros de solución).

d) Procedimiento.

1.- Se tomó 25 ml. de la muestra acuosa. Se colocó en un - matraz erlenmeyer de 250 ml.

2.- Se agregó 50 ml. de  $H_2O$  y 10 ml. de  $HCl$ , se calienta a ebullición durante 2 minutos, se enfría y se añade  $NH_4OH$  hasta precipitación de  $Fe$ , se filtró y se lavó con  $H_2O$  caliente 3 veces, el filtrado se pasó al vaso original, se agregó  $H_2O$  y  $HCl$  se calentó a ebullición y se redujo en caliente con  $SnCl$ , éste se agregó gota a gota hasta que la solución pase de amarillo a blanco aperlado, teniendo cuidado en no excederse.

3.- Se agregó 10 ml. de solución sulfúrica- fosfórica y una ó dos gotas de indicador difenilamina sulfato de bario. Se tituló con dicromato de potasio 0.0895N.

#### 4.- CALCULOS

Cada ml. de solución 0.0895N fué de 1% de hierro, % de -- hierro = ml. consumidos. Si la solución no tiene la normalidad deseada se obtiene un factor de corrección de la siguiente manera. Se pesa 0.5 g., de alambre de hierro puro (grado reactivo) y se analizo siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

$$\text{Factor} = \frac{0.5 \text{ g.}}{\text{Ml. consumidos de } K_2Cr_2O_7}$$

B) Determinación de  $Fe^{+2}$

a) Principio

Se basa en la oxidación de fierro ferroso mediante dicromato de potasio de concentración conocida.

Se efectúa la siguiente reacción en la titulación:





## b) Reactivos.

Carbonato de sodio (ó bicarbonato)

Mezcla sulfúrica - fosfórica (preparada de la misma forma que para la determinación de fierro total.

Indicador difenilamina sulfonato de bario al 0.2%

Solución 0.08953 N de dicromato de potasio.

## c) Procedimiento.

1.- Se tomó 25 ml. de muestra acuosa y se agregó a un matraz erlenmeyer de 250 ml.

2.- Se agregó 50 ml. y 10 ml. de HCl.

3.- A continuación se agregó 10 ml. de solución sulfúrica fosfórica con 1 ó 2 gotas de indicador difenilamina sulfonato de bario, para después titular con dicromato de potasio (0.08953 N).

## d) Cálculos.

Los cálculos para el porcentaje de fierro ferroso se efectuaron de la misma forma que para la determinación de fierro total.

## C) ANALISIS DE COBRE.

1.- Se tomó una muestra de la solución a analizar.

2.- No hay interferencia con los elementos trivalentes, así que la etapa de oxidación se eliminó.

3.- Se agregó agua a la muestra hasta un volúmen de 30 ml. aproximadamente. Se añadió carbonato de sodio ó hidróxido de amonio. Se añadió ácido acético glacial en exceso, el cual redissuelve el precipitado. El pH requerido es de 3.3 a 4.0 un exceso de ácido fué suficiente para lograr este pH.

4.- Se agregó 2 grs. de bifloruro de amonio  $\text{NH}_4 \text{HF}_2$ .

5.- Se añadió 5 grs. de yoduro de potasio y un agitador magnético.

6.- Se añadió 1 ml. de almidón y se tituló con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que cambió de color.

7.- Se lavó inmediatamente el vaso para evitar que el  $\text{NH}_4 \text{HF}_2$  lo atacara.

Cálculo:  $\frac{\text{Ml de titulante} \times 0.1 \text{ N} \times 63.54}{\text{Ml de muestra}} = \text{g/l cobre.}$

Ml de muestra

D) ACIDO LIBRE.

1.- Equipo

- a) Potenciómetro
- b) Agitador Magnético

2.- Soluciones requeridas.

a) Oxalato de potasio se disolvió 280 grs. aforando a un litro con agua destilada y se ajustó el pH a 8.5 con KOH.

3).- Solución buffer de pH 7.

4.- Procedimiento:

Se agregó 25 ml. de oxalato de potasio en un vaso, más 20 ml.

de agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml. de la muestra a analizar, se agitó usando un agitador magnético. Se tituló a un pH de 7.25 usando una solución de KOH 0.1 N.

5.- Cálculos.

Acido en g/l =  $\frac{\text{Ml de titulante usado} \times \text{normalidad de KOH} \times 49.0}{\text{Ml de la muestra.}}$

Figura 1

Diagrama de flujo para recuperar cobre de una solución de lixiviación

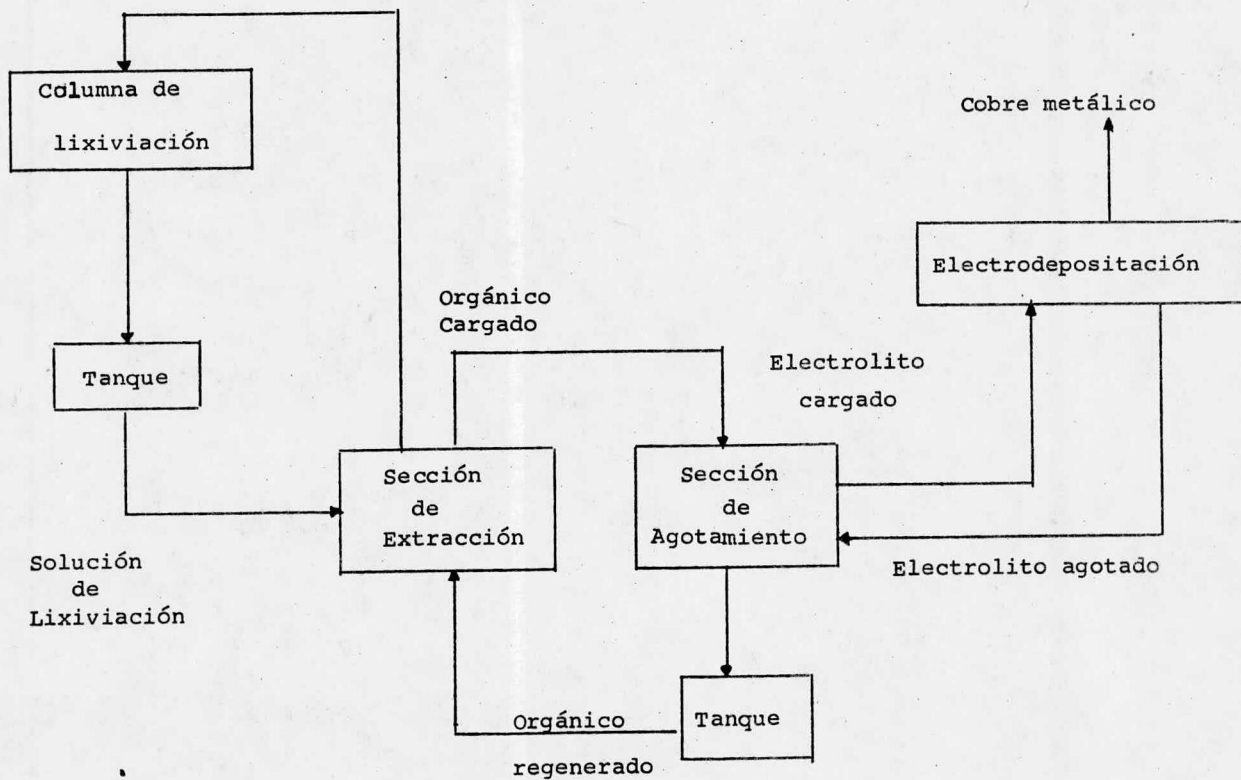


Figura 2

CIRCUITO DE EXTRACCION POR SOLVENTE

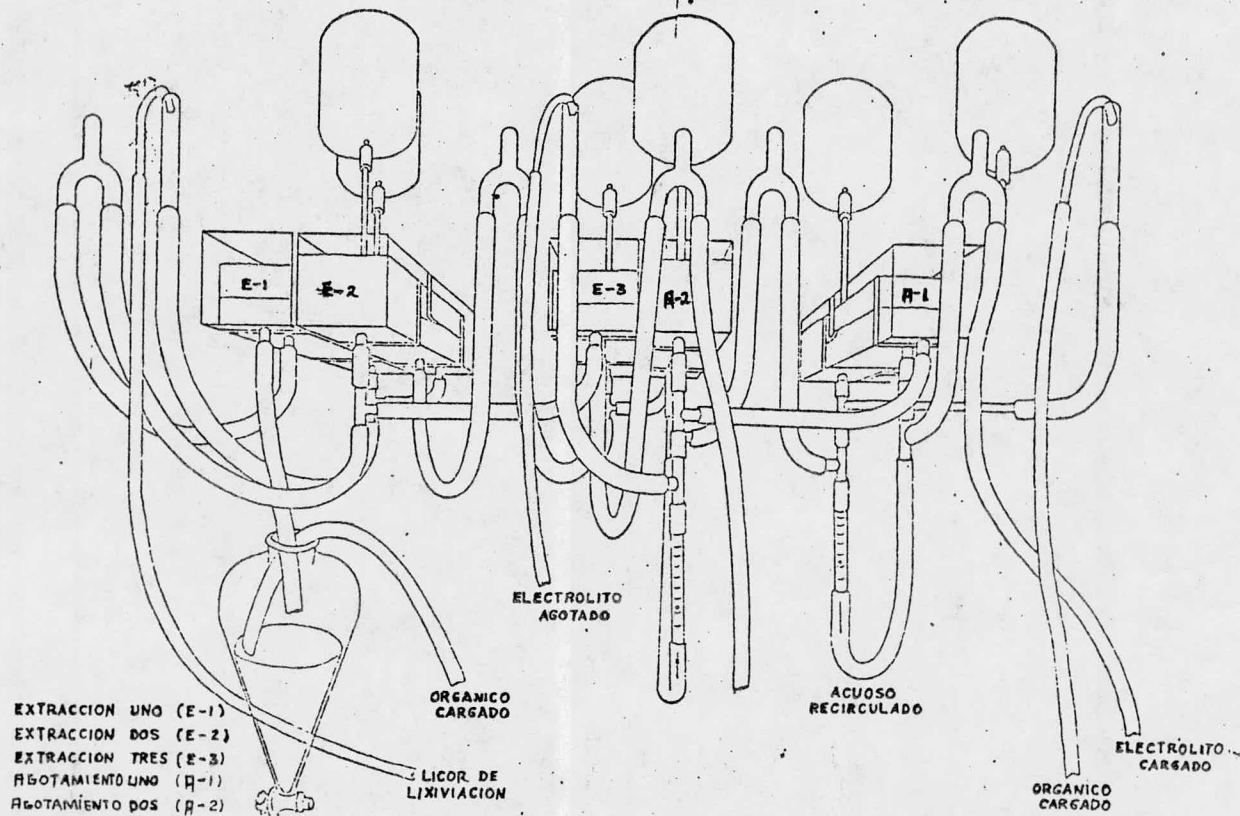
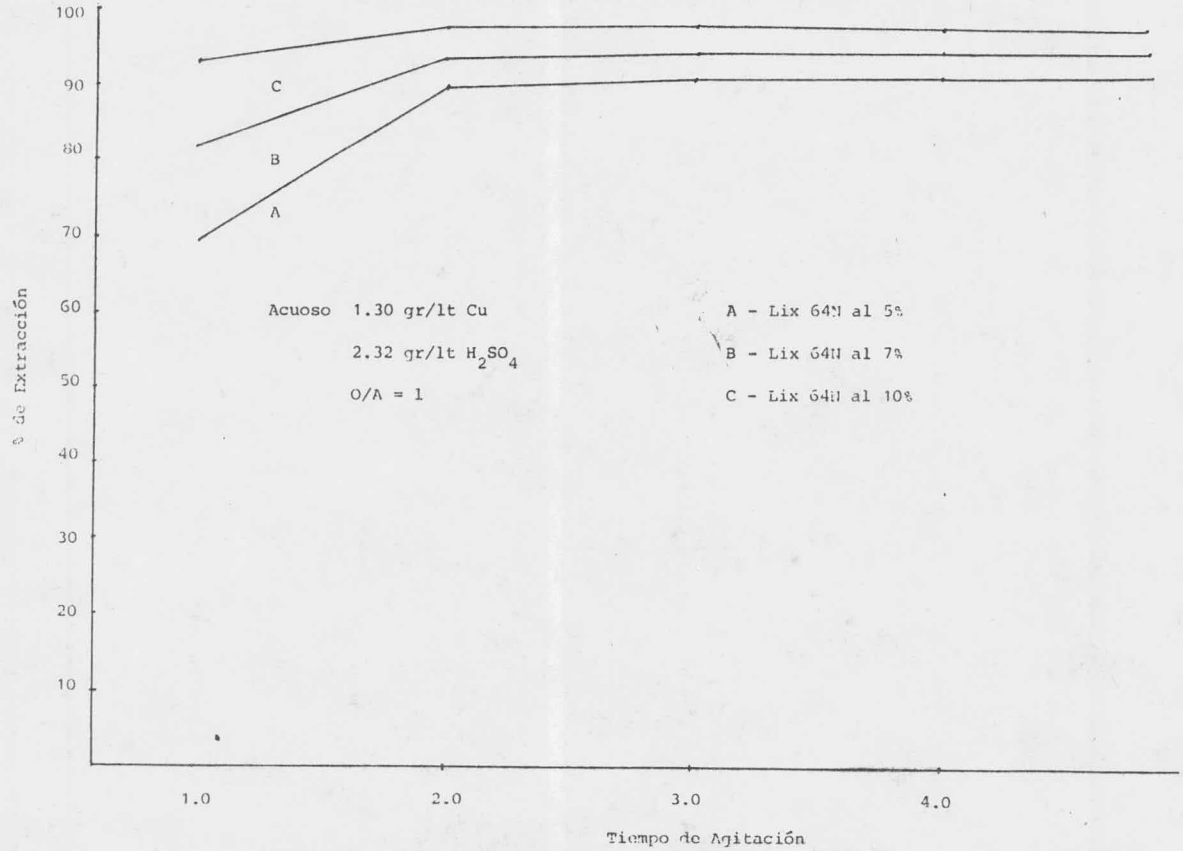


Figura No. 3

Efecto del tiempo de agitación sobre la eficiencia de extracción



Efecto del pH sobre la extracción

Acuoso 1.26 gr/lt Cu

A/O = 1.0

Lix 64N = 10% en querosena

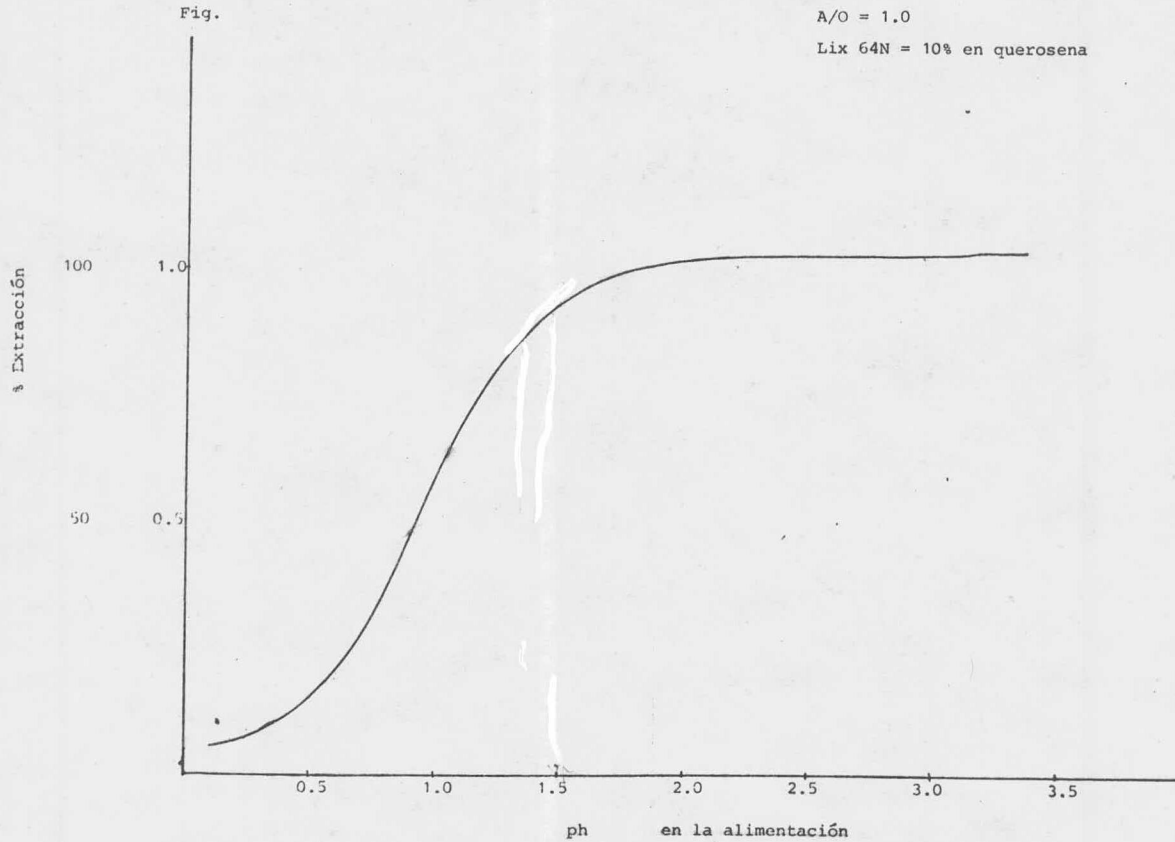


Figura No. 5

Extracción de cobre como función de la conc. inicial

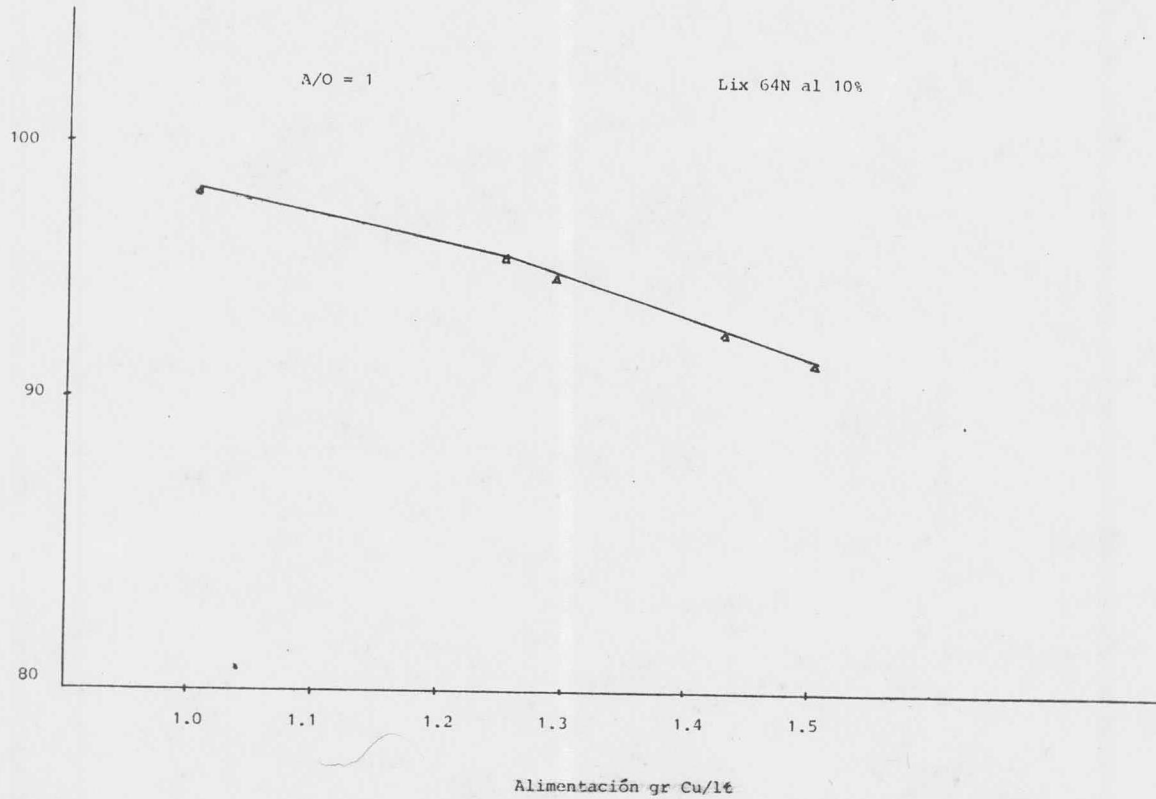




Figura No. 6

Efecto de la concentración del Lix-64N sobre la curva de extracción

Acuoso 1.34 g/l Cu      1.34 - a diferentes concentraciones  
ph 3.7                      - de Lix - 64N  
A/O = 1

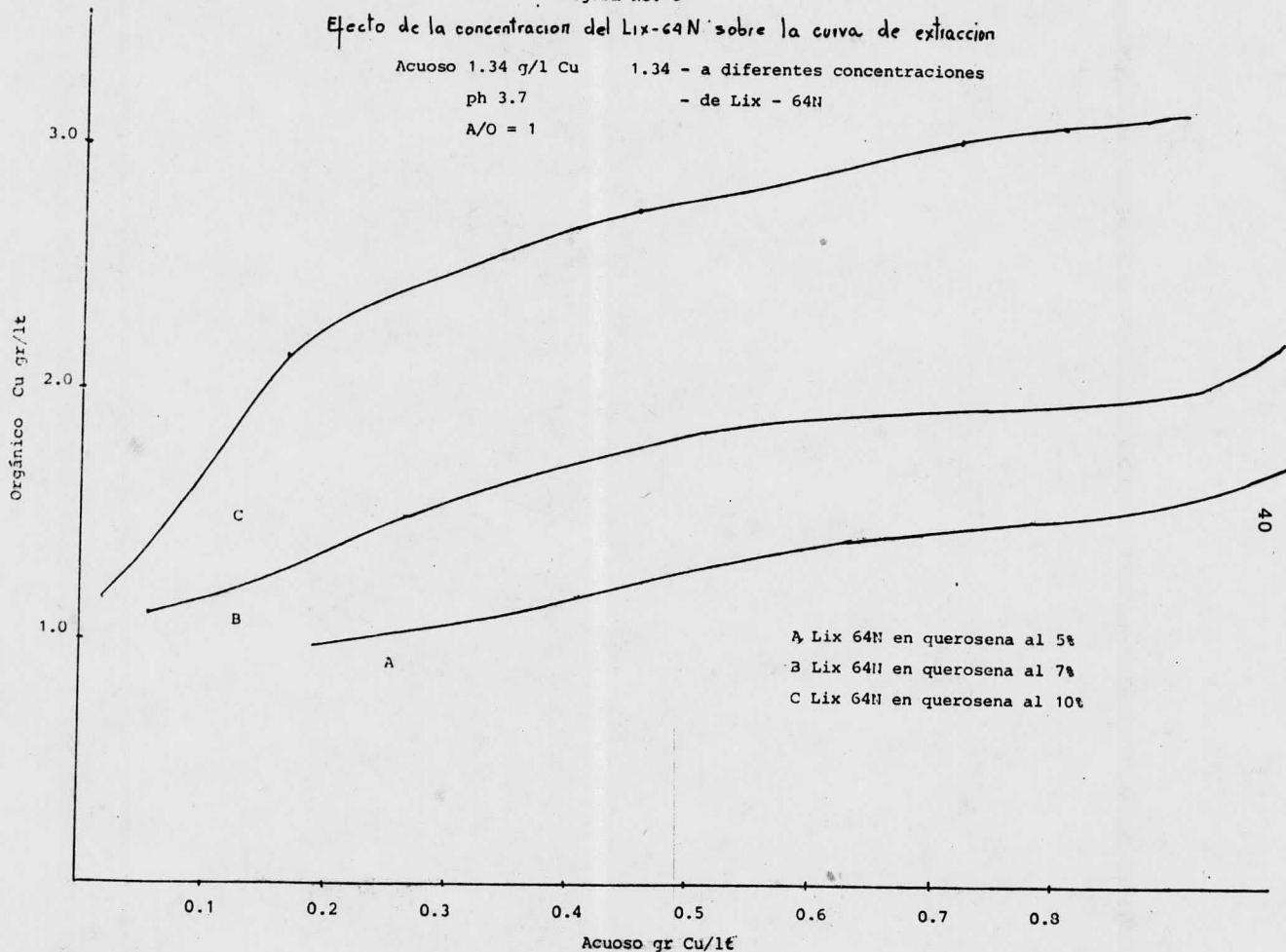


Figura 7

Prueba - embudo

Curva de extracción

Acuoso: 120 g/lit Cu

Orgánico: LIX-64 N al 5%

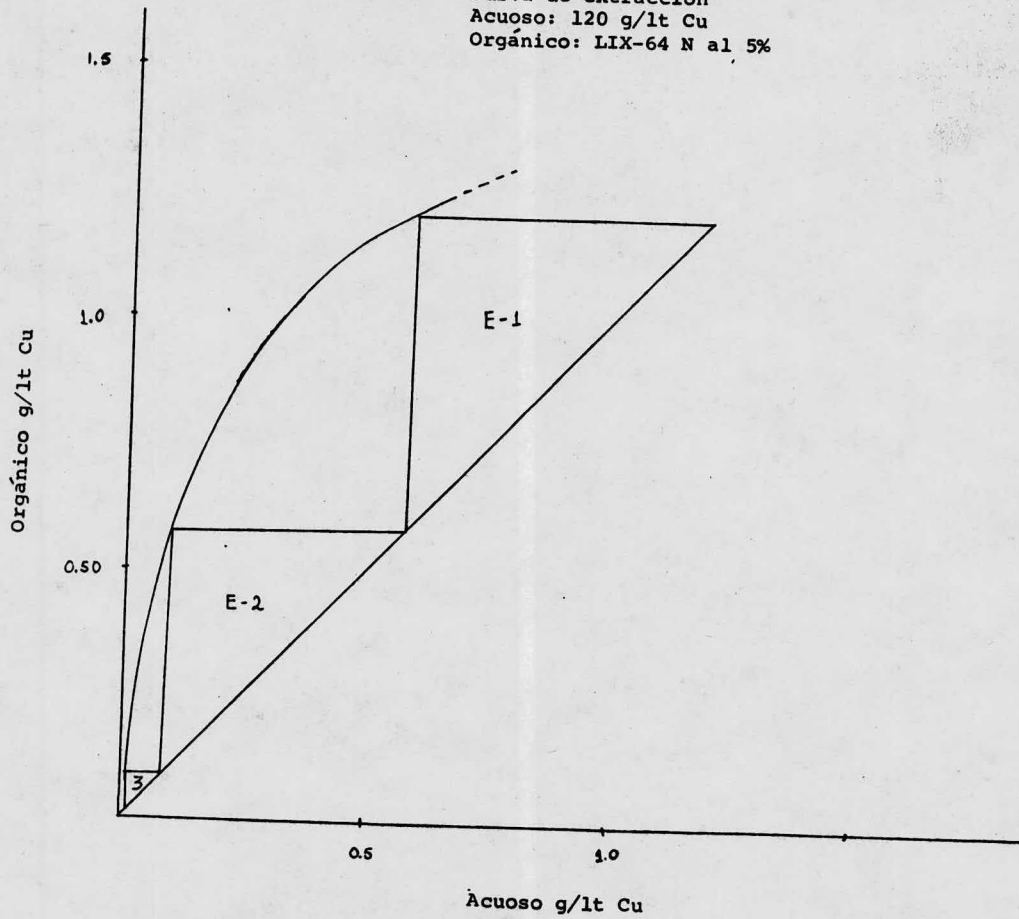


Figura 8

Prueba - ~~ambudo~~

Curva de extracción

Acuoso:

Organico: LIX-64 N al 7%.

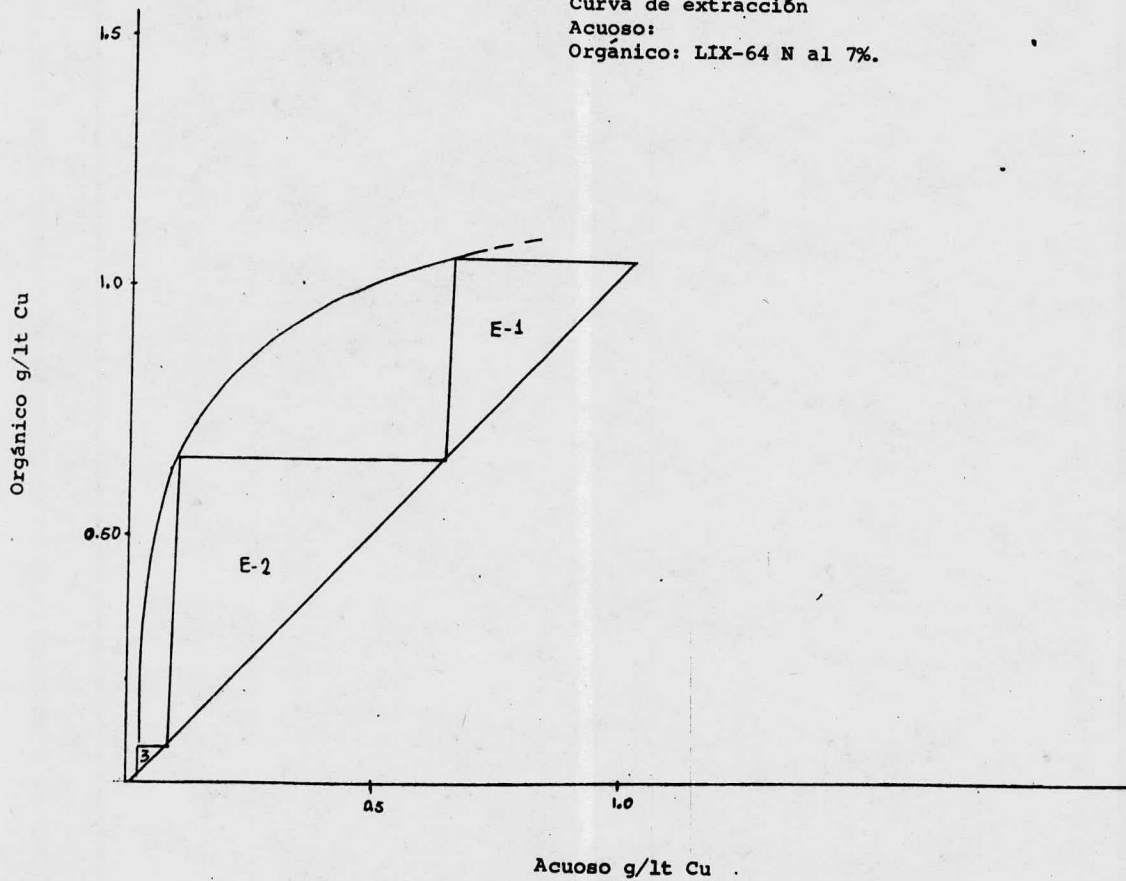


Figura 9

Prueba - embudo

Curva de extracción  
Acuoso: 120 g/lit Cu  
Orgánico: LIX-64 N al 10%

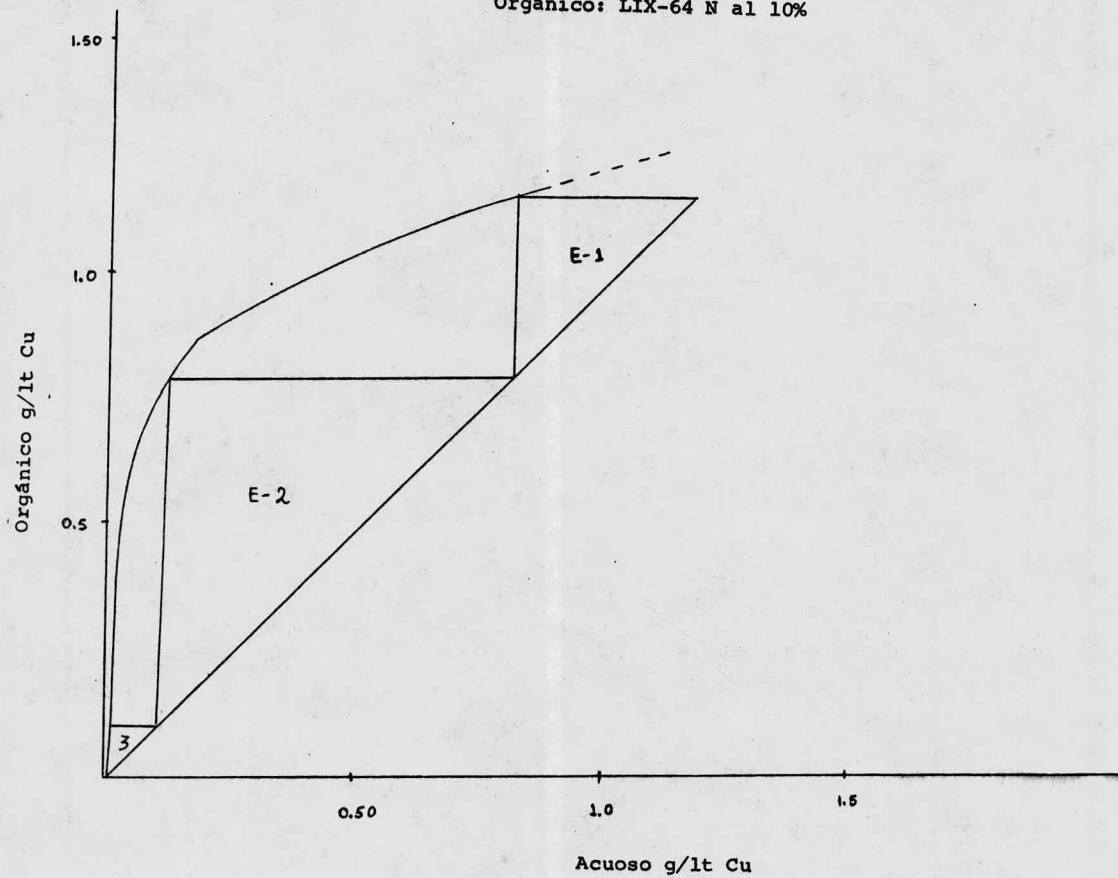


Figura 10

1 CURVA DE AGOTAMIENTO

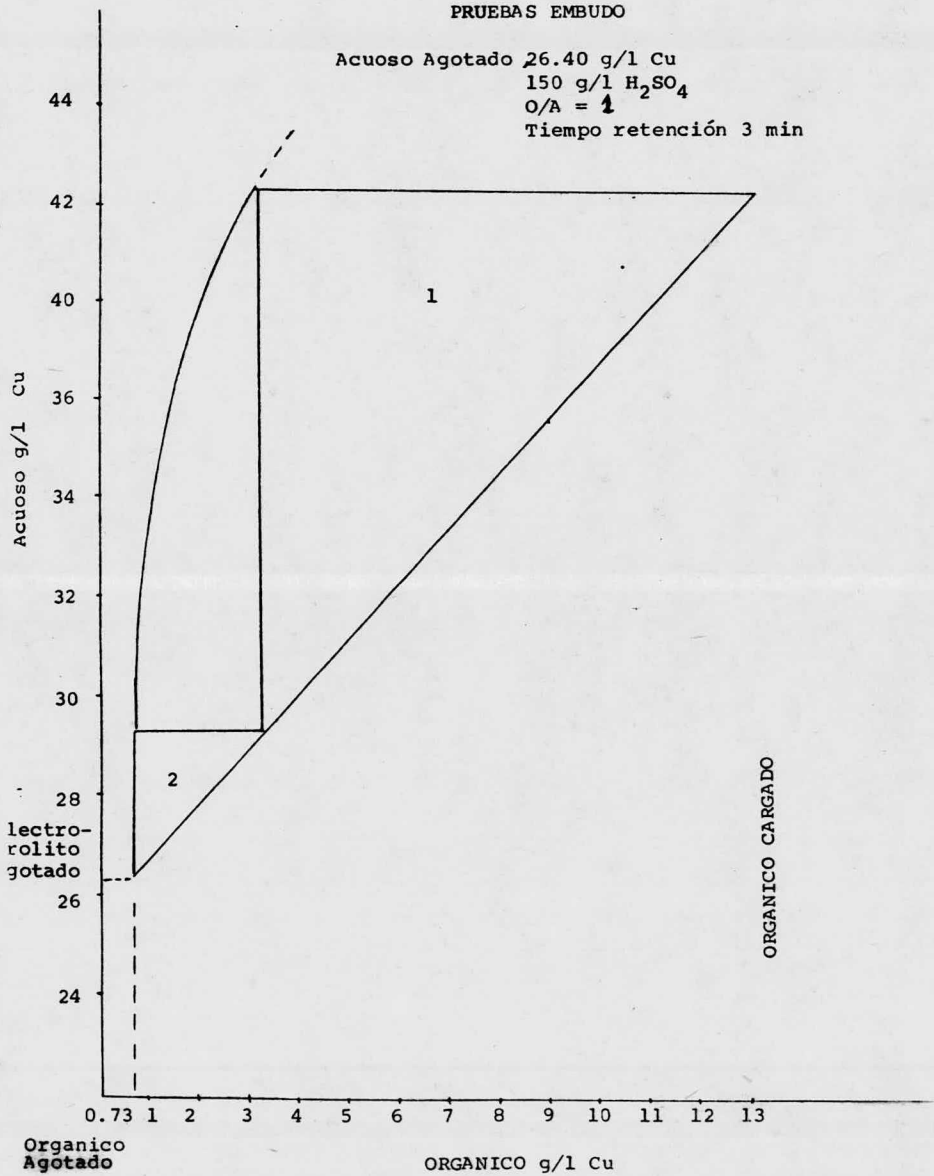


Figura 11

La extracción como función del tiempo de retención de la velocidad de agitación

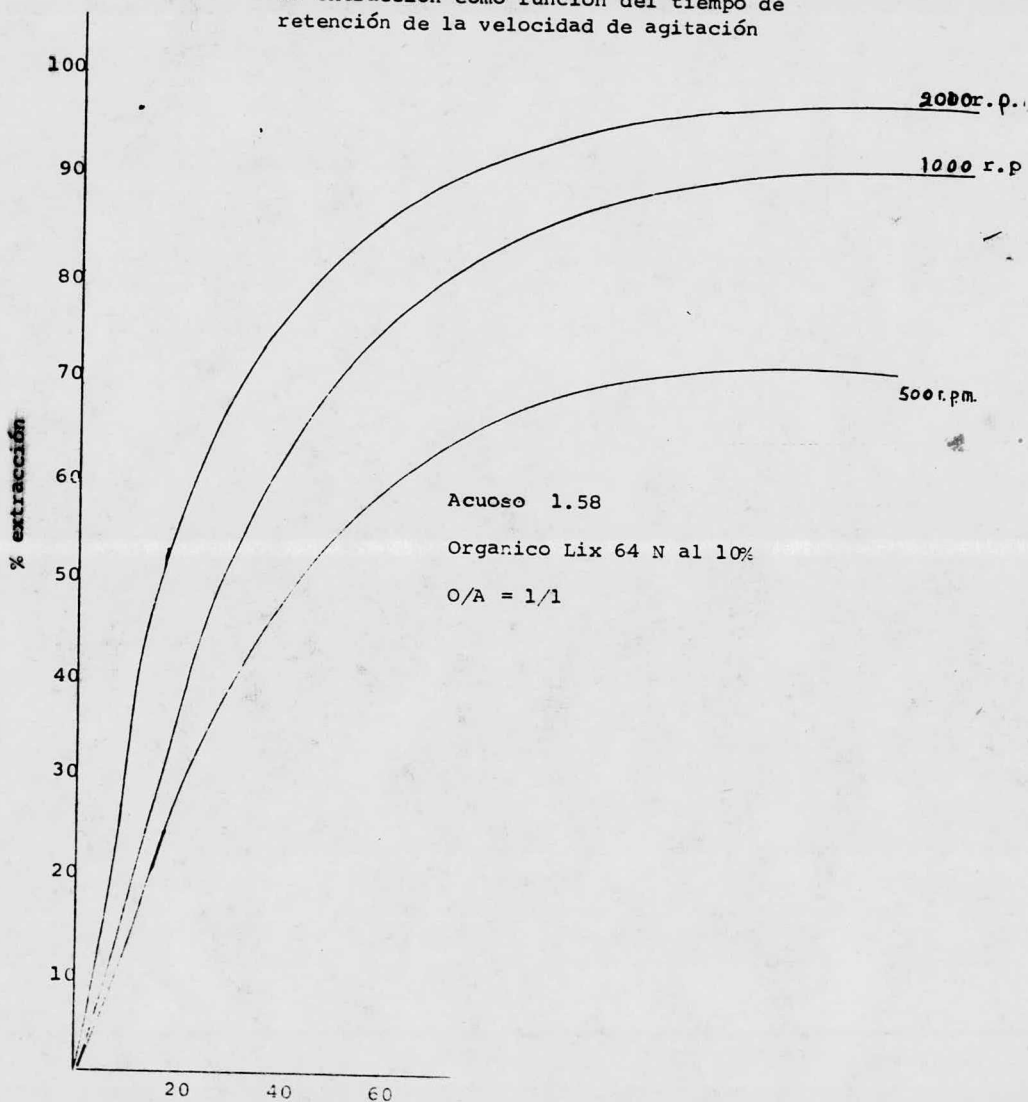


TABLA No. 1.0

## PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LA OXIMA

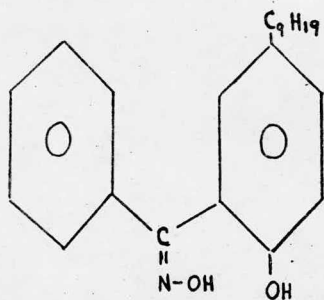
## FORMULA ESQUEMATICA:

## NOMBRE QUIMICO:

2 Hidroxil, 5 nonil-benzofenoxima

NOMBRE COMERCIAL: Lix-64N

APARIENCIA: Líquido ámbar



PESO ESPECIFICO: 0.899

VISCOSIDAD c.p.s.: 110 a 45°C

45 a 30°C

13 a 13°C

PUNTO DE CONGELACION: 34°C

PUNTO DE INFLAMACION: 85°C

PUNTO DE COMBUSTION : 93°C

TABLA N°2

EFECTO DEL TIEMPO DE AGITACION SOBRE LA EXTRACCION USANDO

LIX-64 N al 5% EN QUEROSENA

Cabeza Analisis g/lt					Tiempo de Agitaci6n	Acuoso Esteril		Contenido g		Extracci6n
N°	Vol c.c	+2 Cu	+2 Fe	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	min	cc	Cug/lt	Cabeza	Esteril X10 <sup>-2</sup>	%
1	50	1.30	0.18	2.32	1	50	0.26	0.065	1.30	80.0
2	50	1.30	0.18	2.32	2	50	0.13	0.065	0.65	90.0
3	50	1.30	0.18	2.32	3	50	0.13	0.065	0.65	90.0
4	50	1.30	0.18	2.32	4	50	0.13	0.065	0.65	90.0
5	50	1.30	0.18	2.32	5	50	0.13	0.065	0.65	90.0
6	50	1.30	0.18	2.32	6	50	0.13	0.065	0.65	90.0
7	50	1.30	0.18	2.32	7	50	0.13	0.065	0.65	90.0



TABLA N°3

EFEECTO DEL TIEMPO DE AGITACION SOBRE LA EXTRACCION USANDO

LIX-64 N AL 7% EN QUEROSENA .

Cabeza Análisis g/lit					Tiempo de Agitación	Acuoso Esteril		Contenido g		Extracción
N°	Vol cc -	+2 Cu	+3 Fc	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	min	cc	Cu g/lit	Cabeza	Esteril X10 <sup>-2</sup>	%
1	50	1.30	0.18	2.32	1	50	0.234	0.065	1.17	82
2	50	1.30	0.18	2.32	2	50	0.079	0.065	0.395	93.92
3	50	1.30	0.18	2.32	3	50	0.078	0.065	0.390	94.0
4	50	1.30	0.18	2.32	4	50	0.078	0.065	0.390	94.0
5	50	1.30	0.18	2.32	5	50	0.078	0.065	0.390	94.0
6	50	1.30	0.18	2.32	6	50	0.078	0.065	0.390	94.0
7	50	1.30	0.18	2.32	7	50	0.078	0.065	0.390	94.0

TABLA N°4

EFFECTOS DEL TIEMPO DE AGITACION SOBRE LA EXTRACCION

USANDO LIX-64 N AL 10% EN QUEROSENA

Cabeza Analisis g/lit					Tiempo de Agitación	Acuoso Esteril		Contenido g		Extracción
N°	Vol cc	+2 Cu	+3 Fe	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	min	cc	Cu g/lit	Cabeza	-2 Esteril X10	%
1	50	1.30	0.18	2.32	1	50	0.09	0.065	0.45	93.0
2	50	1.30	0.18	2.32	2	50	0.07	0.065	0.35	94.60
3	50	1.30	0.18	2.32	3	50	0.06	0.065	0.30	95.38
4	50	1.30	0.18	2.32	4	50	0.06	0.065	0.30	95.38
5	50	1.30	0.18	2.32	5	50	0.06	0.065	0.30	95.38
6	50	1.30	0.18	2.32	6	50	0.06	0.065	0.30	95.38
7	50	1.30	0.18	2.32	7	50	0.06	0.065	0.30	95.38

TABLA N°5

EFEECTO DEL pH SOBRE EL % DE EXTRACCION

N°	Tiempo de Agitación	LIX 64N	Cabeza +2			Acuoso Esteril		Contenido g		Extracción
			Vol	Cu	pH			Cabeza	Esteril	
	min	%	c.c.	g/lt	H <sup>t</sup>	c.c.	Cu g/lt	+2 Cu	-2 X10 <sup>-2</sup> +2 Cu	%
1	3	10	50	1.16	3.6	50	0.05	5.80	0.25	95.68
2	3	10	50	1.16	3.0	50	0.05	5.80	0.25	95.68
3	3	10	50	1.16	2.5	50	0.07	5.80	0.35	93.96
4	3	10	50	1.16	2.0	50	0.09	5.80	0.45	92.22
5	3	10	50	1.16	1.5	50	0.18	5.80	0.90	84.48
6	3	10	50	1.16	1.0	50	0.54	5.80	2.70	53.44
7	3	10	50	1.16	0.5	50	1.03	5.80	5.15	11.20
8	3	10	50	1.16	0	50	1.11	5.80	5.55	4.310

TABLA N°6

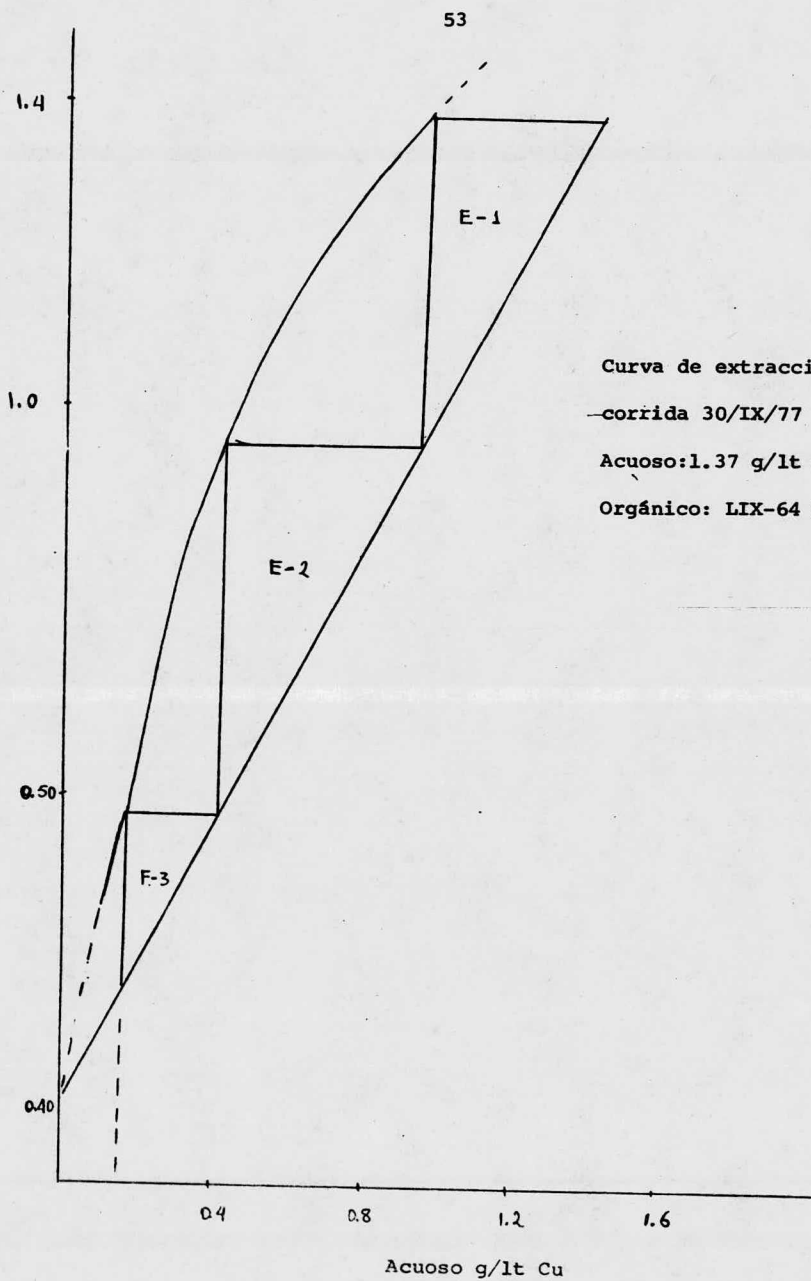
EFFECTO DE LA CONCENTRACION DE COBRE SOBRE EL % DE  
EXTRACCION

N°	Tiempo de Agitación	LiX 64 N	Cabeza +2			Acuoso Esteril		Contenido g			Extracción
			Vol	Cu	pH	c.c.	+2 Cu q/lt	Cabeza	-2 X10	+2 Esteril Cu	
	min	%	c.c.	q/lt	H <sup>t</sup>	c.c.	+2 Cu q/lt	+2 Cu		+2 Cu	%
1	3	10	50	1.0	3.4	50	0.0080	5.0		0.40	99.20
2	3	10	50	1.1	3.4	50	0.011	5.5		0.055	99.0
3	3	10	50	1.2	3.4	50	0.024	6.0		0.12	98.0
4	3	10	50	1.3	3.4	50	0.043	6.5		0.21	96.76
5	3	10	50	1.4	3.4	50	0.073	7.0		0.365	94.78
6	3	10	50	1.5	3.4	50	0.102	7.5		0.51	93.20

TABLA N°7

EFEECTO DE LA RELACION O/A SOBRE LA EXTRACCION

Acuoso		LIX-64N en querosena	Relación O/A	Extracción	Relación O/A	Extracción
+2 Cu	pH	%	ml/ml	%	ml/ml	%
1.30	2.90	5	1/1	70	2/1	73
1.30	2.90	7	1/1	90	2/1	93
1.30	2.90	10	1/1	95	2/1	96



Curva de extracción

—corrida 30/IX/77

Acuoso: 1.37 g/lit Cu

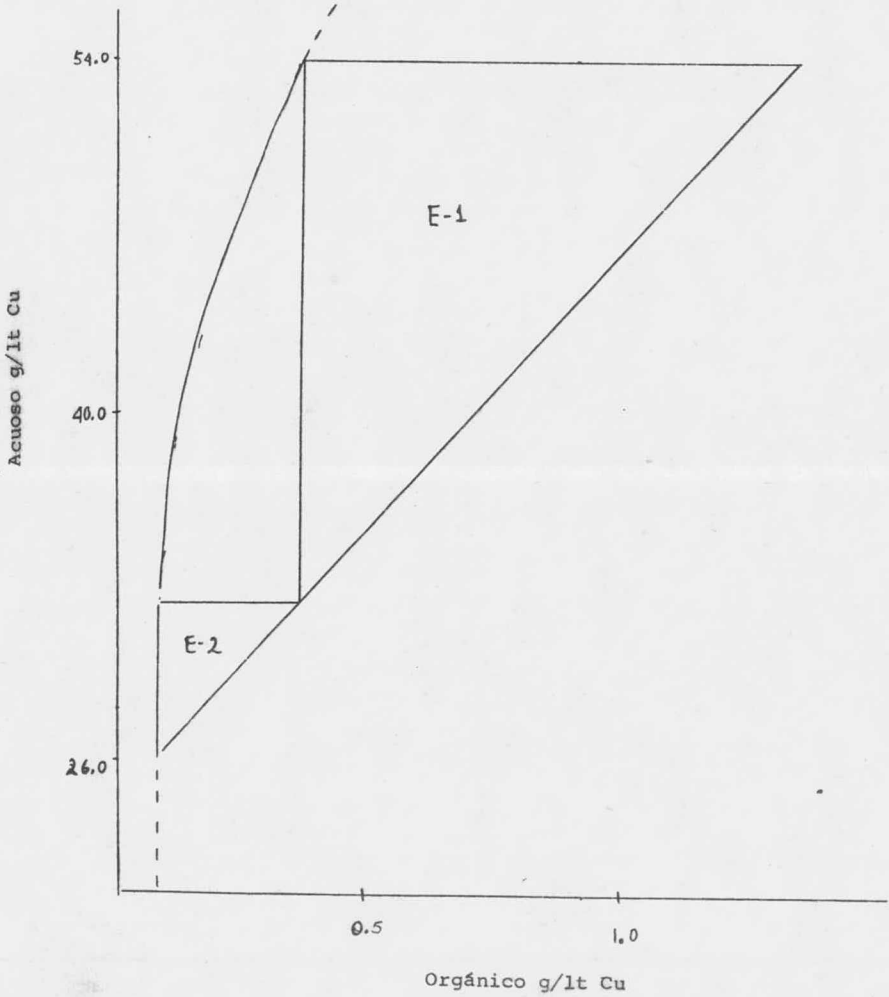
Orgánico: LIX-64 N al 5%.

Curva de agotamiento

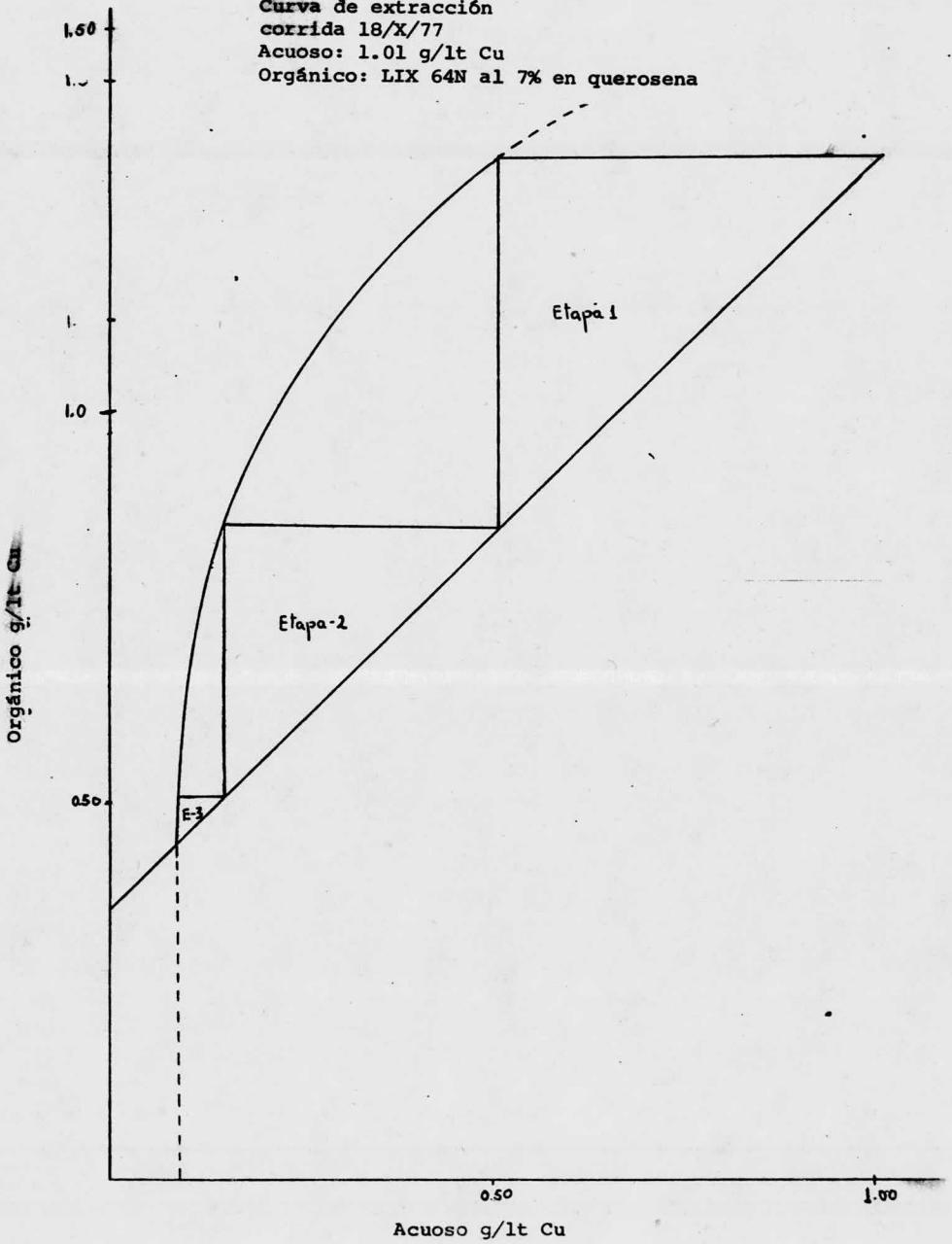
corrida 30/IX/77

Acuoso: 26.40 g/lit Cu

Orgánico: 1.38 g/lit C



Curva de extracción  
corrida 18/X/77  
Acuoso: 1.01 g/lit Cu  
Orgánico: LIX 64N al 7% en querosena



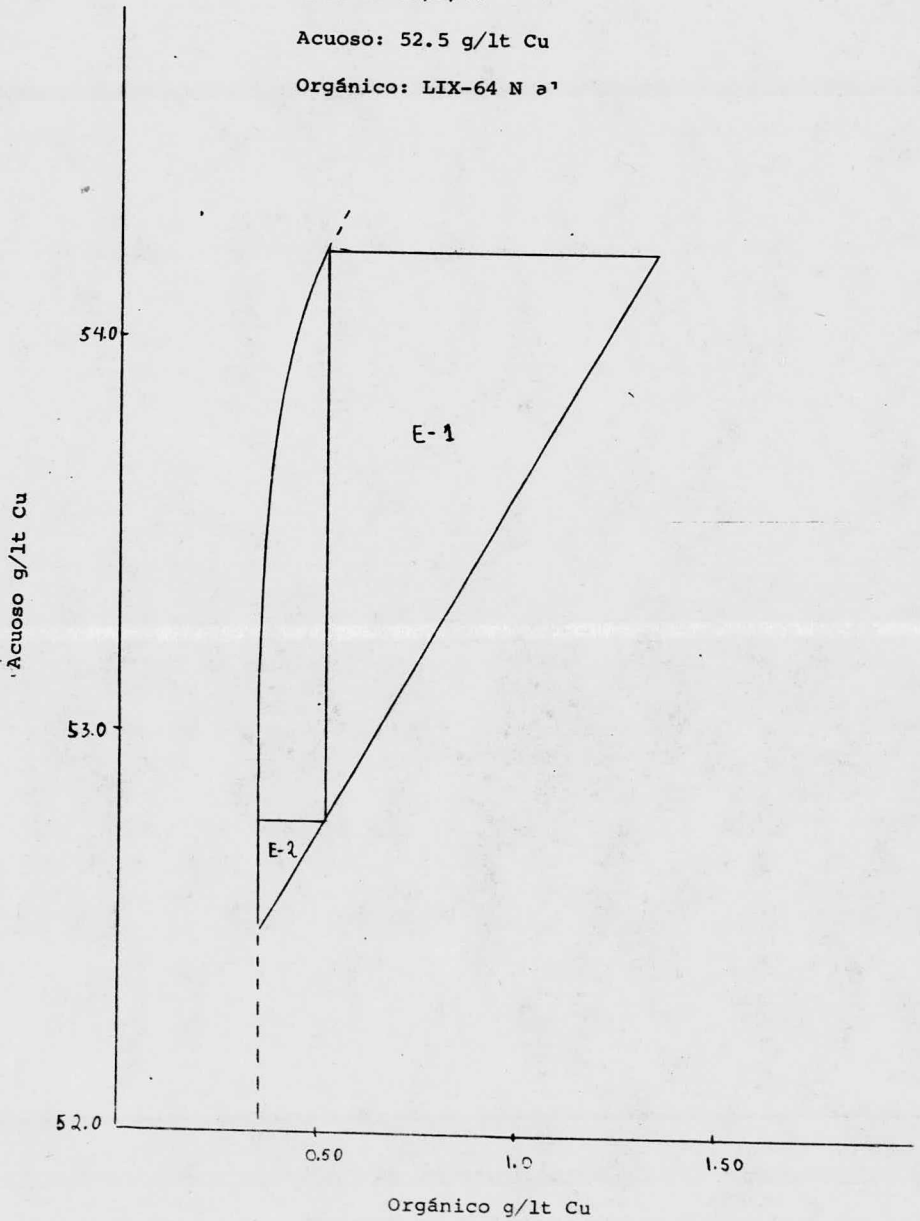


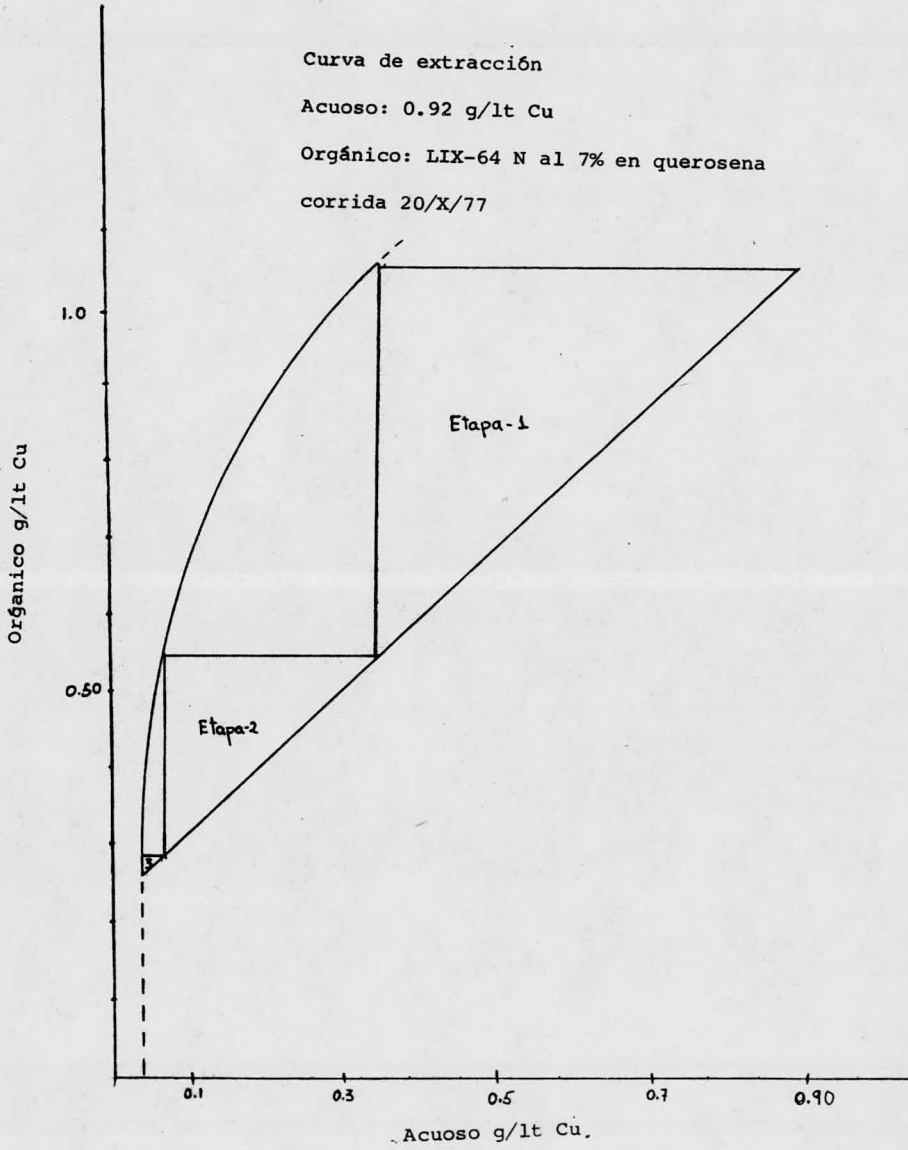
Curva de agotamiento

corrida 18/X/77

Acuoso: 52.5 g/lit Cu

Orgánico: LIX-64 N a'





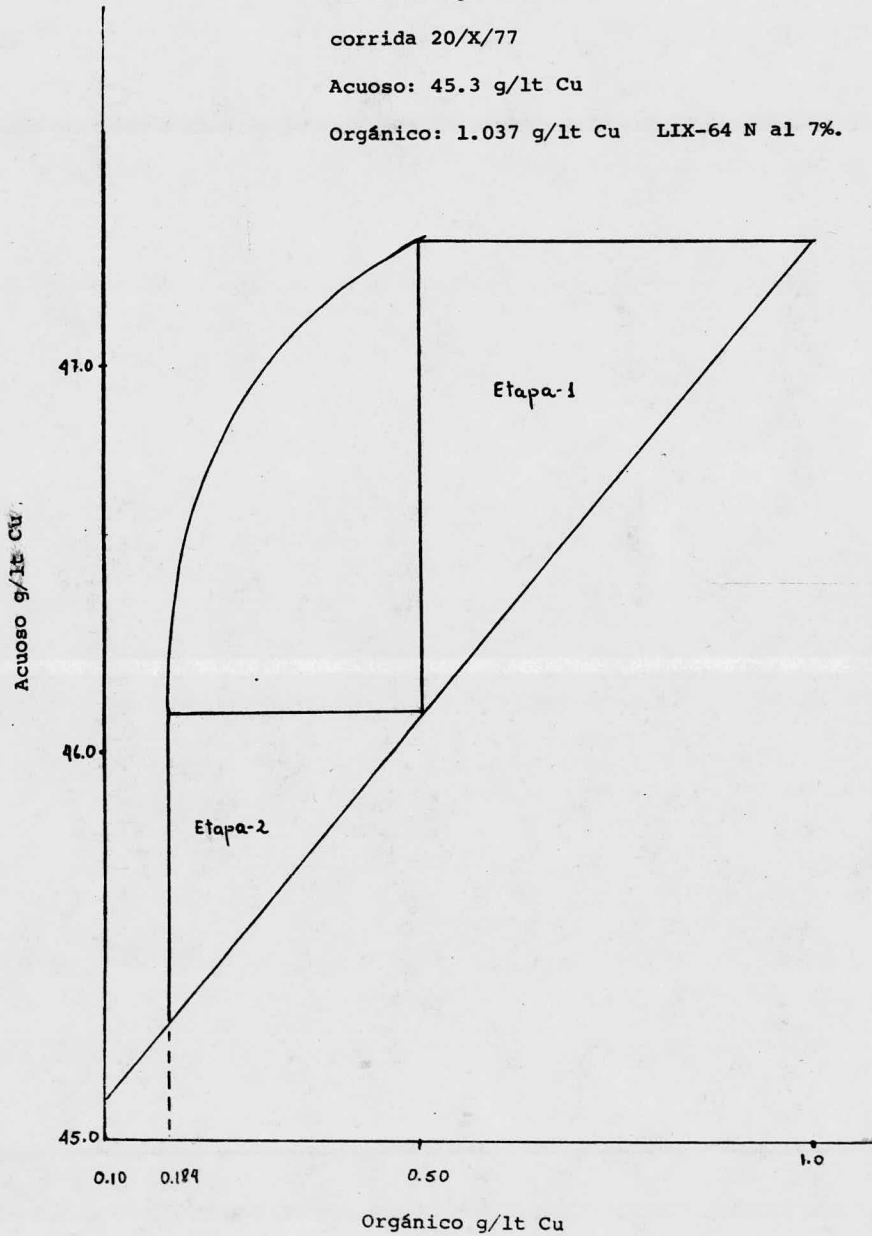
58

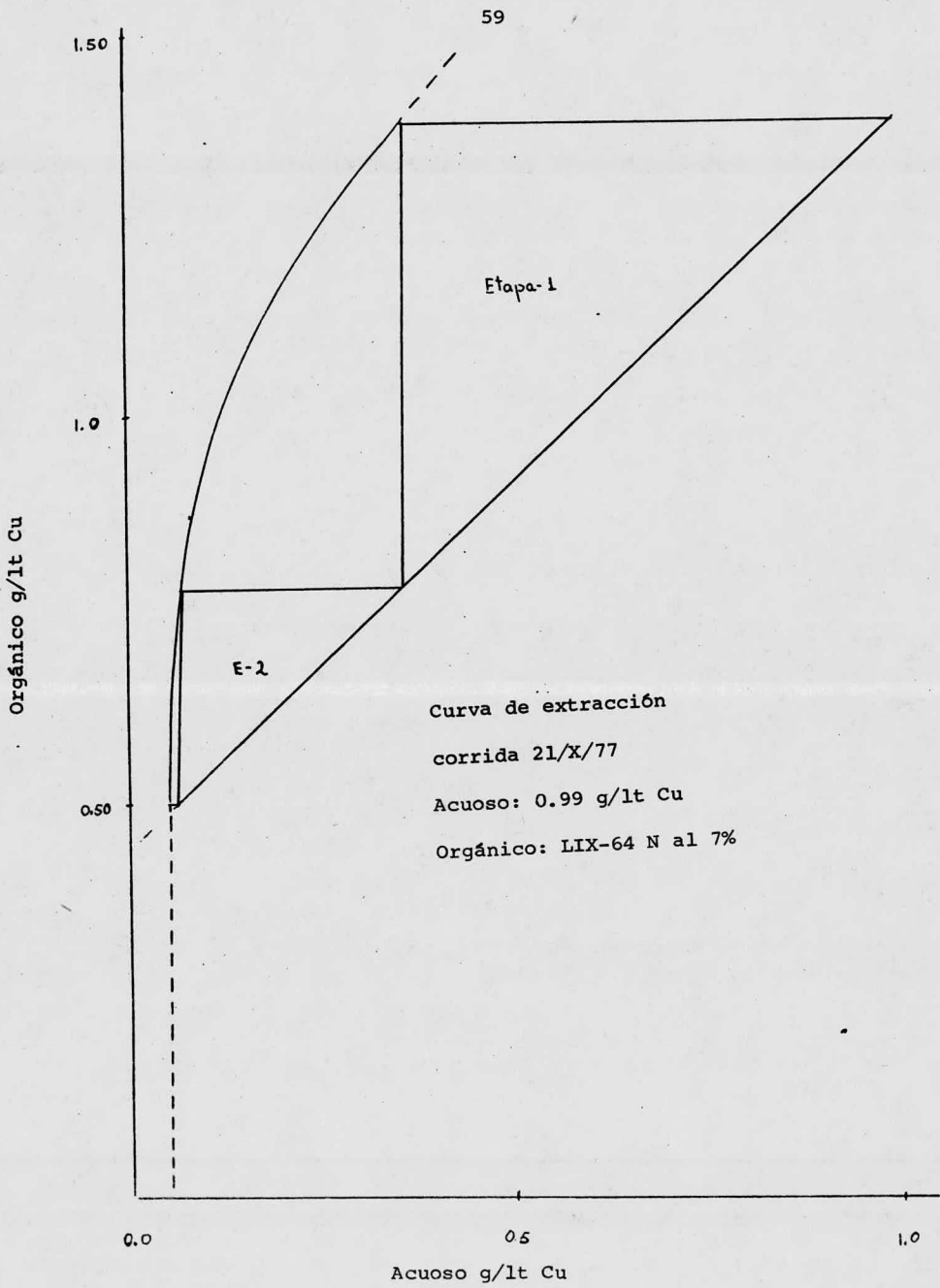
Curva de agotamiento

corrida 20/X/77

Acuoso: 45.3 g/lit Cu

Orgánico: 1.037 g/lit Cu LIX-64 N al 7%.



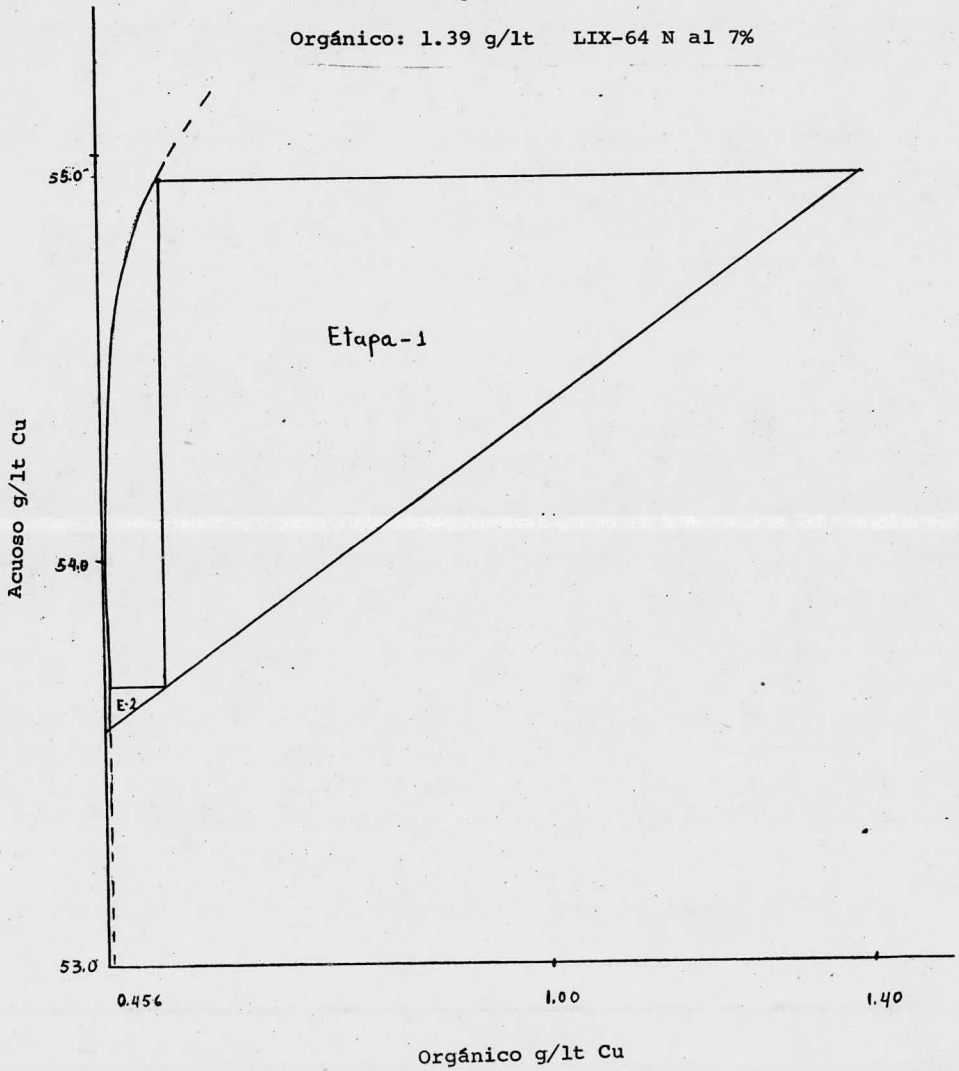


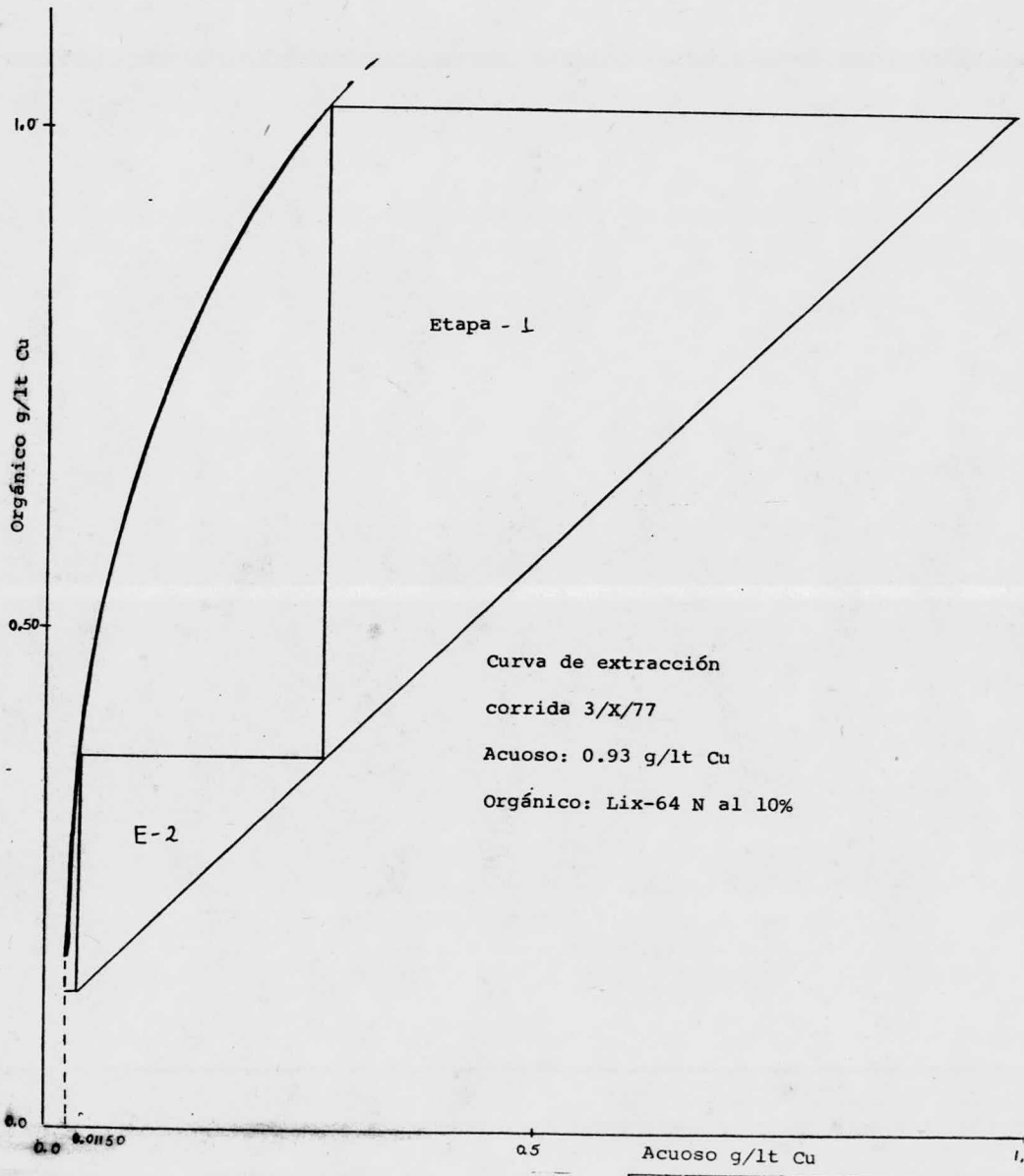
Curva de agotamiento

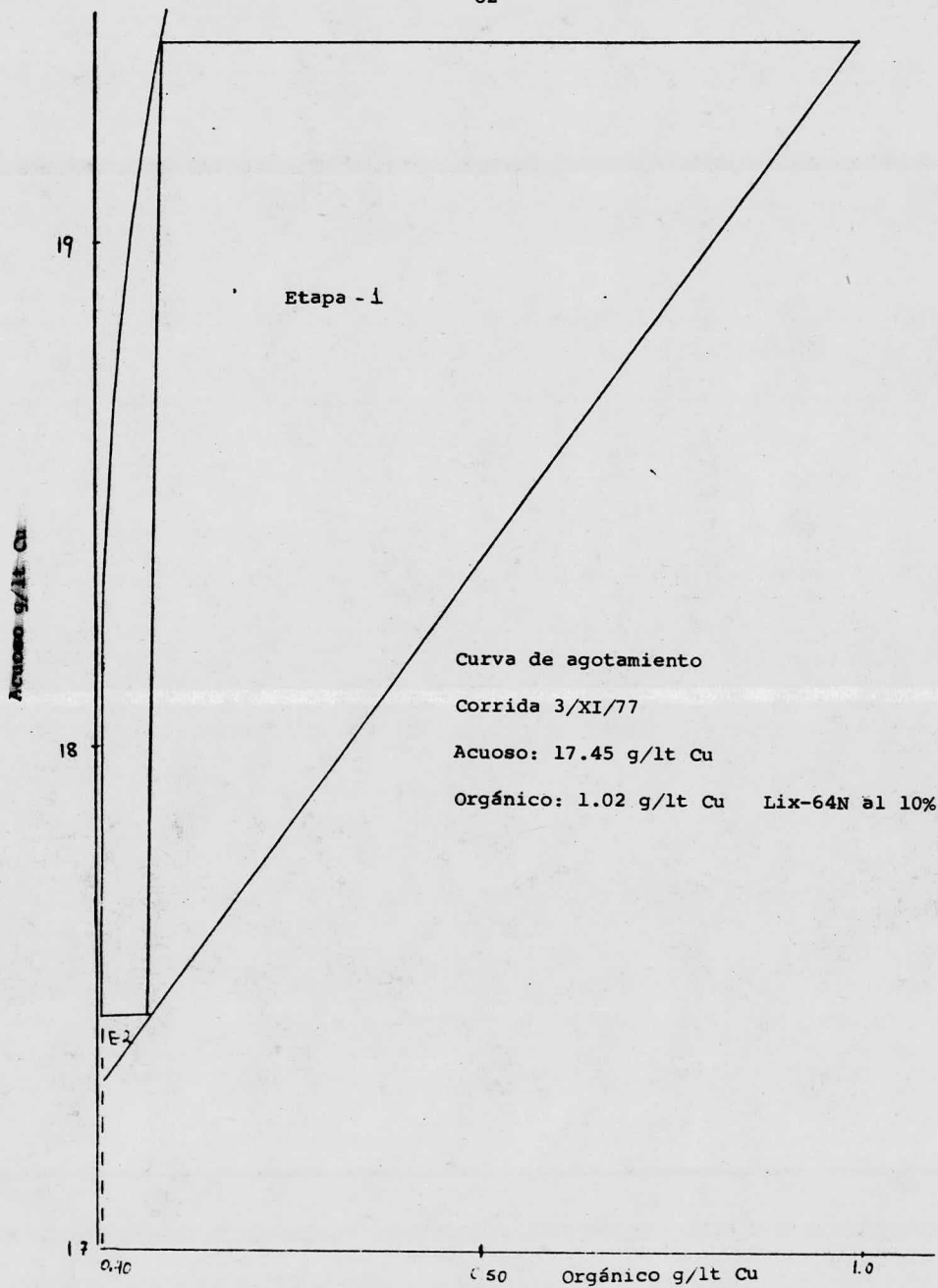
corrida 21/X/77

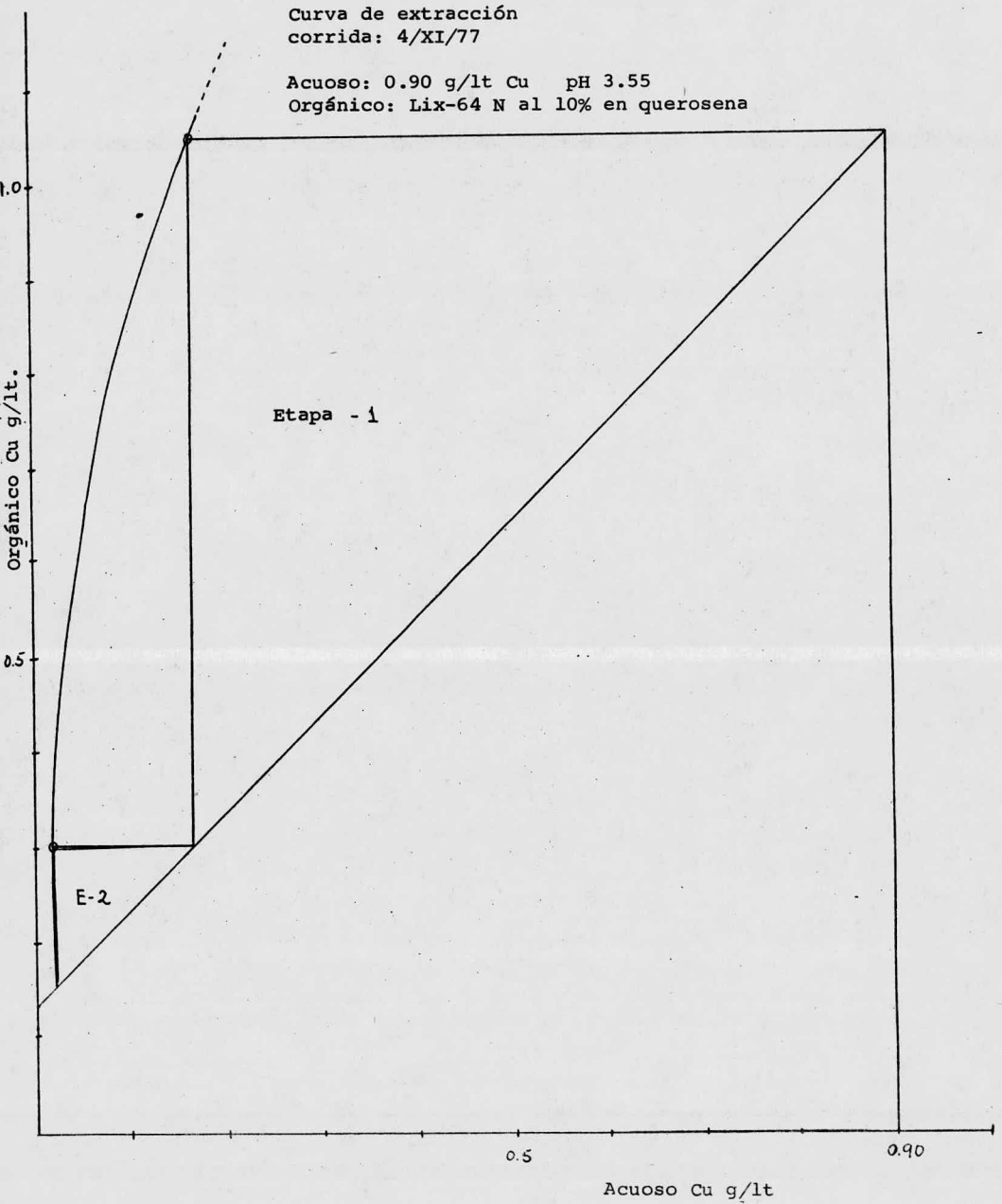
Acuoso: 53.6 g/lit Cu

Orgánico: 1.39 g/lit LIX-64 N al 7%

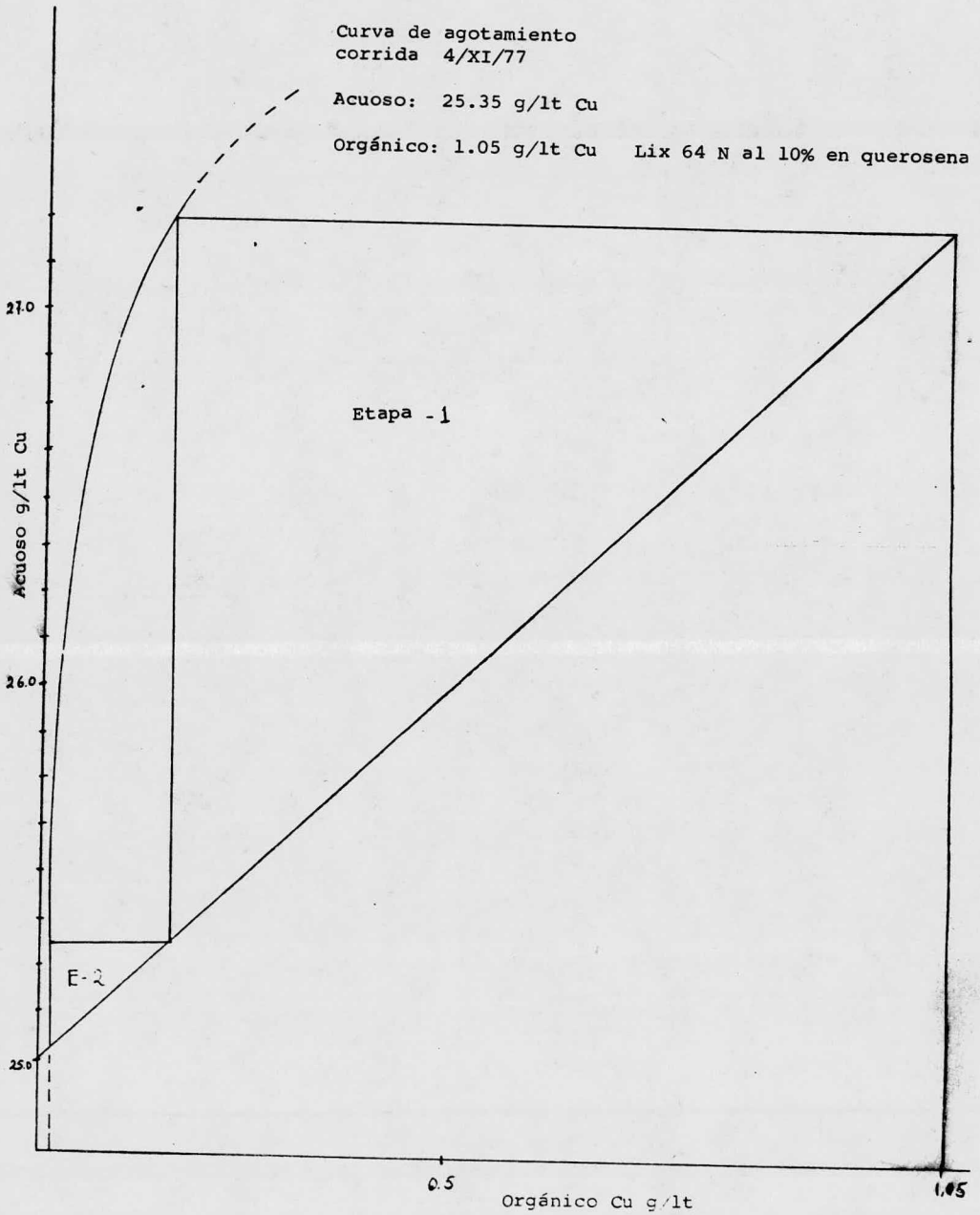








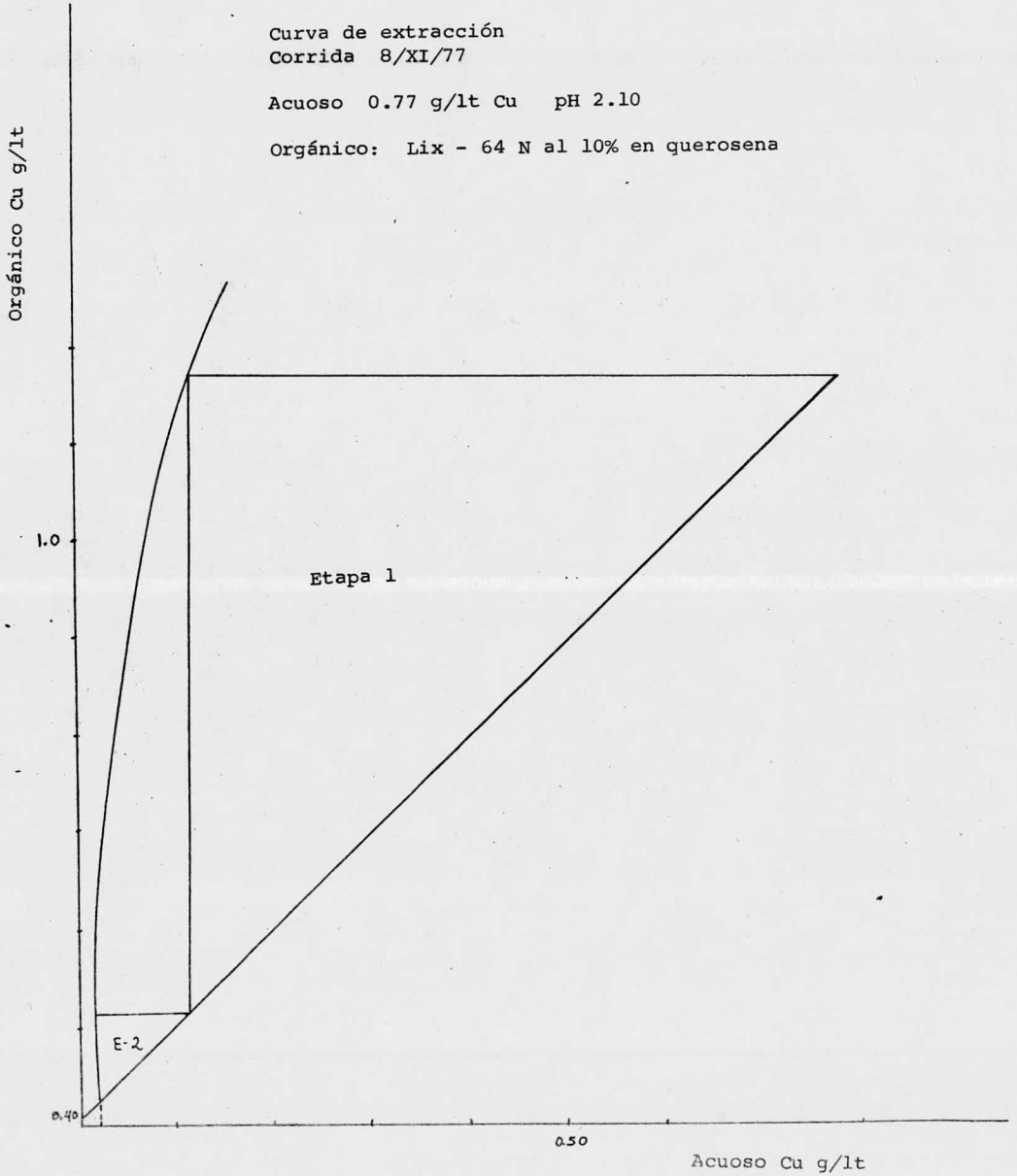


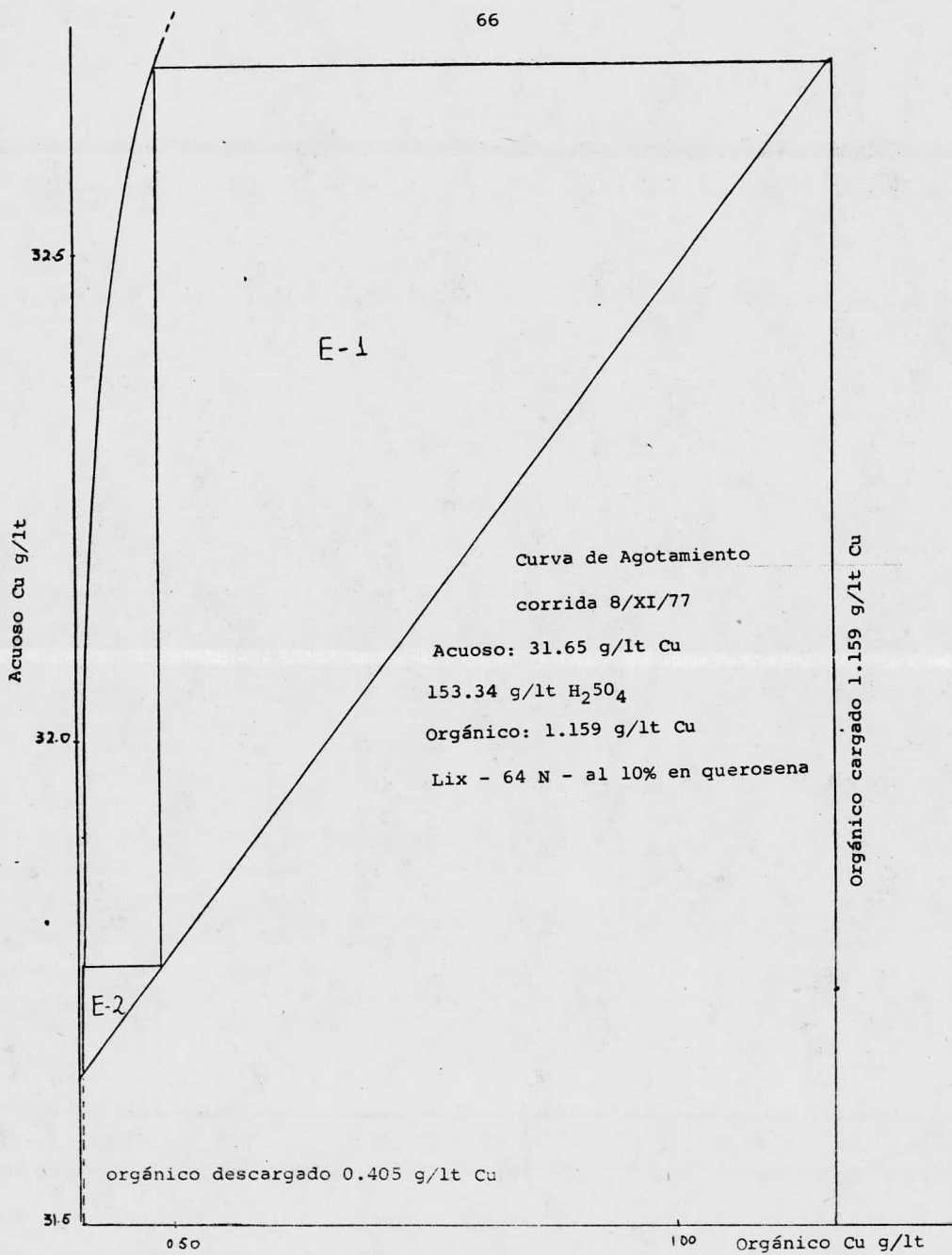


Curva de extracción  
Corrida 8/XI/77

Acuoso 0.77 g/lit Cu pH 2.10

Orgánico: Lix - 64 N al 10% en querosena





Orgánico: Lix 64 N al 5% en querosena

Sección: Extracción

Tiempo de retención: 3 minutos

ALIMENTACION												Extracción %
Fecha día	hora hr	flujo cg/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	1a. Celda		2a. Celda		3a. Celda			
					Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>		
26/IX/ 77	8.0	30	1.22	3.3	0.98	2.30	0.53	1.90	0.16	1.80		
	9.0	30	1.22	3.3	0.98	2.30	0.53	1.90	0.16	1.80		
	10.0	30	1.22	3.3	0.76	2.0	0.27	1.70	0.12	1.90		
	12.0	30	1.22	3.3	0.76	2.0	0.22	1.65	0.105	1.50		
Prome- dio	-	30	1.22	3.3	0.83	2.15	0.34	1.78	0.128	1.75	89.50	
27/IX/ 77	8.0	30	1.42	3.2	0.76	1.90	0.22	1.70	0.10	1.50		
	9.0	30	1.42	3.2	0.78	2.0	0.29	1.75	0.100	1.70		
	10.0	30	1.42	3.2	0.78	2.0	0.29	1.74	0.10	1.65		
	16.0	30	1.42	3.2	0.78	2.1	0.26	1.70	0.09	1.55		
Prome- dio		30	1.42	3.2	0.77	2.0	0.27	1.72	0.098	1.60	93.10	
28/IX/ 77	8.0	30	1.39	3.0	0.78	2.0	0.26	1.70	0.09	1.55		
	10.0	30	1.39	3.0	0.81	1.90	0.30	1.65	0.131	1.60		
	12.0	30	1.39	3.0	0.97	2.0	0.34	1.90	0.130	1.90		
	16.0	30	1.39	3.0	0.81	2.0	0.28	1.90	0.170	1.60		
Promedio		30	1.39	3.0	0.89	1.98	0.29	1.79	0.129	1.66	90.70	

Orgánico: Lix-64N al 5% en querosena  
 Sección: Extracción  
 Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha Día	ALIMENTACION				1a. Celda		2a. Celda		3a. Celda		Extracción %
	hora hr	flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	
29/IX/77	8.0	30.0	1.48	3.20	0.81	2.0	0.28	1.90	0.170	1.60	
	10.0	30.0	1.48	3.20	0.81	2.1	0.28	1.90	0.170	1.60	
	12.0	30.0	1.48	3.20	0.95	2.10	0.44	1.80	0.140	1.90	
	16.0	30.0	1.48	3.20	1.05	2.10	0.39	1.70	0.137	1.60	
Promedio		30.0	1.48	3.20	0.937	2.10	0.37	1.83	0.154	1.68	89.60
30/IX/77	8.0	30.0	1.37	3.0	1.05	2.10	0.39	1.70	0.137	1.60	
	10.0	30.0	1.37	3.0	0.89	2.10	0.40	1.70	0.157	1.50	
	12.0	30.0	1.37	3.0	0.83	1.96	0.29	1.75	0.092	1.65	
	16.0	30.0	1.37	3.0	0.89	1.90	0.40	2.0	0.098	1.70	
Promedio		30.0	1.37	3.0	0.915	2.02	0.37	1.79	0.119	1.66	91.30
Promedio		-	-	-	-	-	-	-	-	-	90.84

Orgánico: Lix-64 N al 5% en querosena

Sección: Agotamiento

Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha día	Hora hr	ALIMENTACION			1a. Celda		2a. Celda		
		flujo cm <sup>3</sup> /min	Cu g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	
26/IX/77	8.0	12.0	44.0	135.0	44.0	153	47	153.0	
	10.0	12.0	41.0	137.6	42.50	140.7	43.0	148.4	
	12.0	10.0	41.0	137.6	44.0	132.6	48.0	152.6	
	16.0	10.0	30.0	130.9	44.0	132.6	48.0	152.6	
	Promedio		11.0	39.0	135.3	43.6	139.7	46.5	151.6
27/IX/77	8.0	11.40	30.0	130.94	44.0	132.61	48.0	152.6	
	10.0	11.0	38.80	145.96	41.60	145.5	42.0	145.9	
	12.0	11.0	38.80	141.2	41.60	140.2	42.0	145.9	
	16.0	11.0	37.9	137.1	43.7	136.8	46.0	142.3	
	Promedio		11.10	36.4	138.8	42.6	138.7	44.50	146.6
28/IX/77	8.0	11.0	44.80	130.5	45.60	128.8	48.0	130.2	
	10.0	11.0	47.20	133.1	46.80	132.6	47.2	134.51	
	12.0	11.0	50.80	137.4	50.40	136.4	52.0	131.18	
	16.0	11.0	53.60	127.1	52.80	133.0	54.10	133.3	
	Promedio		11.0	49.1	132.0	48.7	132.7	50.33	132.3
29/IX/77	8.0	11.0	53.60	127.1	52.80	133.0	54.10	133.3	
	10.00	11.0	46.40	93.7	53.60	117.3	60.40	122.5	
	12.0	11.0	48.8	133.6	47.20	127.36	50.80	121.6	
	16.0	11.0	55.60	127.30	57.60	129.7	58.40	124.90	
	Promedio		11.0	51.10	120.42	52.80	126.84	55.93	125.6
30/IX/77	8.0	11.0	55.60	127.30	57.60	129.7	58.4	124.9	
	10.0	11.0	56.0	128.79	56.40	127.35	58.80	124.9	
	12.0	11.0	59.20	141.19	52.0	142.14	52.0	130.69	
	14.15	Se agrega al electrolito cargado 64 ml de ácido sulfúrico concentrado más 650 ml de agua							
	16.0	11.0	47.20	137.85	46.80	138.33	50.40	132.1	
Promedio		11.0	54.50	133.78	53.90	134.38	54.90	128.17	

Sección: Extracción

Reactivo: Lix-64 N al 7% en querosena

Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha Día	ALIMENTACION				1a. Celda		2a. Celda		3a. Celda		Extracción %
	hora hr	flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	
17/X/77	8.0	30.0	1.01	2.4	0.58	2.1	0.17	1.88	0.100	1.65	
	9.0	Se paró el sistema por falta de corriente eléctrica									
18/X/77	8.0	30.0	1.01	2.4	0.58	2.3	0.17	1.88	0.102	1.65	
	10.0	30.0	1.01	2.4	0.49	1.85	0.13	1.50	0.084	1.40	
	12.0	30.0	1.01	2.4	0.46	1.80	0.11	1.85	0.085	1.75	
	16.0	30.0	1.01	2.4	0.51	1.98	0.137	1.74	0.09	1.60	
Promedio		30.0	1.01	2.4	0.51	1.98	0.136	1.74	0.09	1.60	91.1
19/X/77	8.0	30.0	1.04	2.40	0.51	1.80	0.15	1.85	0.11	1.75	
	10.0	30.0	1.04	2.40	0.51	1.80	0.15	1.50	0.11	1.40	
	12.0	30.0	1.04	2.40	0.47	1.75	0.12	1.35	0.10	1.30	
	16.0	30.0	1.04	2.40	0.47	1.73	0.12	1.30	0.10	1.25	
Promedio		30.0	1.04	2.40	0.49	1.77	0.14	1.50	0.10	1.42	90.4
20/X/77	8.0	30.0	0.92	2.60	0.47	1.80	0.15	1.75	0.07	1.60	
	10.0	30.0	0.92	2.60	0.38	2.10	0.08	1.80	0.07	1.70	
	12.0	30.0	0.92	2.60	0.32	1.75	0.06	1.70	0.05	1.60	
	16.0	30.0	0.92	2.60	0.30	1.75	0.07	1.70	0.06	1.60	
Promedio		30.0	0.92	2.60	0.37	1.85	0.09	1.73	0.06	1.62	93.5
21/X/77	8.0	30.0	0.99	2.40	0.38	1.90	0.06	1.75	0.05	1.6	
	10.0	30.0	0.99	2.40	0.35	1.65	0.04	1.50	0.04	1.40	
	12.0	30.0	0.99	2.40	0.36	1.75	0.07	1.45	0.06	1.4	
	16.0	30.0	0.99	2.40	0.37	1.80	0.10	1.50	0.06	1.4	
Promedio		30.0	0.99	2.40	0.37	1.80	0.07	1.60	0.05	1.5	94.9
Promedio		-	-	-	-	-	-	-	-	-	92.50

Sección: Agotamiento  
 Reactivo: Lix-64N al 7% en querosena  
 Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha día	ALIMENTACION				1a. Celda		2a. Celda	
	hora hr	flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l
17/X/77	8.0							
	9.0	Se paró el sistema por falta de corriente eléctrica						
18/X/77	8.0	10.0	51.60	139.65	51.60	134.42	52.80	135.0
	10.0	10.0	51.60	135.37	51.60	133.9	53.0	127.7
	12.0	10.0	55.20	141.07	55.20	141.31	57.0	136.8
	16.0	10.0	55.20	141.07	55.20	141.31	57.0	136.0
Promedio		10.0	53.40	139.3	53.40	137.7	54.9	133.9
19/X/77	8.0	10.80	55.20	124.6	55.20	141.3	57.0	136.8
	10.0	10.0	46.0	124.5	47.20	135.3	48.6	124
	12.0	10.0	37.60	141.1	41.0	138.7	48.2	140.6
	16.0	10.0	40.80	139.6	42.0	148.6	44.2	131.10
Promedio		10.0	44.90	132.4	46.4	140.9	49.5	133.1
20/X/77	8.0	10.0	42.60	137.27	42.0	144.4	43.6	142.7
	10.0	10.0	45.40	147.25	45.80	140.60	46.6	138.7
	12.0	10.0	45.30	148.0	45.90	145.0	46.5	139
	16.0	10.0	50.60	150.8	51.0	150.5	51.8	151
Promedio		10.0	45.9	145.8	46.2	145.1	47.1	142.8
21/X/77	8.0	10.0	53.60	146.7	53.20	145.49	53.80	140
	10.0	11.0	53.60	152.3	54.40	142.9	56.20	138
	12.0	10.0	54.00	150.0	54.60	148.0	55.0	139
	16.0	11.0	53.60	146.0	54.0	145.0	54.0	140
Promedio		10.5	53.7	148.7	54.1	145.3	54.8	139



Orgánicos: Lix-64N al 10% en querosena  
 Sección: Extracción  
 Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha Día	ALIMENTACION			1a. Celda		2a. Celda		3a. Celda		Extracción %			
	hora hr	Flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l		pH H <sup>+</sup>		
2/XI/77	8.0	30.0	0.90	2.0	0.41	1.8	0.05	1.5	0.07	1.0	96.60		
	10.0	30.0	0.90	2.0	0.38	1.7	0.05	1.4	0.01	0.9			
	12.0	30.0	0.90	2.0	0.37	1.7	0.04	1.4	0.01	0.9			
	16.0	30.0	0.90	2.0	0.37	1.7	0.03	1.3	0.01	0.9			
Promedio		30.0	0.90	2.0	0.38	1.7	0.04	1.4	0.03	0.9			
3/XI/77	8.0	30.0	0.93	1.9	0.26	1.5	0.03	1.2	0.01	0.9		98.90	
	10.0	30.0	0.93	1.9	0.26	1.4	0.03	1.1	0.01	0.9			
	12.0	30.0	0.93	1.9	0.31	1.4	0.03	1.1	0.01	0.9			
	16.0	30.0	0.93	1.9	0.31	1.4	0.03	1.1	0.01	0.9			
Promedio		30.0	0.93	1.9	0.28	1.4	0.03	1.1	0.01	0.9			
4/XI/77	8.0	30.0	0.90	1.8	0.21	1.5	0.03	1.2	0.02	0.9			97.70
	10.0	30.0	0.90	1.8	0.21	1.5	0.02	1.0	0.02	0.9			
	12.0	30.0	0.90	1.8	0.20	1.5	0.02	1.0	0.02	0.9			
	16.0	30.0	0.90	1.8	0.15	1.4	0.02	1.0	0.01	0.9			
Promedio		30.0	0.90	1.8	0.19	1.5	0.02	1.1	0.02	0.9			
8/XI/77	8.0	30.0	0.77	1.8	0.25	1.5	0.02	1.7	0.01	0.9	97.90		
	10.0	30.0	0.77	1.8	0.13	1.5	0.02	1.7	0.01	0.9			
	12.0	30.0	0.77	1.8	0.1	1.4	0.02	1.6	0.02	1.0			
	16.0	30.0	0.77	1.8	0.13	1.4	0.01	1.5	0.025	1.0			
Promedio		30.0	0.77	1.8	0.13	1.5	0.02	1.6	0.016	0.9			
9/XI/77	8.0	30.0	0.86	1.8	0.13	1.5	0.020	1.7	0.015	1.0		97.6	
	10.0	30.0	0.86	1.8	0.18	1.5	0.02	1.7	0.01	1.0			
	12.0	30.0	0.86	1.8	0.17	1.4	0.02	1.7	0.01	1.0			
	16.0	30.0	0.86	1.8	0.16	1.5	0.02	1.7	0.01	1.0			
Promedio		30.0	0.86	1.8	0.15	1.5	0.02	1.7	0.01	1.0			
Promedio		-	-	-	-	-	-	-	-	-			97.74

orgánicos 64N al 10% en querosena

Seccion Agotamiento

Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha día	ALIMENTACION				1a. Celda		2a. Celda	
	hora hr	Flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l	Cu <sup>+2</sup> g/l	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g/l
2/XI/77	8.0	10.0	14.4	143.9	15.80	143.9	15.90	143.0
	10.0	10.0	14.80	150.8	15.0	147.2	16.60	143.0
	12.0	10.0	14.80	150.8	15.0	147.2	16.60	143.0
	16.0	10.0	14.90	150.0	15.6	147.0	16.80	143.0
Promedio		10.0	14.7	148.8	15.2	146.3	16.5	143.0
3/XI/77	8.0	10.0	14.80	153.1	15.0	147.2	16.6	144
	10.0	10.0	15.80	153.1	16.40	155.	18.0	145
	12.0	10.0	17.60	153.0	19.60	149.1	21.0	152
	16.0	10.0	21.60	153.0	21.80	149.3	24.0	153
Promedio		10.0	17.4	153.0	18.1	150.1	19.9	148.5
4/XI/77	8.0	10.0	21.60	149.0	21.80	149.3	25.20	153
	10.0	10.0	24.0	144.0	24.80	144.0	25.20	148
	12.0	10.0	26.80	150.0	27.0	160	27.90	159
	16.0	10.0	29.0	153	29.4	158	30.70	152
Promedio		10.0	25.4	149.0	25.6	152.8	27.25	153
8/XI/77	8.0	10.0	29.0	153.6	29.40	158.1	30.20	152
	10.0	10.0	30.0	160.0	30.0	154	31.0	150
	12.0	10.0	32.80	150.5	33.20	151	33.60	153
	16.0	10.0	34.80	148.0	35.0	147.0	36.0	144
Promedio		10.0	31.7	153.0	31.90	152.5	32.70	149
9/XI/77	8.0	10.0	34.80	148.6	35.0	147.5	36.0	144
	10.0	10.0	37.0	160.0	37.60	156.0	38.0	151
	12.0	10.0	41.0	145.0	41.40	154.0	42.0	147
	16.0	10.0	42.50	148.0	43.0	153.4	43.60	150
Promedio		10.0	38.80	150.0	39.3	152.7	39.9	148

Orgánico: Lix-64 al 10% en petróleo verde  
 Sección: Extracción  
 Tiempo de retención: 3 minutos

Fecha día	ALIMENTACION				Acuoso-Estéril		Extracción %
	hora hr	Flujo cc/min	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	Cu <sup>+2</sup> g/l	pH H <sup>+</sup>	
14/XL/77	8.0	30.0	1.29	3.0	0.045	1.3	
	10.0	30.0	1.29	3.0	0.015	1.3	
	12.0	30.0	1.29	3.0	0.016	1.4	
	16.0	30.0	1.29	3.0	0.015	1.3	
Promedio		30.0	1.29	3.0	0.022	1.33	98.30
15/XI/77	8.0	30.5	1.36	3.1	0.023	1.3	
	10.0	31.0	1.36	3.1	0.016	1.4	
	12.0	32.0	1.36	3.1	0.015	1.4	
	16.0	31.0	1.36	3.1	0.015	1.4	
Promedio		31.1	1.36	3.1	0.017	1.38	98.80
16/XI/77	8.0	30.0	1.16	3.0	0.016	1.5	
	10.0	30.0	1.16	3.0	0.015	1.5	
	12.0	30.0	1.16	3.0	0.021	1.6	
	16.0	30.0	1.16	3.0	0.016	1.5	
Promedio		30.0	1.16	3.0	0.017	1.53	98.53
17/XL/77	8.0	30.0	1.30	3.0	0.021	1.5	
	10.0	30.0	1.30	3.0	0.021	1.5	
	12.0	30.0	1.30	3.0	0.025	1.4	
	16.0	30.0	1.30	3.0	0.021	1.5	
Promedio		30.0	1.30	3.0	0.022	1.5	98.30
18/XI/77	8.0	30.0	1.31	3.0	0.025	1.7	
	10.0	30.0	1.31	3.0	0.025	1.7	
	12.0	30.0	1.31	3.0	0.029	1.5	
	16.0	30.0	1.31	3.0	0.025	1.5	
Promedio		30.0	1.31	3.0	0.026	1.60	98.01
Promedio		-	-	-	-	-	98.40

## BIBLIOGRAFIA

1. Paynter, J. C.  
A review of copper hydrometallurgy  
J. C. Afr. Inst. Mins Metall, 74(4) (1973) 158-170.
2. Christie, P. G., Lakshmanan, V.I. and Lawson, G. J.  
The liquid-liquid extraction of copper (II) and iron III  
from chloride solutions using Lix-64N in kerosine.  
Society of Chemical Industry, Vol. 1, pp 685-697.
3. Flett, D. S.  
Solvent extraction in cooper hydrometallurgy.  
Trans. Instn Min. Metall. Sec C, 83(1974) 30-38
4. George H. Morrison  
Solvent extraction in analytical Chemistry  
Editorial: New York. John Wiley & Sons, Inc. 1957
5. Rossel V. Raul  
Aplicación de los procesos de extracción por solventes  
y electrolisis al proceso Tecamachalco para el beneficio  
de los minerales de Santa Rosalía, por intercambio ionico.  
Primer simposium Metalúrgico de Tecamachalco  
Noviembre de 1976.
6. Flett, D. S.

Recent advances in solvent extraction of metals.

Chem. Engng., (268) (1972) 465-471

7. Kunin, R.

Liquid ion exchange technology.

Ion Exch. & Solv. Extrn., 4(1973) 155-180.

8. Lewis, C. J.

Liquid ion exchange in hydrometallurgy

Recent Developments in separation Science, 2(1972) 47-57

9. D. W. Agers and J. E. house

Copper recovery from acid solution using liquid ion exchange. General Mills. Inc.

10. Murray, K. J. and Bouboulis, C. J.

How to select organic carries for optimum copper recoveries.

Engng. Min. J., 174(7) (1973) 74-77



# TESIS EN UN DIA

Tesis por computadora

consúltenos sin compromiso  
presupuestos gratis

Odontología 57 Local 2-A

Tel. 548-33-44